



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Erstellung und Evaluierung von Unterrichtsmaterialien zum Thema Lichtverschmutzung

verfasst von

Mag. Manuela Kopper

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 190 313 412

Studienrichtung lt. Studienblatt: UF Geschichte, Sozialkunde und Politische Bildung
UF Physik

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Vorwort

Im März des Jahres 2011 begann für mich ein neues Kapitel meines Lebens: ein dunkles, wenn auch im positivsten Sinn des Wortes. Mit meinen Kommilitonen Katharina Grand, Sebastian Kremshuber, Maryam Nikbakhti, Stefan Schober und Cornelia Wiesinger besuchte ich an der Universität Wien ein Seminar zum Thema Umweltwissenschaften. Aufgrund einer zahlenmäßigen Zugangsbeschränkung wurden nur mehr jene Studierende zugelassen, die ein selbstständig entwickeltes Thema vorweisen konnten. Rasch einigten wir uns darauf, das Phänomen Lichtverschmutzung näher zu erforschen. So hat alles begonnen ...

Auf der Suche nach einem geeigneten Messgerät stießen wir auf den Verein Kuffner Sternwarte, dessen Leiter, Dr. Günther Wuchterl, ein speziell für die Vermessung der Nachthimmelshelligkeit geeignetes Instrument entwickelt hatte. Zwei Tage später trafen wir uns auf der Kuffner Sternwarte mit einem der freiwilligen Mitarbeiter, Markus Reithofer, der uns ein Projekt im Auftrag der Wiener Umwelthanwaltschaft vorstellte. Dabei sollte qualitativ und quantitativ analysiert werden, welche Lichtquellen für die Verschmutzung des Wiener Nachthimmels verantwortlich sind. Es lag nahe, uns dieser Mess-Kampagne als freiwillige Mitarbeiter anzuschließen und die dabei gesammelten Erfahrungen in unsere Seminararbeit einfließen zu lassen. Mit dem TU-Studenten Felix Linhardt war unser Team, das sich später die „Light Pollution Action Group“, kurz „LPAG“, nannte komplett und unsere Forschungsarbeit konnte beginnen.

Aus diesem Projekt entstand der Bericht „Licht über Wien“, dem in den beiden Folgejahren noch zwei weitere folgen sollten. Mit den Wiener Naturfreunden ergaben sich währenddessen neue Möglichkeiten. Einer Mitarbeiterin der Sektion Jugend, Hannelore Schimanek, boten wir die didaktische Vermittlung des Themas Lichtverschmutzung im Rahmen der Jugendarbeit an. Seitdem werden von uns regelmäßig entsprechende Veranstaltungen an der Kuffner Sternwarte, „Lichtwanderungen“ durch die Wiener Innenstadt und im freien Feld sowie Vorträge für verschiedene Altersstufen durchgeführt. Dank der Kontakte von Felix Linhardt besuchten wir auch einige Schulen und durften dort im Rahmen des Physikunterrichts didaktische Einheiten zum Thema Lichtverschmutzung durchführen. Die Schüler und Schülerinnen reagierten dabei überaus positiv und interessiert. Aus dieser Erfahrung heraus fasste ich den Entschluss, eine Diplomarbeit zur Didaktik der Lichtverschmutzung zu verfassen.

Danksagung

Ein Dankeschön gilt allen, die mich während meines Studiums und bei der Erstellung meiner Diplomarbeit unterstützt haben. Einige seien besonders hervorgehoben:

Zu allererst gilt mein Dank meinen Eltern, Robert und Annemarie Kopper, die mir, wie auch meinen beiden Geschwistern Andreas und Verena, das Studium ermöglicht haben. Und selbst als ich ihnen eröffnete, dass ich noch ein zweites Studium beginnen möchte, erfuhr ich nur Unterstützung und Bestärkung. Sie zeigten mir bei der Arbeit auf unserer Landwirtschaft nicht nur wie wichtig gut koordinierte Teamarbeit ist, sondern sie auch dann fertig auszuführen, wenn man gleichzeitig noch einige andere Aufgabenfelder zu erledigen hat.

Ich danke meiner Betreuerin Claudia Haagen-Schützenhöfer, die mich mit so viel Geduld, Hilfsbereitschaft, Strukturiertheit und Fachwissen bei der Erarbeitung der Diplomarbeit unterstützte.

Mein Dank gilt auch den Lehrern und Lehrerinnen Hans Hofbauer, Barbara Kinner, Sebastian Kremshuber und Marianne Schneider, dass sie mir ihre Klassen „geliehen“ haben und ich dort meine Unterrichtsstunden samt Pre- und Post-Test durchführen konnte.

Ich danke meiner Mutter, meinem guten Freund Felix Linhardt und meinem Mann, Markus Reithofer, für die vielen Stunden korrekturlesen und meiner guten Freundin Stefanie Buchgraber, die das englische Abstract für mich korrigiert hat. Nicht zuletzt danke ich den oben genannten Mitgliedern der LPAG, ohne die niemals der Grundstein zu dieser Arbeit gelegt worden wäre.

Und ein von Herzen kommendes Dankeschön gilt meinem Mann für seine Geduld und sein Verständnis. Denn nachdem ich im Juni 2013 mit meiner Diplomarbeit in Geschichte fertig war, trat ich sofort in den Schuldienst über und beschäftigte mich mit meiner Diplomarbeit in Physik.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Vorwort..... | 3 |
| Danksagung | 5 |
| 1. Einleitung | 11 |
| 2. Hintergründe und Grundlagen der Lichtverschmutzung | 13 |
| 2.1 Warum Lichtverschmutzung unterrichten? | 13 |
| 2.1.1 Iststand..... | 13 |
| 2.1.2 Kompetenzmodell NAWI des bifie | 16 |
| 2.1.3 Lehrplanbezug..... | 19 |
| 2.2 Wie Lichtverschmutzung unterrichten? | 20 |
| 2.2.1 Lichtverschmutzung als socio-scientific issue (SSI) im Physikunterricht | 20 |
| 2.2.2 Bewertungskompetenz anhand von Lichtverschmutzung einüben | 23 |
| 2.2.3 Interesse der Schüler und Schülerinnen..... | 27 |
| 2.3 Fachliche Grundlagen zur Lichtverschmutzung..... | 31 |
| 2.3.1 Der Begriff „Lichtverschmutzung“ | 31 |
| 2.3.2 Physikalische Grundlagen..... | 32 |
| 2.3.3 Historischer Blick auf das Phänomen Lichtverschmutzung | 41 |
| 2.3.4 Folgen der Lichtverschmutzung..... | 43 |
| 2.3.5 Maßnahmen gegen Lichtverschmutzung | 54 |
| 2.4 Schülervorstellungen zur Optik | 57 |
| 2.4.1 Warum Schülervorstellungen einbeziehen?..... | 57 |
| 2.4.2 Vorstellungen von Licht und Sehen | 58 |
| 2.4.3 Streuung und Reflexion | 61 |
| 2.5 Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion – Theorie | 61 |
| 2.5.1 Entwicklung und Begriffsdefinition..... | 61 |
| 2.5.2 Kriterien..... | 62 |
| 3. Konzeption von Intervention und Assessment..... | 65 |
| 3.1 Zielgruppe | 65 |
| 3.2 Untersuchungsdesign | 65 |
| 3.3 Design des Materials..... | 65 |
| 3.3.1 Elemente aus dem Göttinger Modell der Bewertungskompetenz | 65 |
| 3.3.2 Aufbau nach dem Prinzip der fünf E's | 66 |
| 3.4 Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion – Unterrichtsmaterial | 70 |
| 3.4.1 Zwei Abbildungen des Sternbildes Orion - Engage..... | 70 |
| 3.4.2 Was ist Lichtverschmutzung? - Explain | 72 |
| 3.4.3 Experiment zur Streuung – Explore | 79 |
| 3.4.4 Entwurf der „idealen“ Straßenleuchte - Elaborate | 80 |
| 3.4.5 Vermessung der „idealen“ Straßenleuchte – Explain..... | 80 |
| 3.4.6 Gemeinsame Wiederholung der Inhalte der letzten Stunde – Engage | 82 |
| 3.4.7 Anwendung von Bewertungskompetenz – Elaborate & Evaluate | 84 |
| 3.4.8 Was tun gegen Lichtverschmutzung? – Explain | 85 |
| 3.5 Pre-Test | 86 |
| 3.5.1 Allgemeiner Teil | 87 |
| 3.5.2 Fragen zur Lichtverschmutzung..... | 87 |
| 3.5.3 Fragen zur Optik..... | 88 |
| 3.5.4 Fragen zur Einstellung zum Umweltschutz | 88 |

| | | |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.5 | Abschlussfragen | 88 |
| 3.6 | Post-Test..... | 89 |
| 3.6.1 | Fragen zur Unterrichtseinheit..... | 89 |
| 3.6.2 | Fragen zur Lichtverschmutzung..... | 89 |
| 3.6.3 | Fragen zur Optik..... | 89 |
| 3.7 | Pilotierung des Pre-Tests..... | 90 |
| 3.7.1 | Durchführung | 90 |
| 3.7.2 | Ergebnisse der Pilotierung und Implikationen für die Testgestaltung | 90 |
| 3.8 | Auswertungsmethoden..... | 91 |
| 3.8.1 | Pre- und Post-Test | 91 |
| 3.8.2 | Prozessbeobachtung | 91 |
| 4. | Durchführung der Unterrichtseinheiten | 95 |
| 4.1 | Beschreibung der Stichprobe und des Settings | 95 |
| 4.2 | Erste Unterrichtseinheit..... | 97 |
| 4.2.1 | Zwei Abbildungen des Sternbildes Orion - Engage..... | 97 |
| 4.2.2 | Was ist Lichtverschmutzung? | 98 |
| 4.2.3 | Experiment zur Streuung – Explore | 98 |
| 4.2.4 | Entwurf der „idealen“ Straßenleuchte – Elaborate..... | 98 |
| 4.2.5 | Vermessung der „idealen Straßenleuchte“ – Explain..... | 99 |
| 4.3 | Zweite Unterrichtseinheit | 100 |
| 4.3.1 | Gemeinsame Wiederholung der Inhalte der letzten Stunde – Engage | 100 |
| 4.3.2 | Anwendung von Bewertungskompetenz – Elaborate & Evaluate | 100 |
| 4.3.3 | Was tun gegen Lichtverschmutzung? – Explain | 103 |
| 5. | Evaluation | 105 |
| 5.1 | Ergebnisse des Pre-Tests..... | 105 |
| 5.1.1 | Bewertung des Fragebogens | 105 |
| 5.1.2 | Lichtverschmutzung | 106 |
| 5.1.3 | Umweltschutz und Umweltverschmutzung | 113 |
| 5.1.4 | Einstellung zum Umweltschutz..... | 115 |
| 5.2 | Ergebnisse des Post-Tests | 118 |
| 5.2.1 | Einstellung zu Lichtverschmutzung und zur Unterrichtsstunde | 118 |
| 5.2.2 | Optik..... | 120 |
| 5.2.3 | Offene Fragen zur Lichtverschmutzung | 125 |
| 6. | Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen | 131 |
| 7. | Literatur und Quellenverzeichnis | 137 |
| 8. | Bildquellenverzeichnis | 147 |
| 9. | Abbildungsverzeichnis | 151 |
| 10. | Tabellenverzeichnis | 153 |
| 11. | Abkürzungsverzeichnis | 155 |
| Anhang..... | | 157 |
| Anhang 1: | Pre-Test | 157 |
| Anhang 2: | Post-Test..... | 167 |
| Anhang 3: | Planungsraster..... | 175 |
| Anhang 4: | Textblatt Lichtverschmutzung | 181 |
| Anhang 5: | Bewertungskompetenz – Beispiel 1 | 183 |

| | |
|-------------------------------------------------------|-----|
| Anhang 6: Bewertungskompetenz – Beispiel 2..... | 185 |
| Anhang 7: Der Begriff Lichtverschmutzung | 187 |
| Anhang 8: Kommentare zu den Unterrichtseinheiten..... | 191 |
| Anhang 9: Abstract | 193 |
| Anhang 10: Abstract – englisch..... | 194 |
| Anhang 11: Lebenslauf der Verfasserin..... | 195 |

1. Einleitung

Dunkelheit soll mich umhüllen, das Licht um mich herum soll zur Nacht werden!

Psalm 139,11

Als dieser Satz verfasst wurde, war die Nacht noch wirklich Nacht. Die hellste Lichtquelle stellte der Mond dar, und war dieser nicht am Firmament, so erleuchteten die Sterne den Erdboden. Heute sieht das vor allem in städtischer Umgebung ganz anders aus. Dieser natürlich aus dem Kontext gerissene Vers aus der Bibel beschreibt einen Wunsch, den heute viele Menschen in sich tragen: die Rückkehr der Nacht. Vor etwa 100 Jahren hat der Mensch begonnen, die Nacht immer mehr zum Tag zu machen. Wir beleuchten unsere Gebäude, Schaufenster, Fahrbahnen und Gehwege und es scheint, als wären diesem „Immerheller“ keine Grenzen gesetzt. Dieses Zuviel an Licht bedeutet aber nicht nur den Verlust der Nacht, sondern hat Einfluss auf das gesamte Ökosystem, und damit auch auf die Gesundheit des Menschen.

Wie die folgende Untersuchung zeigen wird, ist Umweltschutz in den Gedanken von Jugendlichen bereits tief verwurzelt. Sie setzen sich ein für den Schutz von Gewässern und Tieren, den Lärmschutz und für „saubere“ Energie. Doch wenn man von der Lichtverschmutzung erzählt, wird man als erstes gefragt, ob man nicht Luftverschmutzung gemeint hätte. Nein, man meint damit die Aufhellung des Nachhimmels durch künstliches Licht. Dies beeinflusst zum Beispiel Pflanzen in ihrem Wachstum, verändert das natürliche Verhalten vieler nachtaktiver Tiere, tötet Insekten und der Mensch leidet in seinem Schlafrhythmus und damit auch seine Gesundheit. Aber auch die Energie ist nicht zu vernachlässigen, die hier unnötig genutzt wird, um Licht dorthin zu strahlen, wo es niemand brauchen kann. Das Problem der Lichtverschmutzung ist noch weitgehend unbekannt, obwohl es doch eines ist, das man vergleichsweise einfach und vor allem kostengünstig lösen kann.

Der erste und wichtigste Schritt dahin die Lichtverschmutzung zu verringern, ist ein Bewusstsein für diese Thematik zu schaffen. Was liegt daher näher, als damit in die Schulen zu gehen? Bereits vor einigen Jahren habe ich mit meinem Studienkollegen Felix Linhardt zwei Unterrichtskonzepte (einmal Unterstufe, einmal Oberstufe AHS – jeweils zwei Unterrichtseinheiten) ausgearbeitet und in Schulen durchgeführt. Auf Basis einiger Elemente dieser beiden Konzepte entstand im Zuge der Diplomarbeit ein neues Unterrichtskonzept für Schüler und Schülerinnen der 8. Schulstufe. Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, in Zukunft Lehrern und Lehrerinnen gut erprobtes Unterrichtsmaterial zur Verfügung stellen zu können, um das

Thema „Lichtverschmutzung“ auf Basis der damit verbundenen physikalischen Grundlagen zu unterrichten.

Allen nun folgenden Überlegungen liegen zwei Forschungsfragen zugrunde:

1. Welche Vorstellungen haben Schüler und Schülerinnen der 8. Schulstufe zum Begriff Lichtverschmutzung?

- a) Kennen Schüler und Schülerinnen überhaupt den Begriff Lichtverschmutzung?
- b) Ist Schülerinnen und Schülern das Phänomen Lichtverschmutzung bekannt?
- c) Welche Vorstellungen haben Schüler und Schülerinnen, denen das Phänomen bekannt ist, zur Lichtverschmutzung?

2. Wie wirkt sich die konzipierte Intervention zum Thema Lichtverschmutzung aus?

- a) Inwieweit kann die konzipierte Intervention zu fachlich adäquateren Vorstellungen der Lernenden beitragen?
- b) Inwieweit kann die konzipierte Intervention die Bewertungskompetenz von Schülern und Schülerinnen im Bereich Lichtverschmutzung schulen?

Um diese Forschungsfragen zu beleuchten, wird eine Unterrichtseinheit zum Thema Lichtverschmutzung konzipiert und deren Wirksamkeit empirisch überprüft. Die Konzeption und Evaluierung dieser Unterrichtseinheit wird im Folgenden berichtet. Im ersten Abschnitt (Kapitel 2) werden sowohl die didaktischen als auch die fachwissenschaftlichen Grundlagen zu den beiden geplanten Unterrichtsstunden zur Lichtverschmutzung dargestellt. In Kapitel 3 stehen dann die konkreten Unterrichtseinheiten im Vordergrund. Erst wird das theoretische Konzept detailliert erklärt. Im Anschluss wird in Kapitel 4 ausführlich über die Durchführung und die Ergebnisse des Pre- und Post-Testes berichtet. Alle für die Unterrichtsstunden benötigten Unterlagen sind im Anhang zu finden. Die begleitende Powerpoint-Präsentation kann unter Kopper.Schule@gmail.com angefordert werden.

2. Hintergründe und Grundlagen der Lichtverschmutzung

Am Beginn der Überlegung ein Thema im Physikunterricht einzuführen, das nicht explizit im Lehrplan zu finden ist, steht immer die Frage, ob dies auch zielführend ist. Im Folgenden soll also ausgeführt werden, warum das Thema Lichtverschmutzung hervorragend geeignet ist, um viele verlangte Kompetenzen der Schüler und Schülerinnen zu fördern.

2.1 Warum Lichtverschmutzung unterrichten?

In diesem Kapitel wird die Eignung des Themas Lichtverschmutzung zur Integration in den Physikunterricht dargelegt. Dazu wird zuerst erörtert, welche Aufmerksamkeit das Thema in der Öffentlichkeit erregt. Anschließend wird gezeigt, dass damit sowohl Forderungen des Kompetenzmodells NAWI als auch des Lehrplans erfüllt werden können.

2.1.1 Iststand

„Lichtverschmutzung“ ist ein Teilbereich der Umweltproblematik, der in der Schule bis jetzt nur sehr wenig Aufmerksamkeit bekommen hat. In keinem der 13 diesbezüglich untersuchten Physikbücher für 4. Klassen der AHS Unterstufe (1985 bis 2014)¹ wird der Begriff Lichtverschmutzung erwähnt. Und in lediglich einem Buch, nämlich „ganz klar. Physik 4“ von Gruber und Rupp, ist ein Hinweis auf diese Thematik in einer offenen Frage bei einer Aufgabenstellung zu finden: „Warum kannst du in der Stadt weniger Sterne sehen als am Land?“² Es war also schon in den 1980er Jahren kaum bis kein Thema und ist es auch bis heute nicht.

¹ Theodor Duenbostl / Theresia Oudin / Kurt Wandaller, Physik im Blick 4, Wien 1985.

Heinz Jaritz / Stefan Jezik, Welt der Physik, Wien 1991.

Erwin Kaufmann / Adolf Zöchling, Physik in unserer Welt 4, Wien 1992.

Franz Bader / Adolf Walz, Blickpunkt Physik 4, Wien 1998.

Horst Fürnstahl / Michael Wolfbauer, Physik heute 4 für die Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen und der Hauptschulen, Linz 2000.

Theodor Duenbostl / Leopold Mathelitsch / Theresia Oudin unter Beratung von Thomas Brezina, Physik erleben 4, Wien 2000.

Emmerich Boxhofer / Engelbert Stütz / Hildegard Urban-Woldron, Physik Stunde 4, Linz 2002.

Franz Gollenz / Walther M. Stuzka / Josef Eder / Hans-Haimo Tentschert, Lehrbuch der Physik 4. Klasse, Wien 2005.

Werner Gruber / Christian Rupp, ganz klar. Physik 4, Wien 2006.

Horst Fürnstahl / Michael Wolfbauer, Physik heute 4 für die Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen und der Hauptschulen, Linz 2011.

Franz Gollenz / Gustav Breyer / Hans-Haimer Tentschert / Erich Reichel, Lehrbuch der Physik 4. Klasse, Wien 2013.

Erwin Kaufmann / Adolf Zöchling, Physik verstehen 4. Klasse, Wien 2014.

Rosina Haider / Walter Nest / Karl Petek, Du und die Physik. 4. Klasse NMS und AHS, Salzburg 2014.

² Gruber, ganz klar. Physik 4, S. 113.

In der Politik und für verschiedene andere Berufsgruppen wird es allerdings immer mehr zum Thema. So schrieb etwa Dr. Ulrich Hatzfeld, 2004 Leiter der Unterabteilung Stadtentwicklung im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Deutschland):

Dabei ist eines sicher: Wir brauchen ein neues Lichtbewusstsein – in der Fachwelt wie in der Öffentlichkeit. [...] Ziel ist ein neuer Lichtreichtum, der sich substanziell mit der Wohn-, Lebens- und Arbeitswelt auseinandersetzt. Nicht im Sinne von bunter und heller, sondern im Sinne von subtiler und schöner. Denn bei Licht droht das, was Hans Magnus Enzensberger in Bezug auf den Tourismus gesagt hat: „Er zerstört, was er sucht, indem er es findet.“³

Auch Lichtkünstler und Lichtkünstlerinnen werden immer aufmerksamer für das Problem der Lichtverschmutzung, wie Christina Karasek im Zuge ihrer Dissertation in Interviews mit Lichtarchitekten⁴ zeigte. So stellen auch diese ein Problem mit dem „zu viel“ an Licht fest:

Richtige Beleuchtung schafft Übersicht im urbanen Raum; unstrukturierte, in der Intensität divergierende Beleuchtung stiftet hingegen Verwirrung. Licht gestaltet den urbanen Raum als einen leuchtenden, nächtlichen Erlebnisraum, im urbanen Kontext wird es jedoch auch zum Ausdruck von Prestige und Repräsentation. Zu viele dynamische oder intensiv leuchtende Fassaden einzelner städtischer oder kommerzieller Prestigebauten akzentuieren das Stadtbild nicht, sondern treten in eine in Lichtverschmutzung resultierende Konkurrenzsituation.⁵

Auch die Tourismusbranche wird auf die Chancen aufmerksam mit dem Sternenhimmel zu werben, was nur geht, wenn nur wenig Lichtverschmutzung vorhanden ist. Unter anderem mit dem Slogan „Unterm Sternenhimmel“ weist die Österreichwerbung auf Orte und Veranstaltungen hin, bei denen Menschen den Sternenhimmel genießen können. Dies gilt zum Beispiel beim Campen am Montafon⁶, oder in einem Spa mit Glasdach und damit Blick auf die Sterne in Salzburg⁷, sowie in einem Hotel in Vorarlberg mit Sternenhimmel über dem Bett.⁸ „Unter dem schier unendlichen Sternenhimmel der Brandnertaler Alpen“ kann man schließlich am Lagerfeuer sitzen und genießen.⁹

³ Ulrich Hatzfeld, Stadt-Licht-Kultur. Stadtbaukultur bei dem Versuch, das Immaterielle etwas zu materialisieren“. In: Christoph Brockhaus, [Hg.], Stadtlcht Lichtkunst, Katalog zur Ausstellung in der Stiftung Wilhelm Lehmbruck Museum – Zentrum Internationaler Skulptur, Duisburg, (17.10.2004 – 30.01.2006), Köln 2004.

⁴ Interviews insgesamt: N=30; Interviews zum Kapitel „Licht-Farbräume im urbanen und architektonischen Kontext“: N=5

⁵ Christina Karasek, Immaterielle Farbräume – Lichtkunst im musealen und urbanen Kontext in Europa seit 1900. Dissertation an der Karl-Franzens-Universität Graz am Institut für Kunstgeschichte 2009, S. 177.

⁶ Christian Busch, Gute Laune, viel Zeit und ein Zahnbürstl, am 31.01.2014, <http://newsroom-de.austria.info/2014/01/31/gute-laune-viel-zeit-und-ein-zahnbuerstl/>, Stand: 10.04.2014.

⁷ Sabina König, Unterm Sternenhimmel. SalzburgerLand: exklusive Nächte im „Das Goldberg“, am 11.02.2014, <http://newsroom.austria.info/2014/02/unterm-sternenhimmel-2/>, Stand: 10.04.2014.

⁸ Sabina König, Unterm Sternenhimmel. Vorarlberg: ausspannen zu zweit in Beza, am 11.12.2012, <http://newsroom.austria.info/2012/12/unterm-sternenhimmel/>, Stand: 10.04.2014.

⁹ Sabina König, „Zit neh füranandr“. Vorarlberg: Eltern-Kind-Zeit im Brandnertal, 11.03.2014, <http://newsroom.austria.info/2014/03/zit-neh-fueranandr/>, Stand: 10.04.2014.

Auch Rüdiger Wittig und Bruno Streit widmen eine Seite ihres 2004 erschienenen Buches „Ökologie“ der Lichtverschmutzung. Sie ordnen dieses Thema in das Kapitel „Umweltschutz, Ökotoxologie, nachhaltige Entwicklung“ ein und weisen ihm damit eine bestimmte Bedeutung in dieser Richtung zu. Nachdem die Ursache der Lichtverschmutzung erklärt wurde, weist der Artikel auf die Probleme hin: weniger Sicht auf die Sterne, Veränderung des Tag-Nacht-Rhythmus von Tieren und Pflanzen, das Orientierungsverhalten nachtaktiver Tiere, die Störung des Hormonsystems und damit eine erhöhte Krebsanfälligkeit.¹⁰ Diese Stichworte werden dann im Kapitel zur Unterrichtsplanung noch detailliert betrachtet werden.

2012 wurde das Grundlagenbuch „Einführung in die Stadtökologie. Grundzüge des urbanen Mensch-Umwelt-Systems“ veröffentlicht. Wilfried Endlicher schreibt in diesem ausdrücklich der Stadtökologie gewidmeten Buch jedoch nur einen Absatz über die Lichtverschmutzung. Er nennt aber, im Gegensatz zum zuvor genannten Buch, die Energieverschwendung als ersten Beweggrund, die nächtliche Beleuchtung einzudämmen.¹¹

Mit diesem Aspekt beschäftigen sich auch Forscher und Forscherinnen des Vereins Kuffner Sternwarte in Wien. Seit 2011 wird der nächtliche Himmel Wiens im Auftrag der Wiener Umweltschutzgesellschaft (WUA) mit speziell dafür entwickelten Messgeräten, so genannten Lightmetern beobachtet, die im Sekundentakt Messwerte aufzeichnen. Das Lightmeter besteht aus einer Solarzelle in einem geschlossenen und damit wetterfesten Alurahmen in den Abmessungen 15 x 92 x 92 mm und hat eine Masse von 270 g. Mit einem USB Kabel werden die Daten auf einen Computer übertragen und dort gespeichert. Es misst Beleuchtungsstärken von 0,0005 Lux bis 200 000 Lux. Die Empfindlichkeit reicht damit aus, um geringste Aufhellungen des Nachthimmels messtechnisch nachzuweisen.¹²

Neben der ganzjährigen Messung der Himmelsaufhellung Wiens wurden auch etwa 10% des Wiener Straßennetzes mit beweglichen Messgeräten vermessen. Dabei zeigte sich, dass Geschäfts-, Werbe-, Fassaden- und Auslagenbeleuchtungen einen höheren Anteil an der Wiener Lichtemission haben, als die öffentliche Beleuchtung. Mittlerweile wurden drei Berichte veröffentlicht,^{13 14 15} die zeigen, dass für die Aufrechterhaltung der Ablicht-Glocke über der

¹⁰ Rüdiger Wittig / Bruno Streit, *Ökologie*, Stuttgart 2004, S. 276f.

¹¹ Wilfried Endlicher, *Einführung in die Stadtökologie. Grundzüge des urbanen Mensch-Umwelt-Systems*, Stuttgart 2012, S. 79.

¹² Günther Wuchterl / Felix Linhardt, *Lightmeter*, <http://kuffner-sternwarte.at/hms/wiki/index.php5?title=Lightmeter>, Stand: 02.09.2014.

¹³ Markus Reithofer / Günther Wuchterl / Andreas Chwatal / Thomas Posch / Felix Linhardt / Manuela Kopper, *Exemplarischer Lichtkataster - Licht über Wien*. Kuffner Sternwarte, Institut für Astronomie der Universität Wien, im Auftrag der WUA (Wiener Umweltschutzgesellschaft), Wien 2012, <http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/lichtverschmutzung-lichtkataster.pdf>, Stand: 01.04.2014.

Stadt Wien eine Leistung von mindestens 25 MW erforderlich ist. Dieser Wert konnte auf Basis der Helligkeitsreduktion während der so genannten Halbschaltung der öffentlichen Beleuchtung um 23:00 Uhr Ortszeit errechnet werden. Die in und außerhalb Wiens befindlichen Lightmeter registrieren zu diesem Zeitpunkt einen signifikanten Helligkeitsabfall. Zusammen mit den von der Wiener MA 33 zur Verfügung gestellten Anschlusswerten der halbgeschalteten Leuchten kann so von der gemessenen Lichtimmission auf die insgesamt zur Erhellung des Nachthimmels eingesetzte Leistung geschlossen werden.¹⁶ Für das Jahr 2012 wurde eine Lichtleistung von mindestens 25 MW errechnet, die einem Aufwand von 91 GWh¹⁷ elektrischer Energie pro Jahr für das Wiener Ablicht entspricht. Nimmt man ein CO₂-Äquivalent von 0,561 kg/kWh¹⁸ an, entspricht dies ca. 50 000 Tonnen CO₂ pro Jahr.¹⁹

Doch was kann man dagegen tun? Damit beschäftigte sich in Österreich unter anderem die Tiroler Umweltschutzkommission schwerpunktmäßig. Regelmäßig werden Broschüren veröffentlicht, die über die Lichtverschmutzung informieren und aufzeigen, durch welche Maßnahmen weitere Lichtverschmutzung verhindert werden kann.²⁰ Auch das Amt der oberösterreichischen Landesregierung hat im Jahr 2013 eine Schrift dazu herausgegeben.²¹ Weitere Informationen finden sich in den Erläuterungen zur Unterrichtsstunde (siehe 3.4.6).

2.1.2 Kompetenzmodell NAWI des bifie

In den österreichischen Schulen sollen die Lernenden nicht nur Wissen, sondern auch Kompetenzen erlangen und umsetzen. Franz Weinert definiert den Begriff Kompetenzen: Diese sind „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen

¹⁴ Felix Linhardt / Manuela Kopper / Markus Reithofer / Günther Wuchterl, Licht über Wien II, Kontinuierliche Messungen der nächtlichen Globalstrahlung und Energieaufwand für die Wiener Lichtglocke im Jahr 2012, Kuffner Sternwarte, Institut für Astronomie der Universität Wien, im Auftrag der WUA, Wien 2013, http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/licht_ueber_wien_allgemeiner_teil_2012.pdf und http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/licht_ueber_wien_anhang_2012.pdf, Stand: 01.04.2014.

¹⁵ Felix Linhardt / Manuela Kopper / Markus Reithofer / Günther Wuchterl, Licht über Wien III, Kontinuierliche Messungen der nächtlichen Globalstrahlung und Energieaufwand für die Wiener Lichtglocke im Jahr 2013, Kuffner Sternwarte, Institut für Astronomie der Universität Wien, im Auftrag der WUA, Wien 2014, <http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/licht-ueber-wien-2013.pdf>, Stand: 01.04.2014.

¹⁶ Reithofer, Exemplarischer Lichtkataster, S. 14.22.

¹⁷ 25 MW · 24 h · 365 d = 91 GWh

¹⁸ Dieser Wert entspricht den Emissionen des deutschen Strommix‘ aus dem Jahr 2009 (Quelle: Umweltbundesamt). An anderen Orten kann dieser Wert jedoch leicht um den Faktor zwei variieren.

¹⁹ Linhardt, Licht über Wien II, S. 7.

²⁰ Tiroler Umweltschutzkommission, Die Helle Not, Innsbruck 32009, <http://www.hellenot.org>, Stand: 12.07.2014, Tiroler Umweltschutzkommission, zu hell. Die Helle Not. Wenn Licht zum Problem wird, Innsbruck 2012.

²¹ Amt der Oö. Landesregierung. *Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz* [Hg.], Leitfaden Besseres Licht. Alternativen zum Lichtsmog, Linz 2013.

erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“²² Dieser Forderung konkretisierte für Österreich das bifie im Jahr 2011 im Auftrag des Bundesministeriums für Unterricht, Kunst und Kultur.

Das bifie (**B**ildungsforschung, **I**nnovation und **E**ntwicklung des österreichischen Schulwesens) ist ein Bundesinstitut, dessen Kernaufgaben die Qualitätsentwicklung, das Bildungsmonitoring (Beobachtung des österreichischen Schulsystems), die Neue Reife- und Diplomprüfung, angewandte Bildungsforschung, ein nationaler Bildungsbericht sowie die Information und die Beratung in Fragen der Analyse und Entwicklung des Schulwesens.²³

Das Kompetenzmodell Naturwissenschaften des Bundesinstitutes bifie, das für alle Klassen bis zur 8. Schulstufe (= 4. Klasse Neue Mittelschule, 4. Klasse Hauptschule, 4. Klasse AHS Unterstufe) erarbeitet wurde, nennt drei Dimensionen des naturwissenschaftlichen Unterrichtes: Die Handlungsdimension, die Anforderungsdimension und die Inhaltsdimension. Die Handlungsdimension gliedert sich wiederum in drei Teilkompetenzen:

- a) Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren
- b) Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren
- c) Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln²⁴

Die geforderten Fähigkeiten zeigt Tabelle 1. In der rechten Spalte wurde angeführt, inwiefern die einzelnen Kompetenzen in der ausgearbeiteten Unterrichtsstunde zur Lichtverschmutzung „angesprochen“ werden.

²² Franz E. Weinert, Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Franz E. Weinert [Hg.], Leistungsmessung in Schulen, Weinheim / Basel 2001, 17-31, 27f.

²³ BIFIE, Die Kernaufgaben 2011-2014, <https://www.bifie.at/bifie/kernaufgaben>, Stand: 09.04.2014.

²⁴ BIFIE Wien, Kompetenzmodell Naturwissenschaften. 8. Schulstufe. Vorläufige Endversion Oktober 2011, https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf, Stand: 24.03.2014, S. 2.

Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren - Ich kann einzeln oder im Team ...

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W 1 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen | SuS (= Die Schüler und Schülerinnen) benennen und beschreiben das Phänomen der Lichtverschmutzung. |
| W 2 aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen | SuS entnehmen aus einem Folder des Landes Oberösterreich fachspezifische Informationen. |
| W 3 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren | SuS entwerfen eine „ideale“ Straßenleuchte und erklären, warum sie so gezeichnet wurde. |
| W 4 die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben | SuS erfassen und beschreiben, wie sich Lichtverschmutzung auf Tiere, Pflanzen und den Menschen auswirkt. |

Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren - Ich kann einzeln oder im Team ...

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E 1 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben | SuS berichten von ihren Beobachtungen bezüglich Lichtverschmutzung, führen Messungen mit selbst gebastelten Straßenleuchten durch und beschreiben diese. |
| E 2 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen | SuS stellen Vermutungen dazu auf, was den Unterschied der beiden Bilder des Sternbildes Orion verursacht. |
| E 3 zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren | SuS entwerfen zur Fragestellung einer „idealen“ Straßenleuchte ein Modell, führen Lichtmessungen damit durch und protokollieren die Daten. |
| E 4 Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren | SuS analysieren und interpretieren die selbst mit einer Luxmeter-App auf dem Smartphone gemessenen Werte ihrer gebastelten Straßenleuchten. (Welche verursacht am wenigsten Lichtverschmutzung aber dennoch am meisten Licht am Boden?) |

Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln - Ich kann einzeln oder im Team ...

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S 1 Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen | SuS bewerten die Daten einer Beispielaufgabe zur Nutzung eines Hanges in den Ostalpen und zur Installation einer neuen Hofbeleuchtung und ziehen insofern ihre Schlüsse daraus, dass sie sich für eine Option entscheiden. |
| S 2 Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln | SuS erkennen die Bedeutung und die Risiken, die mit Lichtverschmutzung für sie persönlich und für die Gesellschaft verbunden sind. Sie erkennen somit auch die Chance, selbst verantwortungsbewusst zu handeln. |
| S 3 die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Bildungsweges zu verwenden | SuS erfassen die Bedeutung „richtiger“ Beleuchtung, die in verschiedenen Berufsfeldern begegnen kann: z.B. Architektur (Gebäudebeleuchtung), Gewerbe (Geschäftsbeleuchtung, Werbebeleuchtung), Politik (Straßenbeleuchtung), Biologie (negative Beeinflussung von Tieren und Pflanzen), Astronomie (Sichtbarkeit des Nachthimmels), Medizin (Gesundheit des Menschen, Biorhythmus) |
| S 4 fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden | SuS argumentieren fachlich korrekt und folgerichtig, was man gegen Lichtverschmutzung tun kann. |

***Tabelle 1:** Teilkompetenzen von Handlungskompetenz nach dem Kompetenzmodell NAWI des bifie – Die rechte Spalte zeigt, inwiefern die einzelnen Kompetenzen in der ausgearbeiteten Unterrichtsstunde „angesprochen“ werden.*

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass mit dem Thema Lichtverschmutzung alle Teilkompetenzen der Handlungskompetenz gefördert werden können. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse zeigen, dass die Lichtverschmutzung sowohl Menschen als auch Tieren und Pflanzen schadet (dies ist im Kapitel 2.3.4 weiter ausgeführt). Die Schüler und Schülerinnen können daraus für sie persönlich die Motivation ziehen, aktiv verantwortungsbewusst zu handeln und weitere Lichtverschmutzung in ihrem Einflussbereich zu verhindern. Dies reicht vom verantwortungsvollen Umgang im privaten Umfeld bis zum ökologischen Einsatz von Licht im späteren Berufsleben.

2.1.3 Lehrplanbezug

2.1.3.1 Lehrplan – Allgemeiner Teil

Der Allgemeine Teil des Lehrplanes für die AHS Unterstufe nennt als Hintergrund des Bildungs- und Erziehungsprozesses die raschen gesellschaftlichen Veränderungen insbesondere in den Bereichen Kultur, Wissenschaft, Wirtschaft, Technik, Umwelt und Recht.²⁵

Im Bildungsbereich Mensch und Gesellschaft ist im Lehrplan folgender Auszug zu finden:

Das Verständnis für gesellschaftliche (insbesondere politische, wirtschaftliche, rechtliche, soziale, ökologische, kulturelle) Zusammenhänge ist eine wichtige Voraussetzung für ein befriedigendes Leben und für eine konstruktive Mitarbeit an gesellschaftlichen Aufgaben.

Am Thema Lichtverschmutzung kann man sehr gut zeigen, wie einige dieser gesellschaftlichen Themen zusammenhängen: Das Problem mit dem künstlichen Licht ist durch *kulturelle* Entwicklungen (zunehmende Beleuchtung) entstanden und hat auch *wirtschaftliche* Hintergründe (Werbebeleuchtung). Jeder Einzelne kann sich hierbei *sozial* engagieren, aber auch die *Politik* kann einen Beitrag leisten, indem sie einen *rechtlichen* Rahmen schafft, der Licht im öffentlichen Raum regelt.

Der Bildungsbereich Natur und Technik unterstreicht ganz deutlich, worauf der naturwissenschaftliche Unterricht abzielen soll:

Die Natur als Grundlage des menschlichen Lebens tritt in vielfältiger, auch technisch veränderter Gestalt in Erscheinung. Die Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge der Natur sind als Voraussetzung für einen bewussten Umgang und die Nutzung mit Hilfe der modernen Technik darzustellen. Verständnis für Phänomene, Fragen und Problemstellungen aus den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaft und Technik bilden die Grundlage für die Orientierung in der modernen, von Tech-

²⁵ Verordnung der Bundesministerin für Bildung, Wissenschaft und Kultur, mit der die Verordnung über die Lehrpläne der allgemein bildenden höheren Schulen geändert wird; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht, Kundgemacht in: BGBl. II Nr. 133/2000, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11668/11668.pdf>, Stand: 24.03.2014.

nologien geprägten Gesellschaft. Der Unterricht hat daher grundlegendes Wissen, Entscheidungsfähigkeit und Handlungskompetenz zu vermitteln. Die Schülerinnen und Schüler sind zu befähigen, sich mit Wertvorstellungen und ethischen Fragen im Zusammenhang mit Natur und Technik sowie Mensch und Umwelt auseinander zu setzen. Als für die Analyse und Lösung von Problemen wesentliche Voraussetzungen sind Formalisierung, Modellbildung, Abstraktions- und Raumvorstellungsvermögen zu vermitteln.²⁶

2.1.3.2 Lehrplan – Physik

Der Lehrplan für den Unterrichtsgegenstand Physik sieht in der 4. Klasse AHS vor, das Thema „Die Welt des Sichtbaren“ zu behandeln. Als einleitender Satz wird empfohlen, dass die Schüler und Schülerinnen über Alltagserfahrungen grundsätzliches Verständnis über die Entstehung und Ausbreitungsverhalten des Lichts erwerben und anwenden können sollen.²⁷

Lichtverschmutzung ist eine für das Verständnis der Ausbreitung, Streuung und Reflexion von Licht hilfreiche Alltagserfahrung. Der aktuelle Wissensstand der Schüler und Schülerinnen zu diesem Thema wurde vor jeder Unterrichtsstunde mit einem Fragebogen ermittelt.

2.2 Wie Lichtverschmutzung unterrichten?

Der Lehrplan verlangt also, dass im Unterricht unabhängig von der rein naturwissenschaftlichen Betrachtung eines Themas unter anderem auch soziale Aspekte mit einbezogen werden. Im Folgenden werden diese unter dem englischen Begriff socio-scientific issues behandelt. Bei der Bearbeitung dieser im Physikunterricht kann schließlich Bewertungskompetenz erworben und eingeübt werden. Zur Motivierung der Lernenden sollten zuvor ihre Interessen betrachtet werden, worauf im dritten Teil dieses Kapitels eingegangen wird.

2.2.1 Lichtverschmutzung als socio-scientific issue (SSI) im Physikunterricht

2.2.1.1 Was sind socio-scientific issues?

Troy D. Sadler beantwortet diese Frage folgendermaßen:

Socio-scientific issues (SSI) are controversial social issues with conceptual and/or procedural links to science [...]. They are open-ended problems without clear-cut solutions; in fact, they tend to have multiple plausible solutions. These solutions cannot be fully determined by scientific considerations. The issues and potential courses of action associated with the issues are influenced by a variety of social factors including politics, economics, and ethics. SSI may be global nature such as climate change

²⁶ BMUKK., Lehrplan AHS Unterstufe. Allgemeiner Teil, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11668/11668.pdf>, Stand: 02.05.2014, S. 4f.

²⁷ BMUKK., Lehrplan Physik AHS Unterstufe. Physik, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf>, Stand: 02.05.2014, S. 4f.

*and the use of genetic technologies or local such as addressing a neighbourhood environmental crisis or determining the location of a new powerplant.*²⁸

Diese Problemstellungen, mit denen die Schüler und Schülerinnen im Zusammenhang mit SSI konfrontiert werden, haben also keine vorgefertigten Antworten; sie müssen ihre eigenen finden. Diese Fragestellungen sind meist multidisziplinär. Sadler nennt als Beispiel den globalen Klimawandel, der sowohl die Biologie, Chemie, Physik und Geologie betrifft, aber auch die Ökonomie, Politik und Anthropologie.²⁹ Wie in Kapitel 2.3.4 detailliert ausgeführt wird, passt das Thema Lichtverschmutzung in diese Definition.

2.2.1.2 Warum socio-scientific issues unterrichten?

Welche Vorteile bringt es nun, SSI in den Physikunterricht Unterricht einfließen zu lassen? Im unten stehenden Zitat begründen Parchman, Demuth, Ralle, Paschmann und Huntemann, warum dies von besonderem Interesse für die Schüler und Schülerinnen ist. Die Geschehnisse und Vorgänge, über die sie lernen sollen, sind dann nämlich von persönlicher und damit alltagsweltlicher Bedeutung.

*„Dennoch gewinnt auch das im Unterricht erworbene Wissen an Bedeutsamkeit für die Lernenden, wenn es eine aktive Partizipation an gesellschaftlichen Diskussionen ermöglicht. [...] jedes erworbene Wissen wird daran gemessen, ob es zur Erklärung persönlich relevanter Fragestellungen tauglich ist.“*³⁰

Patricia Heitmann definiert jedes Thema, das der Diagnose von Bewertungskompetenz dient, als socio-scientific-issue.³¹ Weitere Merkmale sind ihre Authentizität und Relevanz. Wenn sie noch dazu aus Zeitungen und anderen Medien präsent sind, und auch in der Gesellschaft kontrovers diskutiert werden, eignen sie sich besonders gut als SSI.³² Zu bedenken ist hierbei auch, dass bei einem solchen Unterrichtsinhalt auch der Lehrer oder die Lehrerin nicht die „richtige Lösung“ hat, denn diese gibt es in Bezug auf solche Fragestellungen nicht. Die Lehrperson kann nur die Grundlage schaffen und den Schülern und Schülerinnen helfen, die

²⁸ Troy D. Sadler, Situating Socio-scientific Issues in Classrooms as a Means of Achieving Goals of Science Education. In: Troy D. Sadler [Hg.], Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research, Dordrecht 2011, 1-9, S. 4.

²⁹ Troy D. Sadler, Socio-scientific Issues as Contexts for Learning and Practice in Science Education. In: Dietmar Höttecke [Hg.], Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie, Berlin 2011, 6-16, S. 10.

³⁰ Ilka Parchmann / Reinhard Demuth / Bernd Ralle / Hans Paschmann / Heike Huntemann, Chemie im Kontext – Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten. PdN-ChiS, 50(1) 2001, S. 3.

³¹ Patricia Heitmann, Bewertungskompetenz im Rahmen Naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie. In: Hans Niedderer / Helmut Fischler / Elke Sumfleth [Hrsg.], Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 142, Berlin 2013, S. 77.

³² Timo Feierabend / Ingo Eilks, Teaching the societal dimension of chemistry along a socio-critical and problem-oriented lesson plan on the use of bioethanol. In: Journal of Chemical Education, 88/2011, 1250–1256, S. 1251.

Zusammenhänge zu verstehen. Somit sind die Voraussetzungen zur Bewertung geschaffen, die die Lernenden dann für sich selbst vornehmen müssen.³³

Lichtverschmutzung ist direkt wahrnehmbar und daher einfach mit der Alltagserfahrung der Schüler und Schülerinnen zu korrelieren. Außerdem sind schon mit geringem Aufwand konkrete Maßnahmen gegen diese Art von Umweltverschmutzung durchführbar (siehe 2.3.5).

2.2.1.3 Reasoning – Differenz zwischen scientific issues und social-scientific issues

Der Unterschied zwischen scientific issues und social-scientific issues resultiert aus folgenden Definitionen (siehe Abbildung 1)³⁴.

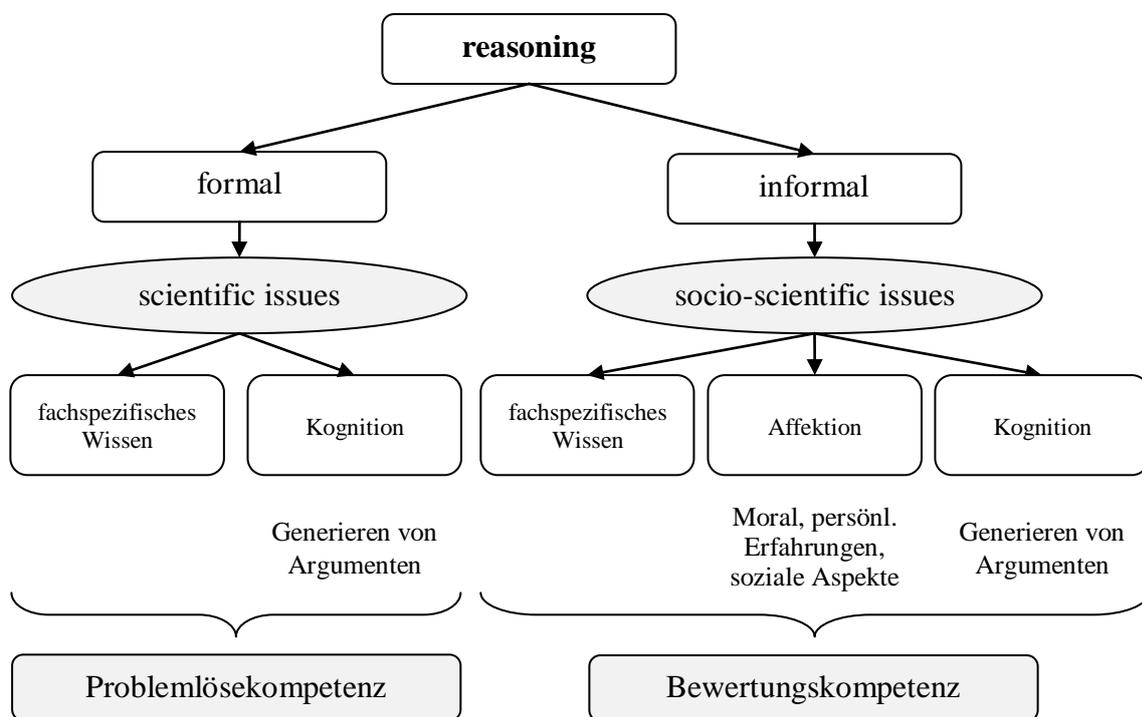


Abbildung 1: Formen des reasoning bei scientific issues und socio-scientific issues

Sollen Schüler und Schülerinnen zu einem begründeten Urteil kommen, so muss man unterscheiden um welches Problem es sich bei der Aufgabenstellung handelt. Handelt es sich um eine fachliche Aufgabe (scientific issue), bei der sie fachspezifisches Wissen und kognitive Fähigkeiten mitbringen müssen, so brauchen sie dazu „lediglich“ Problemlösungskompetenz. Sozialwissenschaftliche Themen (socio-scientific issues) erfordern zur Entscheidungsfindung zusätzlich zum fachspezifischen Wissen und zu den kognitiven Fähigkeiten einen dritten Einflussfaktor: die Affektion. Die Schüler und Schülerinnen orientieren sich jeweils an ihren ei-

³³ Ralf Marks / Ingo Eilks, Low Fat oder Low Carbs? – Kooperatives Lernen in einem gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie, 16(88/89)/2005, S. 66-70.

³⁴ Heitmann, Bewertungskompetenz, S. 37.

genen Moralvorstellungen und Erfahrungen und auch soziale Aspekte spielen eine Rolle. Dieser Entscheidungsfindungsprozess wird nun schließlich als „Bewertungskompetenz“ bezeichnet.

Ein Problem des Begriffes „Bewertungskompetenz“ ist, dass er in den Naturwissenschaften nicht einheitlich definiert ist. Manche beziehen ihn allein auf die Bewertung naturwissenschaftlicher Methoden und deren Präzision.³⁵ Dies würde in der obigen Definition von Heitmann eher der Problemlösungskompetenz entsprechen. Eilks, Feirabend, Höttecke, Hössle, Menthe, Mrochen und Oelgeklaus definieren dagegen, dass eine umweltbezogene Bewertungskompetenz von den Schülern und Schülerinnen etwas ganz anderes verlangt. Unter umweltbezogener Bewertungskompetenz verstehen sie

die Fähigkeit und die Bereitschaft, naturwissenschaftliche Sachurteile, sozial geteilte Werte, Normen und Interessen systematisch aufeinander zu beziehen, um eigene Urteile und Handlungen argumentativ rechtfertigen zu können und fremde Urteile und Handlungen nachzuvollziehen und in ihrer Interesse-Bedingtheit zu erkennen. Dies schließt die Fähigkeiten zur Übernahme fremder Perspektiven, zur Folgenreflexion, zur Unterscheidung deskriptiver und normativer Aussagen ausdrücklich ein.³⁶

Genau dies soll mit dem Thema Lichtverschmutzung mit den Schülern und Schülerinnen eingeübt werden.

2.2.2 Bewertungskompetenz anhand von Lichtverschmutzung einüben

Zum Aufbau der zum Thema Lichtverschmutzung konzipierten Unterrichtseinheit und vor allem der vorherigen und anschließenden Befragung wurde Literatur zur Bewertungskompetenz am Beispiel nachhaltiger Entwicklung herangezogen. Auch die Lichtverschmutzung ist ein Bereich, der beim Thema Nachhaltigkeit eine Rolle spielt.

2.2.2.1 Das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz

Das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz stammt aus dem Bereich des Biologieunterrichts. Bei gesellschaftlich relevanten Fragen der angewandten Biologie (z.B. Umweltschutz oder nachhaltige Entwicklung) wird von Schülern und Schülerinnen gefordert, zu bestimmten Themen Entscheidungen zu finden und damit Bewertungskompetenz zu zeigen. Mit dem Göttinger Modell der Bewertungskompetenz schufen Sabina Eggert und Susanne Bögeholz ein Strukturmodell für den Kompetenzbereich Bewertung, das beispielhaft im Kontext Nachhaltig-

³⁵ Timo Feierabend / Ingo Eilks, Der Klimawandel vor Gericht. Bewerten lernen als Kern allgemeiner Bildung und essentielle Voraussetzung für gesellschaftliche Teilhabe. In: Plus Lucis 1-2/2011, 2-10, S. 3.

³⁶ Ingo Eilks / Timo Feierabend / Dietmar Höttecke / Corinna Hössle / Jürgen Menthe / Maria Mrochen / Helen Oelgeklaus, Bewerten Lernen und Klimawandel in vier Fächern – Erste Einblicke in das Projekt „Der Klimawandel vor Gericht“. In: Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht 64(1)/2011, 7-11, S. 7.

ger Entwicklung formuliert wurde. Das Modell basiert auf Erkenntnissen der Entscheidungstheorie³⁷, der Forschung zu naturwissenschaftlicher Grundbildung³⁸ und Bewertungskompetenz^{39, 40}.

Das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz nennt vier Teilkompetenzen, die für Bewertungskompetenz eine zentrale Rolle spielen. Im Folgenden werden diese Teilkompetenzen am Beispiel der Nachhaltigen Entwicklung nach Sabina Eggert und Susanne Bögeholz erläutert.

a) Kennen und Verstehen von Nachhaltiger Entwicklung

Sowohl Ökologie und Ökonomie als auch Soziales spielen beim Thema Nachhaltige Entwicklung eine wichtige Rolle. Die Lernenden sollen den Zusammenhang dieser drei Elemente verstehen und dass auch die Bedürfnisse der heutigen und zukünftigen Generationen zu beachten sind. Nicht zu vergessen sind die Konflikte, die durch unterschiedliche Zielvorstellungen von Vertretern aus den drei genannten Bereichen zustande kommen. Gerade diese Zielkonflikte können erneut zur Grundlage der Entwicklung von tragfähigen Lösungsoptionen werden.

b) Kennen und Verstehen von Werten und Normen

Ohne ein grundlegendes ethisches Basiswissen kann keine Bewertung zu Themen angewandter Physik erfolgen. Für die Lernenden ist es hierbei wichtig, dass sie zwischen Werten und Normen sowie Meinungen, Aussagen und Emotionen unterscheiden können. Sie sollen außerdem erkennen, dass Normen in einem gesellschaftlichen Aushandlungsprozess entstehen und diese daher wandelbar sind.

c) Generieren und Reflektieren von Sachinformationen

Die Schülerinnen und Schüler sollen fähig sein, eigenständig Daten zu erheben. Dies umfasst die Planung der Untersuchungen, sowie deren Durchführung und Aufarbeitung. Anschließend folgt die Analyse. Hierzu zählt auch das Erkennen von Defiziten bei der Datenerhebung.

³⁷ Vgl. Robert P. Abelson / Ariel Levi, Decision making and decision theory. In: Gardner Lindzey / Elliott Aronson [Hg.], Handbook of Social Psychology, New York 1985, 231-309.

Tilmann Betsch / Susanne Haberstroh / Connie Höhle, Explaining Routinized Decision Making. A Review of Theories and Models. In: Theory & Psychology, 12(4)/2002, 453-488.

³⁸ Rodger Bybee, Achieving Scientific Literacy. Modelle in der Biologiedidaktik. In: ZfDN, 10/1997, 89-115.

³⁹ Vgl. Mary Ratcliffe, Pupils' Decision making about socio-scientific issues within the science curriculum. In: International Journal of Science Education, 19/1997, 167-182.

⁴⁰ Sabina Eggert / Susanne Bögeholz, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 12/2006, 177-197, S. 177f.

d) Bewerten, Entscheiden und Reflektieren von Sachinformation

Die Lernenden vergleichen mehrere Optionen miteinander. Dabei soll bewusst werden, dass nicht intuitiv entschieden werden darf, sondern nur auf Basis bestimmter Entscheidungsstrategien, die vorher festgelegt wurden. Zum Thema Nachhaltige Entwicklung wurden für das Fach Biologie zum Beispiel die Gesamtvernetzung von Ökologie, Ökonomie und Sozialem („Retinität“)⁴¹, inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit und die (Grund-) Bedürfnisorientierung als Kriterien genannt. Abgeschlossen wird dieser Teil von einer neuerlichen Reflexion, in der die gefällten Wertentscheidungen kritisch überprüft werden.⁴²

In Abbildung 2 sind die vier Säulen des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz von Sabina Eggert und Susanne Bögeholz am Beispiel der Lichtverschmutzung graphisch dargestellt.

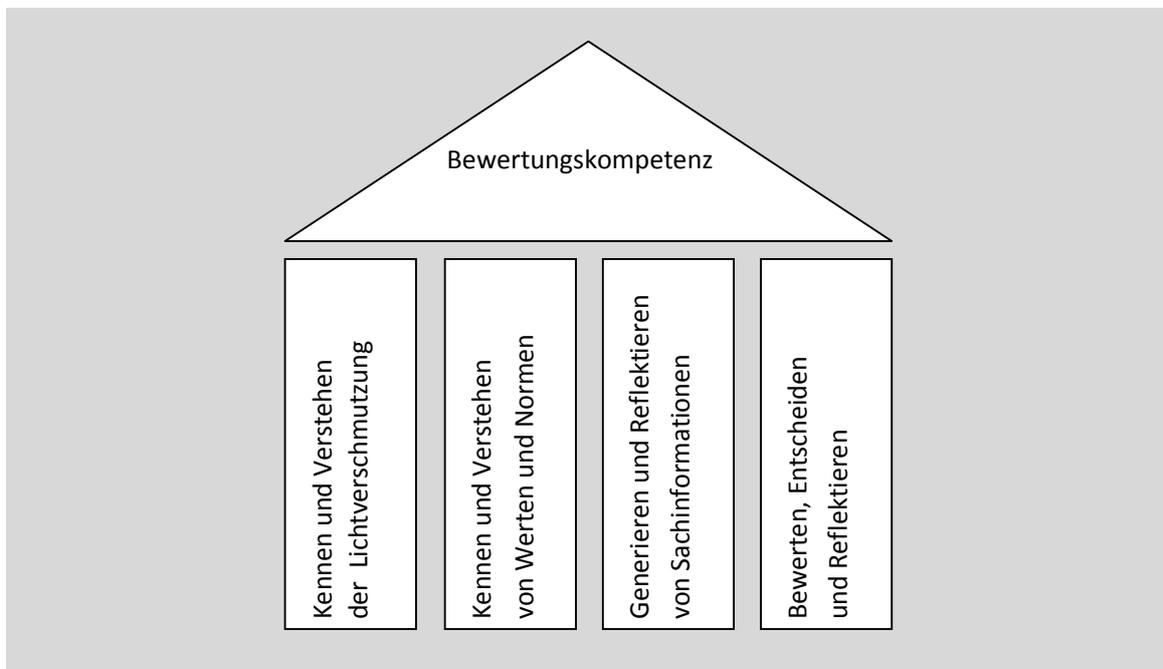


Abbildung 2: Göttinger Modell der Bewertungskompetenz adaptiert für die Lichtverschmutzung

2.2.2.2 Messung der Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ mit Kompetenzniveaus

Zur Graduierung der Ergebnisse der empirischen Überprüfung von Bewertungskompetenz wurden vier Niveaus definiert, die Entwicklungsverläufe beschreiben können (siehe Tabelle 2). Diese basieren auf den Modellen von Scientific Literacy⁴³, sowie der Erkenntnisgewin-

⁴¹ UNCED, Agenda 21. Verabschiedet auf der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro 1992.

⁴² Eggert, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz, S. 188-191.

⁴³ Bybee, Achieving Scientific Literacy.

nung durch Experimentieren⁴⁴ und SEPUP (Science Education for Public Understanding Program)⁴⁵. Schülern und Schülerinnen werden bestimmte Aufgaben gestellt und je nachdem, in welcher Art und Weise ihre Argumentation aufgebaut ist, werden die Antworten den verschiedenen Niveaus zugeordnet.

| Niveau 1: | Niveau 2: | Niveau 3: | Niveau 4: |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Die Schülerinnen und Schüler ... | | | |
| ... bewerten und entscheiden intuitiv bzw. rechtfertigend ohne Anwendung einer Entscheidungsstrategie. | ... bewerten und entscheiden unter Berücksichtigung von mindestens zwei relevanten Kriterien. | ... bewerten und entscheiden unter Berücksichtigung von mindestens drei relevanten Kriterien. | ... bewerten und entscheiden unter Berücksichtigung von mindestens drei relevanten Kriterien. |
| ... wählen eine Option auf der Basis von Alltagsvorstellungen aus und/oder berücksichtigen dabei maximal ein Kriterium. | ... vergleichen die gegebenen Optionen teilweise im Hinblick auf die Kriterien und dokumentieren ihre Entscheidungsprozesse unvollständig. | ... vergleichen die gegebenen Optionen vollständig im Hinblick auf die Kriterien und dokumentieren vollständig. | ... vergleichen die gegebenen Optionen vollständig im Hinblick auf die Kriterien und dokumentieren vollständig. |
| | ... entscheiden vor allem non-kompensatorisch ⁴⁶ . | ... entscheiden non-kompensatorisch und/oder kompensatorisch. | ... entscheiden vor allem kompensatorisch. |
| | | ... reflektieren zentrale normative Entscheidungen im Bewertungsprozess. | ... 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“
– mit veränderter Formatierung erstellt nach Eggert, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz, S. 191ff.

Wählen Lernende ihre Antworten intuitiv und/oder unter Berücksichtigung nur eines Kriteriums aus und beziehen sich dabei auch auf Alltagserfahrungen, so entspricht diese Entscheidung dem Niveau 1.

Berücksichtigen die Schüler und Schülerinnen mindestens zwei Kriterien in ihrem Entscheidungsprozess und begründen ihre Wahl, so befinden sie sich auf Niveau 2. Hierbei werden meist non-kompensatorische⁴⁶ Entscheidungsstrategien angewandt und der Prozess zur Entscheidung wird auch noch unvollständig dokumentiert.

⁴⁴ Marcus Hammann, Kompetenzentwicklungsmodelle. In: MNU, 57/2004, 196-203.

⁴⁵ Lily Roberts / Mark Wilson / Karen Draney, The SEPUP assessment system. An Overview, Berkley 1997.

⁴⁶ Bei kompensatorischen Entscheidungsstrategien können negative Kriterien durch positive Kriterien kompensiert werden. Bei non-kompensatorischen Entscheidungsstrategien geschieht kein solcher Ausgleich.

Auf Niveau 3 beziehen die Lernenden mindestens drei relevante Kriterien mit ein, vergleichen die gegebenen Optionen vollständig und dokumentieren den gesamten Prozess. Sie entscheiden kompensatorisch und/oder non-kompensatorisch und reflektieren zentrale normative Entscheidungen in ihrem Bewertungsprozess.

Bewertungen auf Niveau 4 finden schließlich auf Basis von drei oder mehr relevanten Kriterien statt. Wie auch auf Niveau 3 werden die gegebenen Optionen vollständig verglichen und der Prozess vollständig dokumentiert. Auf Niveau 4 wird allerdings vor allem kompensatorisch entschieden und zur Reflexion zentraler normativer Entscheidungen kommt noch dazu, dass die Grenzen in der Anwendung von Entscheidungsstrategien erkannt werden können. Zusammengefasst unterscheiden sich die Niveaus 3 und 4 im Wesentlichen durch eine bessere Reflexionsfähigkeit.⁴⁷

2.2.3 Interesse der Schüler und Schülerinnen

Mit dem Themenbereich Lichtverschmutzung sollen möglichst viele Schüler und Schülerinnen angesprochen werden. Ob dies der Fall ist, wird anhand einiger Fragen in einem Fragebogen erforscht, der vor Abhaltung der Unterrichtseinheiten von den Schülern und Schülerinnen ausgefüllt wird (siehe Anhang 1: Pre-Test).

An dieser Stelle soll zunächst festgestellt werden, ob das Thema in Bereichen verortet werden kann, die in anderen Studien von Lernenden als interessant angegeben wurden. So fragte Heinz Muckenfuß insgesamt 533 Realschüler und –schülerinnen der 8. und 9. Klassen aus sechs Schulen zuerst, ob Physik ein beliebtes oder unbeliebtes Fach sei. Danach fragte er nach dem Interesse für bestimmte Teilbereiche der Physik. Hierbei zeigte sich, dass vor allem Umweltthemen für jene Schüler und Schülerinnen von besonderem Interesse waren, die den Physikunterricht als unbeliebtes Fach bezeichneten. Die drei Teilbereiche mit den meisten Nennungen waren Energiesparen, Solarenergie und Himmelsfarben. Diese drei Sachthemen nahmen aber auch in der Gesamtwertung aller Schüler und Schülerinnen die Spitzenpositionen ein⁴⁸ (siehe Abbildung 3).

⁴⁷ Eggert, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz, S. 191ff.

⁴⁸ Heinz Muckenfuß, Lernen im sinnstiftenden Kontext, Düsseldorf 1995, S. 81.

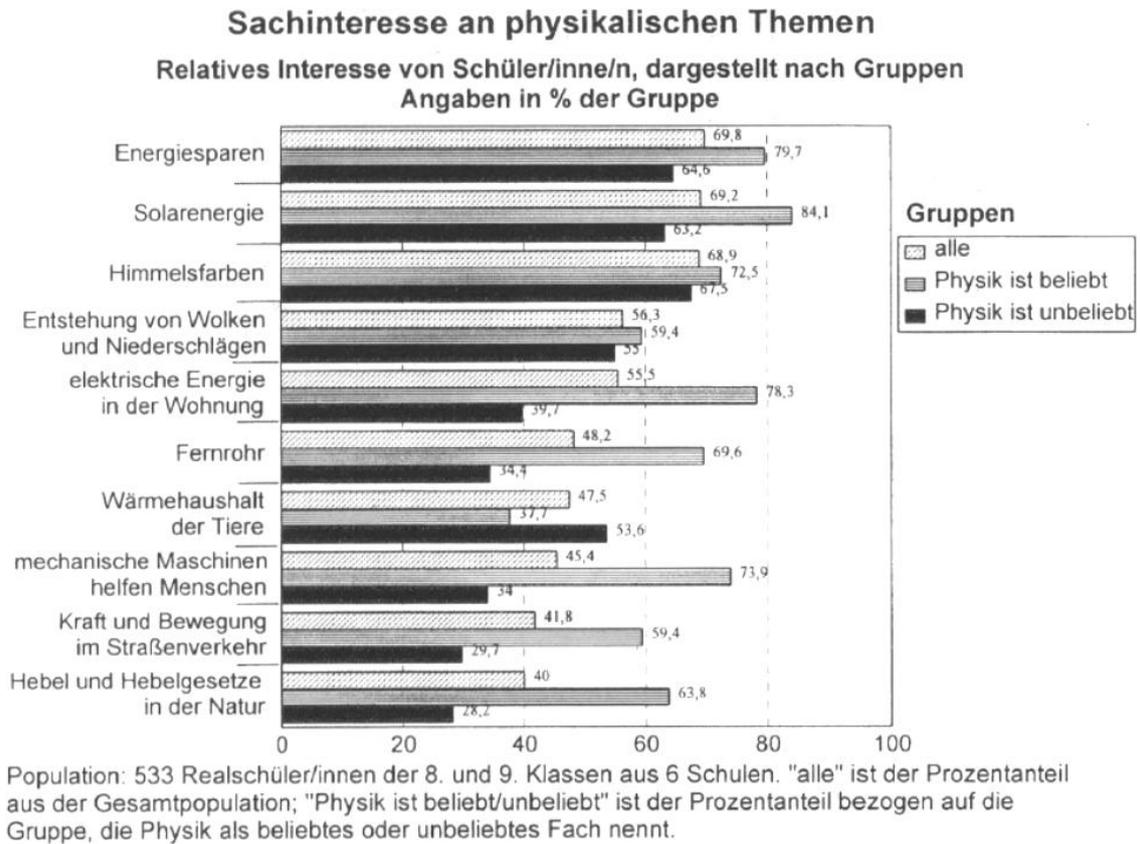


Abbildung 3: Sachinteresse von Schülern und Schülerinnen an physikalischen Themen

Weitere Informationen zu Interessen der Schüler und Schülerinnen bringt die in Österreich und Deutschland durchgeführte ROSE-Erhebung. Bei der internationalen Vergleichsstudie ROSE (The Relevance of Science Education) werden Meinungen und Einstellungen Jugendlicher zum naturwissenschaftlichen Lernen in 40 Nationen erhoben. Ziel der Studie war es, Ansätze aufzuzeigen, die Relevanz, Attraktivität und Qualität des naturwissenschaftlichen Unterrichtes für die Schüler und Schülerinnen zu steigern. Außerdem sollte durch die empirisch erhobenen Daten eine kritische Diskussion über naturwissenschaftlichen Unterricht sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene angeregt werden.⁴⁹

In Österreich und Deutschland wurden 1247 Lernende (Mädchen: N=659, Buben: N=588) im Alter von 14 bis 18 Jahren befragt, wobei sich die Ergebnisse in diesen beiden Ländern weitgehend decken. Betrachtet man die Interessen an bestimmten Inhalten von männlichen und weiblichen Schülern getrennt, so zeigt sich, dass Mädchen besonders interessiert sind an Inhalten der Humanbiologie und Buben an jenen der Elektrizität und Energie, Technik und Chemie. Mädchen wie Buben interessieren sich außerdem für Astrophysik und das Univer-

⁴⁹ Doris Elster, In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. In: Plus Lucis 3/2007, http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/073/s2_8.pdf, Stand: 15.04.2014, 2-8, S. 2f.

sum, Zoologie sowie Licht und Strahlung. Weniger Interesse zeigten sie für Themen der Botanik (Pflanzen) und der Geologie (Aufbau der Erde), der Technologie und Energie. In der ROSE-Studie wurde auch das Interesse für bestimmte Zusammenhänge erhoben. Dies ergab, dass die Schüler und Schülerinnen jene Themen besonders interessiert, die mit dem Körper und seiner Entwicklung stehen, aber auch Gesundheit, Spektakuläres, Mystik und Wunder standen an der Spitze. Wenig Interesse zeigen sie für die Bereiche Alltagsnutzen, Schönheit und Ästhetik. Mädchen lassen sich besonders von Themen aus den Bereichen Gesundheit, Fitness, Jugend, Mystik und Wunder begeistern. Buben dagegen interessieren sich besonders für alles Spektakuläre.⁵⁰

Mit dem Thema Lichtverschmutzung kann man viele Bereiche ansprechen, die die Schüler und Schülerinnen als interessant angegeben haben. Vor allem männliche Schüler aber auch überdurchschnittlich viele weibliche haben angegeben, dass sie das Universum interessiert, was direkt zum astronomischen Kontext der Lichtverschmutzung führt. Zur Zoologie kann die Problematik der Lichtverschmutzung insofern einen Beitrag leisten, dass Tiere in ihrem Tag-Nacht-Rhythmus gestört werden. Bei den Mädchen erreicht das Interesse zu Licht und Strahlung genau den Mittelwert. Da Lichtverschmutzung ein praktisches Beispiel zur Ausbreitung von Licht ist, kann diese zu einem vertieften Verständnis beitragen. Für Burschen ist der Bereich Energie von besonderem Interesse (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5).

⁵⁰ *Elster*, In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant?, S. 5.

Interesse an Inhalten

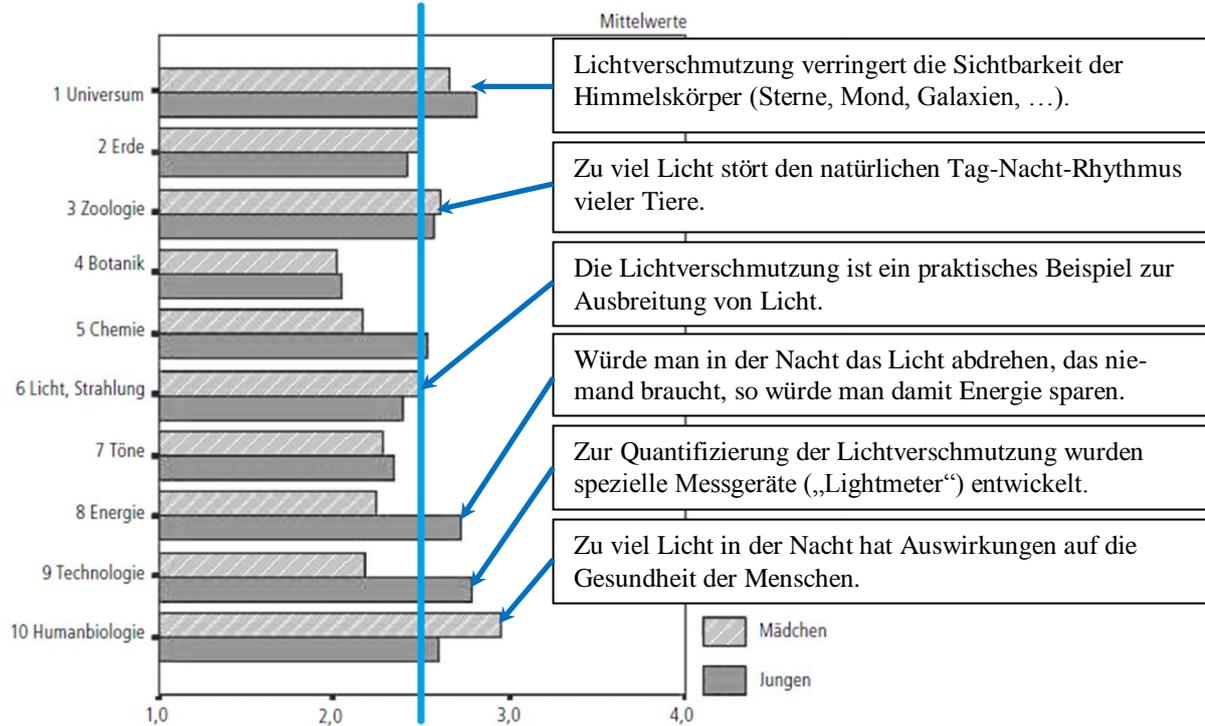


Abbildung 4: Ergebnis der ROSE-Studie: Interesse von Mädchen und Buben an naturwissenschaftlichen Inhalten (Mittelwerte: 4-stufige Likert-Skala: 1: „nicht interessiert“, 4: „sehr interessiert“) Die Inhalte der Kästen rechts zeigen, dass mit dem Thema Lichtverschmutzung viele Inhalte, die von den Schülern und Schülerinnen als interessant bezeichnet wurden, angesprochen werden.

Interesse an Kontexten

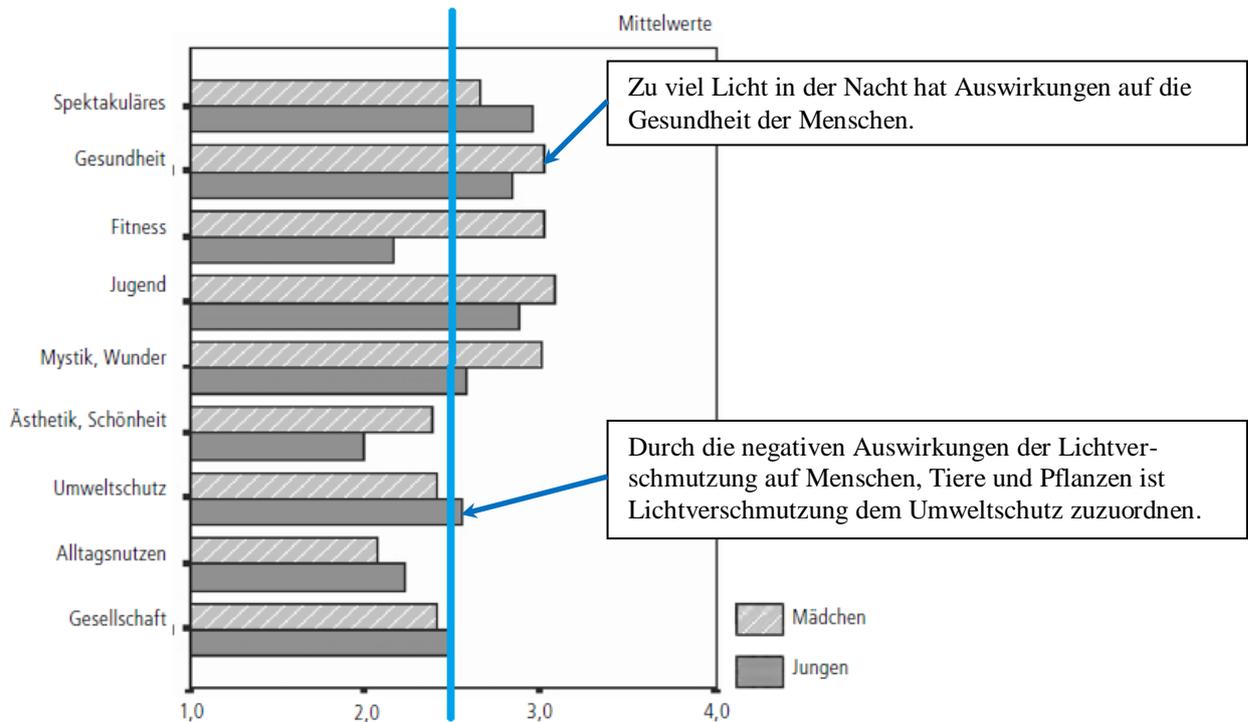


Abbildung 5: Ergebnis der ROSE-Studie: Interesse von Mädchen und Buben an naturwissenschaftlichen Kontexten (Mittelwerte: 4-stufige Likert-Skala: 1: „nicht interessiert“, 4: „sehr interessiert“) Die Inhalte der Kästen rechts zeigen, dass mit dem Thema Lichtverschmutzung viele Kontexte, die von den Schülern und Schülerinnen als interessant bezeichnet wurden, angesprochen werden.

Ergänzend meint Sigrid Zwiorek ein Physikunterricht, der auf diesen Interessen der Schülerinnen und Schüler aufbauen möchte, muss besonders den Mädchen Identifikationsmöglichkeiten bieten. Außerdem sollte statt der Fachsystematik die Kontextorientierung in den Vordergrund gestellt, sowie mathematische Berechnungen reduziert und offener Unterricht einbezogen werden. Über all dem soll das Prinzip stehen, den Lernenden individuelle Lernfortschritte zu ermöglichen.⁵¹ In diesem Sinne werden basierend auf den oben genannten Interessen Grundlagen zur Lichtverschmutzung aufgearbeitet. Im Anschluss daran wird das Unterrichtskonzept vorgestellt.

2.3 Fachliche Grundlagen zur Lichtverschmutzung

Was meint man im Detail, wenn man von „Lichtverschmutzung“ spricht? Dies soll nun geklärt werden. Zum besseren Verständnis werden auch die physikalischen Grundlagen, die Entstehung sowie die einzelnen Problemfelder näher erläutert werden, um im Anschluss auf einige Lösungsvorschläge näher einzugehen.

2.3.1 Der Begriff „Lichtverschmutzung“

Bei Begriffen wie „Luftverschmutzung“ ist klar, dass damit die Verschmutzung *von* Luft gemeint ist. Doch was wird eigentlich bei der „Lichtverschmutzung“ verschmutzt? Kann Licht verschmutzt werden?

Lichtverschmutzung ...

... beschreibt „exzessives Licht und/oder Licht, das nicht richtig ausgerichtet ist und Situationen, in denen ein Übermaß an Licht zum Ärgernis werden kann.“^{52,53}

... „(aus dem engl. Light Pollution) bezeichnet die Aufhellung des Nachthimmels durch künstliche Lichtquellen, deren Licht in der Atmosphäre gestreut wird.“⁵⁴

... „is one of the negative side-effects of artificial outdoor lighting.“⁵⁵

... „künstliches Licht ohne Beleuchtungszweck.“⁵⁶

⁵¹ Sigrid Zwiorek, Mädchen und Jungen im Physikunterricht. In: Helmut F. Mikelskis [Hg.], Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II, Berlin 2006, 73-85, S. 78.

⁵² Christa van Santen, Lichtraum Stadt. Lichtplanung im urbanen Kontext, Basel 2006, S. 116.

⁵³ Einige Zahlenwerte zur Aufhellung des Nachthimmels, also was dieses „Übermaß an Licht“ bedeutet, werden in Kapitel 2.3.2.6 angegeben.

⁵⁴ Andreas Hänel, Lichtverschmutzung und Ökologie, www.lichtverschmutzung.de, Stand: 29.05.2014.

⁵⁵ Kohei Narisada / Duco Schreuder, Light Pollution Handbook, Dordrecht 2004, S. XIX.

⁵⁶ Amt der Oö. Landesregierung. Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz [Hg.], Besseres Licht – Alternativen zum Lichtsmog, Linz 2013.

Im Gegensatz zur sonst üblichen Verwendung des Verschmutzungsbegriffes meint Lichtverschmutzung also nicht die Verschmutzung *von* Licht, sondern eine Belastung der Umwelt *mit* künstlich erzeugtem Licht – primär während der Nachtstunden. Lichtverschmutzung ist daher eine klassische Immissionsbelastung wie etwa jene von Lärm oder KFZ-Abgasen.

2.3.2 Physikalische Grundlagen

Um die Entstehung der Lichtverschmutzung auf einer elementaren Ebene verstehen zu können, sind vor allem die Phänomene Reflexion und Streuung, sowie die Ausbreitung von Licht einzubeziehen.

2.3.2.1 Sichtbares Licht

Menschen können elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 400 nm und 750 nm wahrnehmen. Violette Licht befindet sich am untersten Rand des wahrnehmbaren Spektrums und rotes Licht am obersten (siehe Abbildung 6). Wir können Licht wahrnehmen, weil unser Auge es an die Sehnerven weiterleitet, die einen Reiz ins Gehirn übertragen. Dieses verarbeitet den Seheindruck und wandelt das Signal in ein Bild um.⁵⁷

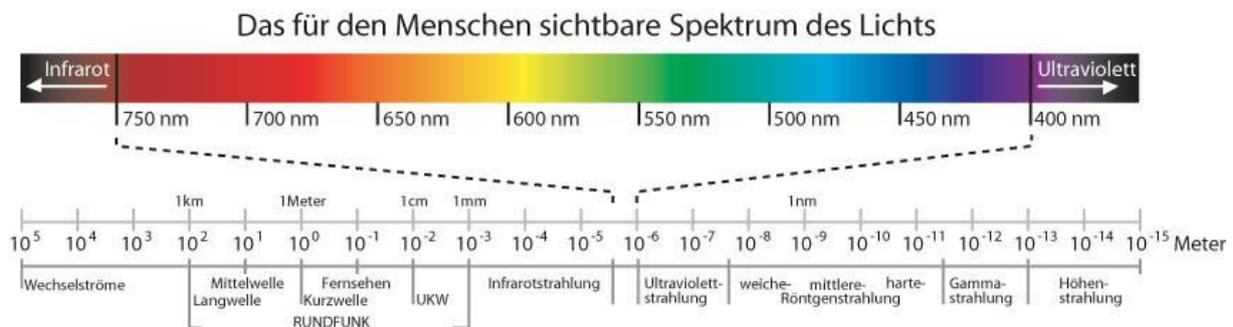


Abbildung 6: Das für den Menschen sichtbare Spektrum des Lichts

Die spektrale Intensitätsverteilung spielt eine große Rolle bei der Auswahl von Leuchtmitteln. Es sollte kein blaues Licht unter 480 nm ausgestrahlt werden. Dieses stört den menschlichen Schlaf und den Orientierungssinn von Insekten. Eine Abstrahlung über 640 nm ist nicht empfehlenswert, da sie energetisch sehr ineffizient ist. Der größte Teil der Energie wird dabei nicht in sichtbares Nutzlicht, sondern in Wärme umgewandelt. Als Beispiel dafür zeigen Abbildung 7 und Abbildung 8 die Spektren zweier LED. Bei der kalt-weißen erkennt man, dass der Blauanteil zu hoch ist, bei der warm-weißen hingegen sehr niedrig. Letztere ist also eher zu empfehlen. Wie ineffizient Glühlampen sind, zeigt Abbildung 9. Das Maximum der Emis-

⁵⁷ Paul A. Tipler / Gene Mosca, Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, München 2004, S. 191.

sion liegt hier weit im roten und infraroten Bereich. Das Licht von Glühlampen wird zwar oft als sehr angenehm empfunden, die klassische Glühbirne wird aber durch energiereichtliche Maßnahmen vom Markt verdrängt und im privaten Bereich zunehmend durch LED ersetzt.⁵⁸

Erklärung zu Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9:

- *Bienen-Symbol*: Empfindlichkeitsbereich von Insektenaugen (x-Achse: Wellenlänge (vgl. Abbildung 6), y-Achse: relative Lichtempfindlichkeit)
- *Bett-Symbol*: Dieses Lichtspektrum stört Menschen beim Schlafen. (x-Achse: Wellenlänge, y-Achse: relative Lichtempfindlichkeit)
- *Mond-Symbol*: Spektrum des Mondlichts (x-Achse: Wellenlänge, y-Achse: relative Intensität)
- *Sonnen-Symbol*: Spektrum des Sonnenlichts (x-Achse: Wellenlänge, y-Achse: relative Intensität)
- *grau schattierter Bereich*: Spektrum des genannten Lampentyps (x-Achse: Wellenlänge, y-Achse: relative Intensität)

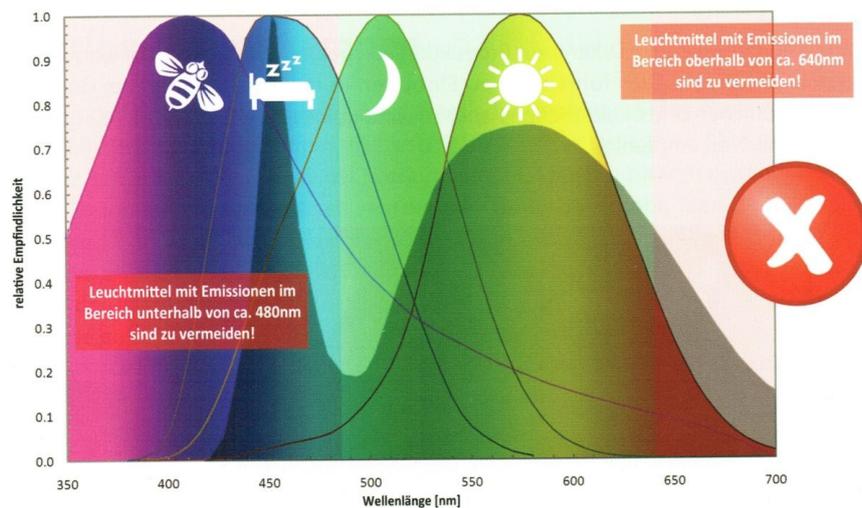


Abbildung 7: Spektrum einer kalt-weißen LED

⁵⁸ Amt der Oö. Landesregierung, Leitfaden Besseres Licht, S. 29.

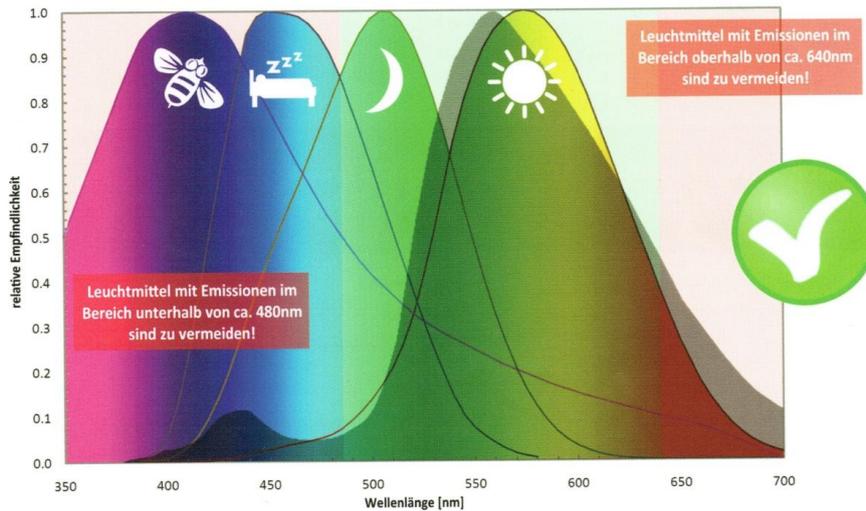


Abbildung 8: Spektrum einer warm-weißen LED

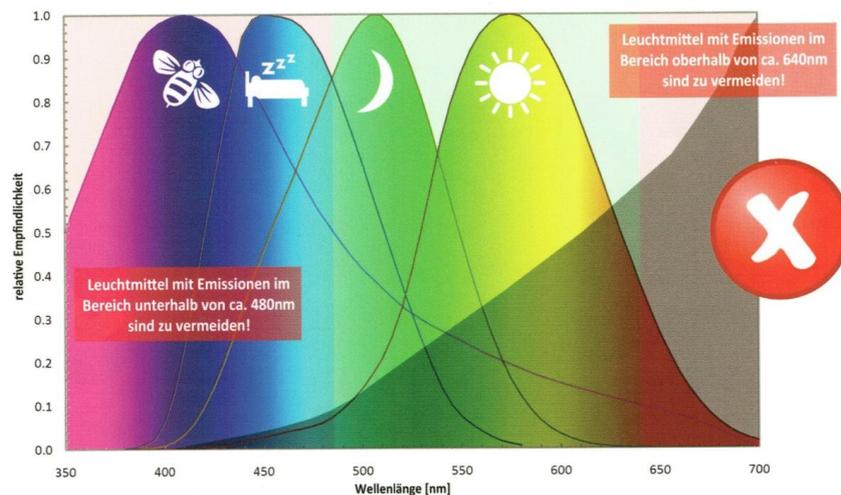


Abbildung 9: Spektrum einer Glühlampe

2.3.2.2 Ausbreitung des Lichts

Im Jahr 1802 demonstrierte Thomas Young zum ersten Mal die Wellennatur des Lichts. Er schloss diese aus dem Interferenzmuster von zwei kohärenten Lichtquellen. Fast 58 Jahre später stellte Maxwell seine Theorie der elektromagnetischen Wellen auf und führte somit die Theorie der Wellennatur des Lichts zu einem Höhepunkt. Albert Einstein postulierte 1905, dass Licht aus Teilchen bestehe und erklärte dies mit dem photoelektrischen Effekt. Einstein stellte fest, dass ein Lichtteilchen, das Photon, eine Energie E hat, die von der Frequenz ν bzw. von der Wellenlänge λ abhängig ist:

$$E = h \nu = \frac{h c}{\lambda}$$

E ... Energie eines Photons

h ... Planck'sches Wirkungsquantum ($h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$)

ν ... Frequenz

c ... Lichtgeschwindigkeit ($c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

λ ... Wellenlänge

Durch die Welleneigenschaften kann erklärt werden, wie sich Licht ausbreitet; durch die Teilcheneigenschaften, wie Energie zwischen Licht und Materie ausgetauscht wird. Dieser „Welle-Teilchen-Dualismus“ ist nicht nur eine Eigenschaft des Lichts, sondern gilt auch für alle anderen Teilchen.⁵⁹ Für die Anwendung in der Praxis formulieren Christian Kruisz und Regina Hitzenberger: „Für jedes Phänomen nehmen wir die Beschreibung, mit der wir am besten zurechtkommen.“⁶⁰

Die Ausbreitung des Lichts kann mit zwei Prinzipien beschrieben werden, dem Huygens'schen und dem Fermat'schen.

Huygens'sches Prinzip:

*Jeder Punkt einer bestehenden Wellenfront ist Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Elementarwelle, die sich mit derselben Geschwindigkeit und Frequenz ausbreitet wie die ursprüngliche Wellenfront. Die Einhüllende aller Elementarwellen ergibt die Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.*⁶¹

Fermat'sches Prinzip

*Der Weg, den das Licht von einem Punkt zu einem anderen einschlägt, ist stets derjenige, bei dem die dafür nötige Zeitspanne minimal ist.*⁶²

2.3.2.3 Streuung

Trifft nun eines der Photonen auf ein Atom, so geschieht dies mit der Energie $h\nu$. Ab einer gewissen Energie – der Anregungsenergie – kann es das Atom in einen angeregten Zustand versetzen. Ist die Energie des Photons geringer als die Anregungsenergie, verbleibt das Atom in seinem Grundzustand und das Photon wird an ihm gestreut. Es behält dabei seine Energie, weshalb man in diesem Fall von einer *elastischen Streuung* spricht. Hat das einfallende Atom allerdings eine so hohe Energie, dass ein Atom oder Molekül in einen angeregten Zustand

⁵⁹ Tipler, Physik, S. 991f.

⁶⁰ Christian Kruisz / Regina Hitzenberger, Physik verstehen, Wien 2005, S. 203.

⁶¹ Tipler, Physik, 1005.

⁶² Tipler, Physik, 1006.

übergeht, liegt eine *inelastische Streuung* (auch Raman-Streuung) vor. Das Molekül bzw. Atom strahlt ein Photon ab, und geht dabei in einen energetisch tieferen Zustand über, der nicht dem vorherigen entspricht. Ist die Energie $h\nu'$ des gestreuten Photons niedriger als die Energie $h\nu$ des einfallenden Photons, so handelt es sich um die *Stokes-Raman-Streuung*.⁶³ Ist die Energie des gestreuten Photons gleich der Energie des einfallenden Photons hat man es mit der *Mie-Streuung* zu tun.⁶⁴ Ist schließlich $h\nu' > h\nu$, so spricht man von der *Anti-Stokes-Raman-Streuung* (Abbildung 10).

Ist die Wellenlänge λ viel größer als das Streuteilchen, so spricht man von der *Rayleigh-Streuung*. Die Wahrscheinlichkeit, dass Rayleigh-Streuung stattfindet, steigt proportional mit $1/\lambda^4$ an. Blaues Licht wird also viel stärker gestreut als z.B. rotes. Darum ist der Himmel blau und bei Sonnenuntergang rot: der größte Teil des blauen Anteils wird in Richtung der Sonne gestreut.⁶⁵ Diese Art der Streuung ist auch dafür verantwortlich, dass das Licht blauer Leuchten (z.B. kaltweißer LED) stark gestreut wird und dadurch erheblich mehr Lichtverschmutzung verursacht als jenes von Leuchten mit einem höheren Rot-Anteil.⁶⁶ Bei klarem Himmel überwiegt die Rayleigh-Streuung. Befinden sich viele Aerosole, wie Salzkristalle, Wasserdampf oder Rußpartikel, in der Atmosphäre, findet auch die *Mie-Streuung* statt. Während die Rayleigh-Streuung an Teilchen erfolgt, die wesentlich kleiner sind als die Wellenlänge des Lichts, erfolgt die Mie-Streuung an Teilchen mit einem Durchmesser gleich der Wellenlänge der Strahlung.⁶⁷

⁶³ Tipler, Physik, 994.

⁶⁴ Ludwig Bergmann / Clemens Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik Band 5: Gase, Nanosysteme, Flüssigkeiten, Berlin ²2006, S. 292.

⁶⁵ Tipler, Physik, 994.

⁶⁶ Thomas Posch, Besser beleuchten – Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing der Beleuchtung. In: Martin Held / Franz Hölker / Beate Jessel [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 43-46, S. 44.

⁶⁷ Viktor Wesselak / Thomas Schabbach / Thomas Link / Joachim Fischer, Regenerative Energietechnik, Berlin / Heidelberg ²2013, S. 120.

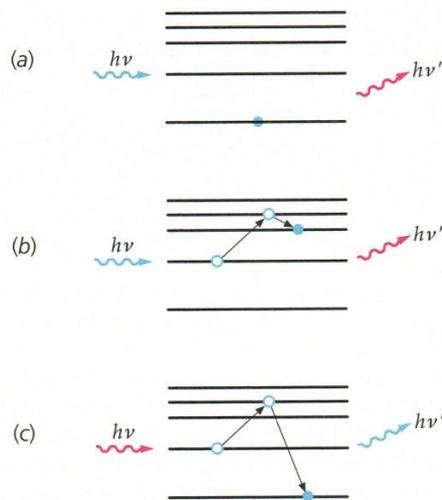


Abbildung 10: Photon-Atom Wechselwirkungen
a) Elastische Streuung, b) Stokes-Raman-Streuung, c) Anti-Stokes-Raman-Streuung

2.3.2.4 Reflexion und Brechung

Licht breitet sich im Vakuum mit der Geschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ aus. Über die Lichtgeschwindigkeit in einem Medium c_n wird die Brechzahl n eines bestimmten Mediums definiert:

$$n = \frac{c}{c_n}$$

- $n \dots$ Brechzahl eines Mediums
- $c \dots$ Lichtgeschwindigkeit
- $c_n \dots$ Lichtgeschwindigkeit im Medium

Luft hat eine Brechzahl von 1,0003, daher kann für sie näherungsweise die Vakuumlichtgeschwindigkeit angenommen werden.

Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zweier Medien, so wird ein Teil reflektiert, der andere Teil gelangt in das zweite Medium. Dieser zweite Teil wird gebrochen (siehe Abbildung 11). Für das Verständnis der Entstehung von Lichtverschmutzung ist die *Reflexion* von besonderem Interesse. Für alle Arten von Wellen gilt das Reflexionsgesetz, das in der Abbildung ersichtlich ist: Einfallswinkel = Reflexionswinkel⁶⁸

⁶⁸ Tipler, Physik, 1006f.

$$\theta_1 = \theta'_1$$

- θ_1 ... Einfallswinkel
 θ'_1 ... Reflexionswinkel

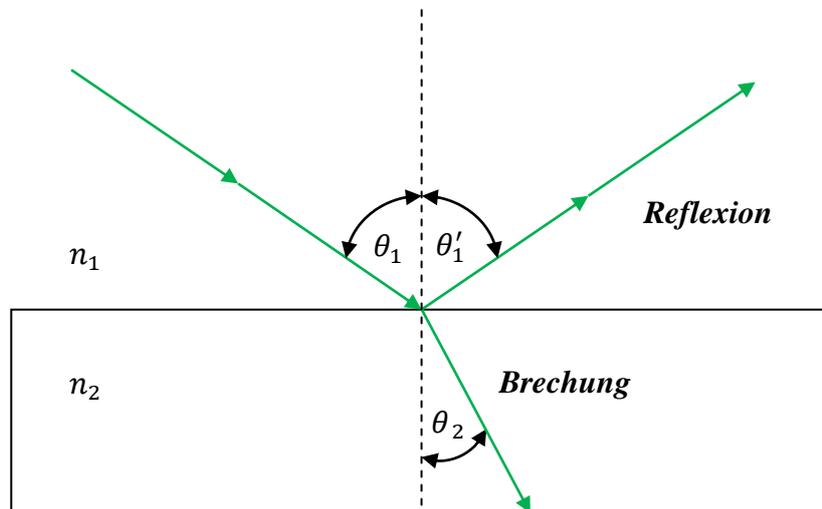


Abbildung 11: Reflexion und Brechung

Wird kein Anteil des Lichts gebrochen, sondern die gesamte Lichtintensität reflektiert, so spricht man von *Totalreflexion*. Dies ist dann der Fall, wenn der Einfallswinkel einen kritischen Winkel θ_k überschreitet. Dieser Winkel ist abhängig von den Brechzahlen der beiden Medien:

$$\sin \theta_k = \frac{n_2}{n_1} \cdot \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1}$$

- θ_k ... kritischer Winkel der Totalreflexion
 n_1 ... höhere Brechzahl des Mediums, von dem das Licht auf die Grenzfläche trifft
 n_2 ... niedrigere Brechzahl⁶⁹

2.3.2.5 Fachbegriffe zur Beleuchtungstechnik

In der folgenden Tabelle werden einige physikalische Größen, die in der Beleuchtungstechnik verwendet werden, erklärt. Die Inhalte von Tabelle 3 wurden aus Lohmeyers „Praktische

⁶⁹ Tipler, Physik, 1005f.

Bauphysik. Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen⁷⁰ und Eichlers „Physik für das Ingenieurstudium“⁷¹ zusammengestellt.

| Physikalische Größe | Berechnung | Einheit |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Lichtstärke I | $= \frac{\text{Lichtstrom } \phi \text{ [lm]}}{\text{Raumwinkel } \omega \text{ [sr]}}$ | Lumen/Steradian [lm/sr] = Candela [cd] |
| Die Lichtstärke kennzeichnet die Winkelabhängigkeit der Ausstrahlung einer Lichtquelle. | | |
| Lichtstrom ϕ | $= \text{Lichtstärke I [cd]} \cdot \text{Raumwinkel } \omega \text{ [sr]}$ | Lumen [lm] |
| Der Lichtstrom ist jene Lichtenergie, die von einer punktförmigen Lichtquelle in alle Richtungen ausgesandt wird. Eine Lichtquelle sendet abhängig von der Bauart nicht in alle Richtungen gleich viel Licht aus. Die Summe der gesamten in alle Richtungen ausgesandten Lichtmenge ergibt den Lichtstrom. | | |
| Lichtausbeute | $= \frac{\text{Lichtstrom } \phi \text{ [lm]}}{\text{Leistungsaufnahme P [W]}}$ | Lumen/Watt [lm/W] |
| Die Lichtausbeute entspricht dem Wirkungsgrad einer Lichtquelle. Sie gibt das Verhältnis zwischen Lichtstrom und der Leistungsaufnahme der Lichtquelle an. | | |
| Leuchtdichte L | $= \frac{\text{Lichtstärke I [cd]}}{\text{Leuchfläche A [m}^2\text{]}}$ | Candela/Quadratmeter [cd/m ²] |
| Die Leuchtdichte ergibt sich aus dem Verhältnis der Lichtstärke zur leuchtenden Fläche. | | |
| Beleuchtungsstärke E | $= \frac{\text{Lichtstrom } \phi \text{ [lm]}}{\text{Leuchfläche A [m}^2\text{]}}$ und $= \frac{\text{Lichtstärke I [cd]}}{\text{Entfernung } r^2 \text{ [m]}}$ (bei senkrechtem Lichteinfall) $= \frac{\text{Lichtstärke I [cd]}}{\text{Entfernung } r^2 \text{ [m]}} \cdot \cos \alpha$ (Lichteinfall mit Winkel α) | Lux [lx] = [lm/m ²] |
| Die Beleuchtungsstärke E wird in der Beleuchtungstechnik zur Bestimmung der Beleuchtung von Gegenständen im Raum angegeben. Sie ist abhängig von der Stärke und der Entfernung der Lichtquelle, sowie vom Winkel, in dem die Lichtstrahlen auf die beleuchtete Oberfläche auftreffen. Sie ergibt sich aus dem Lichtstrom bei senkrechtem Einfall pro Leuchfläche. Ein Lux entspricht dabei der Beleuchtungsstärke, die auf einer Fläche besteht, wenn auf 1 m ² der Fläche gleich verteilt ein Lichtstrom von 1 lm fällt. Die Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat der Entfernung r ab und kann mit einem Belichtungsmesser (Luxmeter) gemessen werden. | | |

Tabelle 3: Fachbegriffe zur Beleuchtungstechnik

⁷⁰ Gottfried C. O. Lohmeyer / Heinz Bergmann / Matthias Post, Praktische Bauphysik. Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen, Wiesbaden ⁵2005, S. 28-30.

⁷¹ Jürgen Eichler, Physik für das Ingenieurstudium, Wiesbaden ⁴2011, S. 240f.

2.3.2.6 Charakteristische Werte

Anhand dieser Größen können die unterschiedlichen Leuchtdichten bzw. Himmelshelligkeiten und die daraus resultierenden Beleuchtungsstärken auf dem Boden berechnet werden. Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass Straßenbeleuchtung den Boden mindestens viermal, und maximal 120 Mal heller beleuchtet als der Vollmond.

| | Himmelshelligkeit [mag/arcsec ²] ⁷² | Beleuchtungsstärke [lx] |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Taghimmel | | 100 000,0000 |
| Straßenbeleuchtung | | 1-30,0000 |
| Vollmondhimmel, Stadt | 17,0 | max. 0,2500 |
| Vororthimmel in Deutschland | 20,0 | 0,0100 |
| Natürlicher dunkler Himmel | 21,8 | < 0,0001 |

Tabelle 4: Charakteristische Werte für Leuchtdichten, Himmelshelligkeiten und daraus resultierenden Beleuchtungsstärken auf dem Boden.⁷³

Aus Tabelle 5 ist die Veränderung des Nachthimmels durch künstliche Aufhellung ersichtlich. Um die Dunkelheit des Nachthimmels zu beschreiben, bedienen sich Astronomen und Astronominen unterschiedlicher Methoden. Dazu zählt die neunstufige Borté Skala, wobei der Wert 1 den natürlichen, von jeglicher künstlichen Aufhellung freien Nachthimmel kennzeichnet. Eine weitere Methode ist die Angabe der so genannten Grenzhelligkeit, die die Helligkeit der schwächsten, mit freiem Auge subjektiv gerade noch sichtbaren Sterne angibt. Diese Möglichkeit zur Einschätzung der Lichtverschmutzung ist zwar nicht sehr genau, kommt aber ohne Messinstrumente und besondere Beobachtungserfahrung aus.⁷⁴ Eine darauf beruhende Aktion wurde 2001 von Astronomen der Universität Wien und dem Verein Kuffner Sternwarte in Österreich gestartet: 1 700 Menschen beteiligten sich an dem Projekt „How many Stars

⁷² In der Astronomie wird die visuelle scheinbare Helligkeit von Himmelsobjekten in bestimmte Größenklassen eingeteilt, so genannten Magnituden ([^m, m oder mag], von lat. magnitudo = Größe). Die Skala reichte im Altertum von Magnitude 1, den hellsten Sternen, bis Magnitude 6, den gerade noch erkennbaren Sternen. Mit der Erfindung des Fernrohres im 17. Jahrhundert wurde auch die Beobachtung schwächerer Sterne möglich, weshalb die Skala zu größeren Zahlen hin erweitert wurde. Für hellere Objekte wurde sie in den negativen Bereich ausgedehnt.

z.B. Sonne -26,8^m, Wega 0^m, Polarstern 2,1^m. Diese vom menschlichen Auge wahrgenommene Helligkeit ist proportional zum Logarithmus der Strahlungsintensität (\cong Lichtstärke) I.

Dieter B. Herrmann, Die Milchstraße. Sterne, Nebel, Sternsysteme, Stuttgart 2003, S. 19-20.

⁷³ Erstellt nach Andreas Hänel, Licht-Monitoring – Nachtschutz ist messbar. In: Martin Held / Franz Hölker / Beate Jessel [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlanschaft, Bonn 2013, 113-116, S. 113.

⁷⁴ Hänel, Licht-Monitoring, S.113.

can we still see?“ und registrierten an von ihnen durch Koordinaten genau angegebene Orten, wie viele Sterne des Sternbilds Kleiner Bär sie sehen konnten. Man ordnete dabei die Beobachtung einem von sechs im Internet zugänglichen Bildern zu. Anhand dieser Daten konnte eine Karte erstellt werden, die österreichweit die Aufhellung des Nachthimmels zeigt.⁷⁵

In Tabelle 5 hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass bei unverschmutztem Himmel Sterne mit einer Helligkeit von 7^m beobachtet werden können, an Stadträndern allerdings maximal Sterne mit 4,8^m. Dies bedeutet, dass Menschen an Stadträndern nur ca. 8% der Sterne sehen, die ohne künstliche Himmelsaufhellung betrachtet werden könnten.⁷⁶ In Wien ist dieser Wert durch die Zunahme der Lichtverschmutzung laut Messungen aus dem Jahr 2013 bereits auf 2%, im Stadtzentrum sogar auf unter 1% gesunken. 98%, bzw. 99% des Sternenhimmels werden dort also bereits von der Lichtverschmutzung überstrahlt.⁷⁷

| | Borte Skala | Grenzhelligkeit [m _{lim}] | Himmels- helligkeit [mag/arcsec ²] | Anzahl sichtbarer Sterne |
|-------------------------------|-------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Natürlicher dunkler Himmel | 1 | 7,0 | 21,8 | 6000 |
| Ländlicher Himmel | 3 | 6,8 | 21,4 | 5000 |
| Himmel in Vororten | 5 | 5,8 | 20,0 | 2000 |
| Himmel an Stadträndern | 7 | 4,8 | 18,5 | 500 |

Tabelle 5: Bewertungsgrößen zur Beurteilung der Nachthimmelsqualität⁷⁸

2.3.3 Historischer Blick auf das Phänomen Lichtverschmutzung

Pierantonio Cinzano sammelte zwischen 1947 und 2000 Messwerte der Himmelshelligkeit in den USA, Kanada und Mexico. Diese Studie zeigte einen linearen Anstieg der Himmelshelligkeit über diese 54 Jahre. Die künstliche Himmelsaufhellung steigt im Durchschnitt um circa eine Magnitude in zehn Jahren. Verglichen mit dem Jahr 1997 betrug die Himmelshellig-

⁷⁵ Holger Pikall / Josef Hron / Martin Netopil / Thomas Posch / Günther Wuchterl / Norbert Zeitlinger, How many Stars do we still see? First Results from a simple Light Pollution Experiment. In: Hugo E. Schwarz [Hg.], Light Pollution: The Global View, Dordrecht 2003, 287-292, S. 287-289.

⁷⁶ Hänel, Licht-Monitoring, S. 114.

⁷⁷ Linhardt, Licht über Wien III, S. 6f.

⁷⁸ Erstellt nach Hänel, Licht-Monitoring, S. 114.

keit am Ende der 1950er Jahre erst ein Zehntel, Mitte der 1970er-Jahre ein Drittel und die Hälfte in der Mitte der 1980er Jahre.⁷⁹

Als Beispiel dafür, wie das Problem mit der Lichtverschmutzung entstand, sei die österreichische Bundeshauptstadt herangezogen. Schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde das nächtlich hell erleuchtete Bild Wiens auf Postkarten mit der Überschrift „Das Wiener Lichtermeer“ abgebildet und zu Werbezwecken eingesetzt. Die wichtigsten Sehenswürdigkeiten wurden mit Effektbeleuchtung hervorgehoben und auch der Straßenraum mit moderner elektrischer Beleuchtung ausgestattet.⁸⁰ Begonnen hat alles im Jahre 1687, als der damalige Kaiser Leopold I. die Errichtung der ersten Beleuchtungsanlagen mit Klauenfett als Brennstoff veranlasste. Ein Jahr später brannten bereits 2 000 Lampen in der heutigen Wiener Innenstadt. 1779 brannten 3 400 Öllampen im damaligen Wiener Stadtgebiet, die zum Teil bis zwei Uhr morgens in Betrieb waren. In den 1830er Jahren erreichte der Siegeszug der Gasbeleuchtung seinen Höhepunkt, um dann in den 1880ern zum effizienteren „Auer-Glühstrumpf“ weiterentwickelt, ein zweites Mal zu einer Hochkonjunktur zu gelangen. Um 1900 wurde schließlich elektrische Straßenbeleuchtung eingeführt und führte zwei Jahrzehnte später zur ersten überlieferten Klage über zu viel Licht. Der Astronom Johann Palisa stellte fest, dass er, nachdem die elektrischen Bogenlampen um Mitternacht ausgeschaltet wurden, um zwei Größenklassen schwächere Sterne sehen konnte. Bis zu dieser Uhrzeit waren also astronomische Beobachtungen nur eingeschränkt möglich. Die Anzahl der Straßenleuchten in Wien stieg stetig an und sank nur in der Zeit der beiden Weltkriege kurzfristig. Wie auf Abbildung 12 erkennbar, führte eine starke Zunahme der Lampenzahl wie auch der Lichtausbeute der einzelnen Lampen zu einem exponentiellen Anstieg der Aufhellung des Nachthimmels.⁸¹

⁷⁹ Pierantonio *Cinzano*, The Growth of the Artificial Night Sky Brightness over North America in the Period 1947-2000. A preliminary Picture. In: Hugo E. *Schwarz* [Hg.], *Light Pollution: The Global View*, Dordrecht 2003, 39-47, S. 43.45f.

⁸⁰ Peter *Payer*, Urbanes Lichtermeer. Stadtimage und künstliche Beleuchtung. In: Ute *Streitt* / Elisabeth *Schiller* [Hg.], *Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung*, Linz 2012, 55-64, S. 55.

⁸¹ Thomas *Posch* / Johannes *Puschnig*, Geschichte und Gegenwart: Öffentliche Beleuchtung und Lichtverschmutzung im Großraum Wien. In: Ute *Streitt* / Elisabeth *Schiller* [Hg.], *Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung*, Linz 2012, 75-88, S. 75-82.

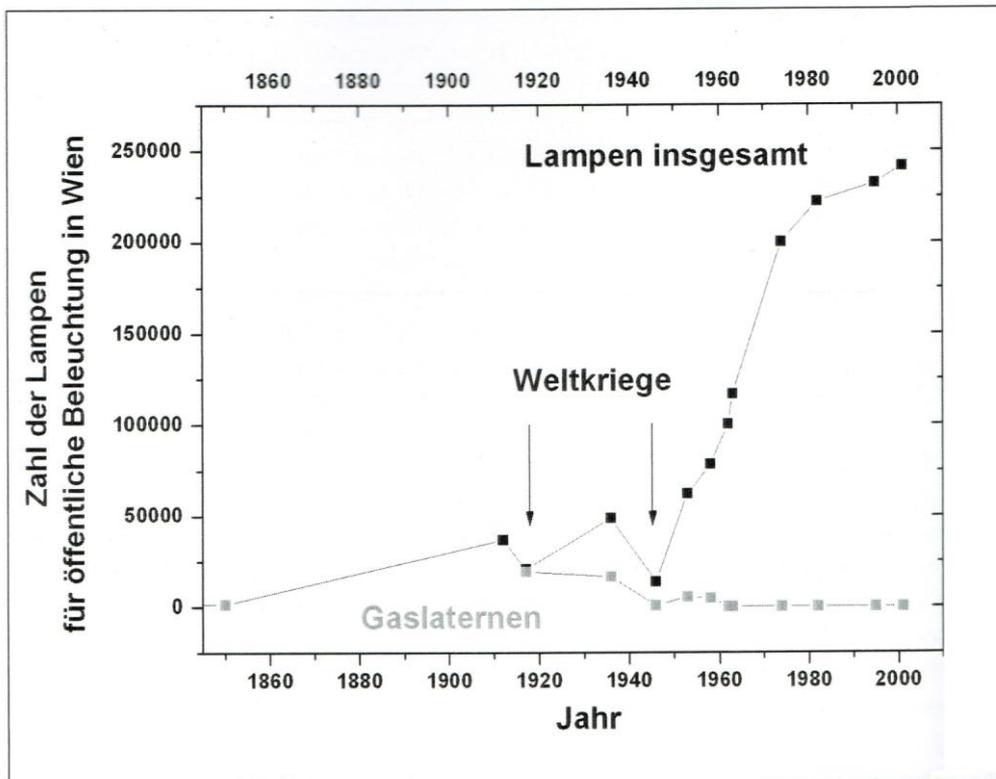


Abbildung 12: Entwicklung der Zahl der Lampen für die öffentliche Beleuchtung Wiens

2.3.4 Folgen der Lichtverschmutzung

Pflanzen, Tiere und Menschen haben sich im Lauf der Evolution an den täglichen Wechsel von Dunkel und Hell angepasst. Vor etwa 200 Jahren begann der Mensch allerdings die Umwelt mit künstlichem Licht zu illuminieren. 30 % der Wirbeltiere und sogar mehr als 60 % der Wirbellosen sind nachtaktiv. Sie sind an die Nacht angepasst und damit an Beleuchtung nur durch den Mond und das Sternenlicht. Zu viel künstliches Licht kann daher zu Blendung, Desorientierung und Abschreckung führen. Es kommt außerdem zur Störung der inneren Uhr, die den Stoffwechsel, das Wachstum und das Verhalten beeinflussen.⁸² Wie diese Beeinflussungen bei den einzelnen Tierarten im Detail aussehen, wird im Folgenden ausgeführt.

⁸² Franz Hölker, Lichtverschmutzung und die Folgen für Ökosysteme und Biodiversität. In: Martin Held / Franz Hölker / Beate Jessel [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlanschaft, Bonn 2013, 73-76, S. 73.

2.3.4.1 *Nachtaktive Insekten*

Licht hat auf nachtaktive Insekten einen „Staubsaugereffekt“.⁸³ Warum die Insekten von Kunstlicht angezogen werden, ist nicht restlos geklärt. Am plausibelsten ist allerdings die Navigationstheorie: Insekten nutzen normalerweise den Mond zur Navigation, die hellste nächtliche Lichtquelle. Durch die große Entfernung dient er als fixer Orientierungspunkt, zu dem sie immer einen bestimmten Winkel einhalten. Geraten sie jedoch in den Nahbereich einer Leuchte, versuchen sie dazu immer denselben Winkel beizubehalten, was zwangsläufig zu einer Kreisbahn führt.⁸⁴

Diese Anziehung endet schließlich mit dem Tod der Tiere und führt damit zur Dezimierung der Bestände. Zählungen ergaben zum Beispiel, dass eine Straßenlaterne in der Nähe eines Baches so viele Köcherfliegen anzieht, wie in der gleichen Zeit am Bachufer auf einer Länge von 200 m schlüpfen. Sie fehlen somit als Nahrung für andere Tiere (Vögel, Frösche, Fledermäuse) aber auch als Bestäuber für Pflanzen.⁸⁵ In manchen Insektengruppen überwiegt sogar die Zahl der nachtaktiven Arten. So zum Beispiel bei den Schmetterlingen, von denen 85% nachtaktiv sind.⁸⁶ In Österreich bedeutet dies, dass 3 500 nachtaktive Schmetterlingsarten durch Kunstlicht gefährdet sind. Zu diesen gehören Eulenfalter, Spanner, Schwärmer, Spinner und diverse Kleinschmetterlinge.⁸⁷

Um Lichtquellen zu charakterisieren, verwendet man den Begriff „Farbtemperatur“. Die meisten Lichtquellen sind Temperaturstrahler. Das bedeutet, sie senden ab einer bestimmten Temperatur auch sichtbares Licht aus.⁸⁸

Wie stark Insekten auf künstliche Lichtquellen reagieren, differiert sehr stark. Die meisten reagieren allerdings auf UV-Licht und blaues Licht. Weniger empfindlich reagieren sie – ebenso wie der Mensch – auf gelbes und rotes Licht.⁸⁹ Dies zeigte auch ein in Tirol durchgeführter Leuchtmittelvergleich. Dabei wurden im Sommer 2010 die angelockten Insekten pro

⁸³ Gerhard *Eisenbeis*, Lichtverschmutzung und ihre Folgen für Nachtaktive Insekten. In: Martin *Held* / Franz *Hölker* / Beate *Jessel* [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlanschaft, Bonn 2013, 53-56, S. 53.

⁸⁴ Gerhard *Eisenbeis*, Insekten und künstliches Licht. In: Thomas *Posch* / Anja *Freyhoff* / Thomas *Uhlmann*, Das Ende der Nacht, Weinheim 2010, 61-79, S. 62.

⁸⁵ Vgl. Mark Andreas *Scheibe*, Quantitative Aspekte der Anziehungskraft von Straßenbeleuchtungen auf die Emergenz aus nahegelegenen Gewässern (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae, Chironomidae, Empididae) unter Berücksichtigung der spektralen Emission verschiedener Lichtquellen. Doktorarbeit im Fachbereich Biologie, Institut für Zoologie, Johannes Gutenberg Universität Mainz 2000.

⁸⁶ *Tiroler Umweltschutz*, Die Helle Not, S. 30.

⁸⁷ Peter *Huemer*, Kunstlicht als Gefährdungsfaktor für nachtaktive Insekten, besonders für Schmetterlinge. In: Ute *Streitt* / Elisabeth *Schiller* [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 89-97, S. 90.

⁸⁸ Paul *Dobrinski* / Gunter *Krakau* / Anselm *Vogel*, Physik für Ingenieure, Wiesbaden ¹⁰2003, S. 452.

⁸⁹ *Narisada*, Light Pollution Handbook, S. 95. – Diese Ergebnisse basieren auf der Studie von Bernhard *Steck*, Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten, Berlin 1997.

Leuchtkörper über einen Zeitraum von 18 Nächten gezählt. So konnte festgestellt werden, dass LED mit einer geringen Farbtemperatur ($< 3\ 000$ Kelvin), also warm-weiße bzw. gelb-weiße, am „insektenfreundlichsten“ sind, da sie die geringste Anlockwirkung haben.⁹⁰

Bei den Straßenleuchten ersetzten in den 1990er-Jahren die gelborangen Natriumdampfhochdruck-Lampen viele kalt-weiße Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und brachten neben der Insektenfreundlichkeit auch 30% Energieersparnis. Noch mehr Energie sparen kalt-weiße LED, doch auch von diesen werden Insekten stark angezogen. Mittlerweile sind auch die oben genannten warm-weißen LED (light emitting diodes) auf dem Markt, die momentan die beste Wahl darstellen, da sie die geringste Anziehung auf Insekten ausüben und durch ihren deutlich geringeren Blauanteil weniger zur Lichtverschmutzung beitragen.⁹¹

Eine auf der Wiener Donauinsel durchgeführte Studie beschäftigte sich mit der Auswirkung verschiedener Leuchtentypen. Die Kugelleuchten der Donauinsel wurden im Sommer 2012 durch Full-cut-off LED-Leuchten ersetzt (siehe Abbildung 13). Mittels aufgestellter Insektenfallen und anschließender Zählung der gefangenen Tiere konnte festgestellt werden, dass gut abgeschirmte Leuchten, die ihr Licht nur in Richtung Boden strahlen, deutlich weniger Insekten anlocken als Kugelleuchten. Doch auch die neuen LED-Leuchten auf der Donauinsel sind noch verbesserungswürdig, wie die Forscher und Forscherinnen anmerken, denn sie senden kalt-weißes Licht aus, das besser durch warm-weißes ersetzt werden sollte.⁹²



Abbildung 13: Lichtradien verschiedener Straßenleuchten
ganz links: Kugelleuchte – Licht wird in alle Richtungen abgestrahlt,
ganz rechts: Full-cut-off Leuchte – Licht wird nur in Richtung Boden abgestrahlt

⁹⁰ Peter Huemer / Hannes Kühtreiber / Gerhard M. Tarmann, Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nacht-aktive Insekten – Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol (Österreich). In: Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen, 12(4)/2011, 110-135, S. 133f.

⁹¹ Eisenbeis, Lichtverschmutzung und ihre Folgen, S. 54ff.

⁹² Martin Soneira, Auswirkungen auf die Insekten-Fauna durch die Umrüstung von Kugelleuchten auf LED-Beleuchtungen. Eine Auftragsstudie der Stadt Wien (MA 33 Wien Leuchtet) zu den quantitativen Auswirkungen auf nacht- und dämmerungsaktive Insekten (Insecta), im Zuge der Modernisierungsmaßnahmen der Leuchten auf der Donauinsel, Wien 2013, S. 5.45.

2.3.4.2 Vögel

a) Zugvögel

Wie Insekten werden auch Vögel vom Licht angezogen. Im Winter finden Vögel in Mitteleuropa zu wenig Nahrung und ziehen daher in den Süden. Bei ihrem Zug in der Nacht orientieren sich die Vögel am Sternenhimmel, am Erdmagnetismus und auch visuell (z.B. an großen Flüssen). Bei schlechten Sichtverhältnissen durch Nebel oder tiefe Wolken erfassen sie auch künstliche Lichtquellen und kreisen dabei orientierungslos beispielsweise über erhellten Städten. Manchmal kommt es sogar so weit, dass die völlig erschöpften Vögel in der Stadt landen und von Kraftfahrzeugen getötet werden. Die Vögel kollidieren aufgrund der Attraktionswirkung künstlichen Lichts außerdem mit erleuchteten Gebäuden sowie Leuchttürmen, Kraftwerken und ähnlichen Objekten, was bei einem einzelnen Gebäude jährlich bis zu mehrere 1 000 getötete Vögel zur Folge haben kann.⁹³

Zahlen hierzu liefert eine Studie zur Auswirkung der Beleuchtung des 160 m hohen Post-Towers in Bonn. Das Hochhaus wurde nachts von innen mit wechselnden Farben illuminiert. Die Forscher zählten innerhalb eines Jahres über 1 000 Vögel aus 29 Arten, die von dem Licht angelockt wurden und dadurch ihre Orientierung verloren. Sie waren mindestens eine Nacht am Turm selbst oder an den Dachstrahlern „vom Licht festgehalten“ worden. Ungefähr 200 von ihnen wurden bei der Kollision sofort getötet, viele weitere wurden verletzt. Die meisten Tiere wurden während des Frühjahrszuges zwischen Anfang März und Mitte Mai und des Herbstzuges Ende Juli bis Mitte November gezählt.⁹⁴ Licht kann aber auch eine Schreckwirkung erzielen. Skybeamer und kreisende Laserstrahlen können Zugvögel erschrecken und sie von ihrer Route abbringen.⁹⁵

Es ist noch nicht vollständig geklärt, wie sich Vögel an den Magnetfeldlinien der Erde orientieren. In Studien⁹⁶ wurde allerdings herausgefunden, dass sie die Feldlinien mit Photorezeptoren im Auge erkennen können, die Nachts so eingestellt sind, dass sie bei natürlichem also wenig Licht gut funktionieren. Helles Kunstlicht bringt dieses System durcheinander und da-

⁹³ Gerald *Pfiffinger*, Unerwünschte Auswirkungen der künstlichen Beleuchtung auf die Vogelwelt. In: Ute *Streitt* / Elisabeth *Schiller* [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 99-104, S. 99-101.

⁹⁴ Heiko *Haupt*, Der Letzte macht das Licht an! – Zu den Auswirkungen leuchtender Hochhäuser auf den nächtlichen Vogelzug am Beispiel des „Post-Towers“ in Bonn. In: *Charadrius* 45(1)/2009, 1-19, S. 7f.

⁹⁵ *Pfiffinger*, Unerwünschte Auswirkungen der künstlichen Beleuchtung, S. 101.

⁹⁶ Henrik *Mouritsen* / Thorsten *Ritz*, Magnetoreception and its use in bird navigation, *Current Opinion in Neurobiology*, 15/2005, 406-414.

mit wird der Vogel orientierungslos, was für ihn einen lebensgefährlichen Zeit- und Energieverlust bedeutet.⁹⁷

b) Singvögel

Wie bei allen Organismen steuern Licht und Dunkelheit die biologischen Rhythmen von Vögeln. Die Veränderung der Tageslänge mit den Jahreszeiten („Photoperiode“) bestimmt den Zeitpunkt für Fortpflanzung, Brut, Mauser oder Zug. Aber auch der Tagesrhythmus wird vom Licht beeinflusst. Dies lässt sich am unterschiedlichen Verhalten von Stadtamseln und Waldamseln aufzeigen. Stadtamseln brüten drei Wochen früher als ihre im Wald lebenden Verwandten. In der Stadt beginnen Amseln außerdem viel früher zu singen, oft sogar noch in der Nacht, während die Waldamseln zu dieser Zeit noch schlafen.⁹⁸ Üblicherweise werden Frühaufsteher bei der Paarung bevorzugt, da dies ein Qualitätsmerkmal darstellt. Paaren sich die Weibchen jedoch vermehrt mit scheinbaren Frühaufstehern, so wird die natürliche Selektion gestört.⁹⁹

2.3.4.3 Fledermäuse

Nächtliches Kunstlicht löst bei Fledermäusen ein verändertes Flugverhalten aus. Sie verlassen ihre Schlafstätten später und kehren früher in diese zurück. Sie versäumen so die frühen Abendstunden, in denen die meisten Insekten verfügbar sind. Außerdem verkürzt sich so die verfügbare Jagdzeit. Manche Fledermausarten (z.B. die Nordfledermaus) haben sich das künstliche Licht auch zum Vorteil gemacht. Sie jagen jene Insekten, die von leuchtenden Objekten angezogen werden. Andere Arten, wie die europäische Teichfledermaus meiden dagegen das künstliche Licht und reduzieren ihre Jagdaktivitäten in beleuchteten Gebieten.¹⁰⁰

2.3.4.4 Fische

Die Auswirkungen der Lichtverschmutzung sind nicht nur auf Land- und Lufttiere beschränkt. Besonders Uferbereiche an Seen, Flüssen, Kanälen, Meeren und Ozeanen werden vom Menschen bevorzugt besiedelt (siehe Abbildung 14). Fischlarven und Jungfische sind eher lichtscheu. Sie schwimmen in der Nacht an die Oberfläche, um dort bei Dunkelheit zu jagen. Bei zu viel Licht kann diese Vertikalwanderung unterdrückt werden, wodurch sie zur

⁹⁷ Heiko *Haupt*, Lichtverschmutzung und die Folgen für die Zugvögel. In: Martin *Held* / Franz *Hölker* / Beate *Jessel* [Hg.], *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, Bonn 2013, 61-64, S. 63.

⁹⁸ Barbara *Helm* / Jesko *Partecke*, Lichtverschmutzung und die Folgen für Singvögel. In: Martin *Held* / Franz *Hölker* / Beate *Jessel* [Hg.], *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, Bonn 2013, 57-60, S. 57.

⁹⁹ *Hölker*, Lichtverschmutzung und die Folgen für Ökosysteme und Biodiversität, S. 74.

¹⁰⁰ Daniel *Lewanzik* / Christain C. *Voigt*, Lichtverschmutzung und die Folgen für Fledermäuse. In: Martin *Held* / Franz *Hölker* / Beate *Jessel* [Hg.], *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft*, Bonn 2013, 65-68, S. 66.

leichten Beute für Räuber werden, die nachts in Bodennähe schwimmen. Bei der Laichwanderung des Europäischen Aals konnte festgestellt werden, dass sie in Flüssen fast nur nachts wandern. Schon bei geringer Beleuchtungsstärke auf ihren Routen werden sie gestört oder unterbrechen ihre Reise sogar. Straßenlaternen und beleuchtete Brücken stellen auch für andere Wanderfische wie den Lachs eine Barriere dar. Die Reise wird dadurch zeitintensiver und energieaufwändiger, was die Fortpflanzung gefährdet.

Neben der Reproduktion werden aber auch die Physiologie und das Wachstum von der Störung des Tag-Nacht-Rhythmus durch künstliches Licht beeinflusst. Dabei wird die Produktion des Hormons Melatonin gestört, das fast ausschließlich in der Nacht erzeugt wird. Es synchronisiert die Körperfunktionen und ermöglicht damit die effektive Regeneration während der Ruhephase. Ist der Melatoninspiegel aus dem Gleichgewicht, kann auch die Sekretion anderer Hormone beeinflusst werden. Dies betrifft zum Beispiel Schilddrüsenhormone, die für Stoffwechselprozesse, die körperliche Entwicklung und das Wachstum zuständig sind. Erste Studien zu verschiedenen Spektralbereichen des Lichts zeigen, dass besonders blaue Lichtanteile gravierenden Einfluss auf die Fortpflanzung, den Umgang mit Stress und das Wachstum haben. Dies gilt besonders für rein blaues Licht¹⁰¹ aber auch weißes Licht mit überproportionalen Blauanteilen. Am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) wird dieser Zusammenhang derzeit untersucht.¹⁰²

2.3.4.5 Pflanzen

Im mitteleuropäischen Herbst zeigen sich Baumblätter in der Nähe von Straßenbeleuchtungen oft noch grün, während die meisten Bereiche der Baumkrone bereits braun verfärbt sind. Künstliches Licht verlängert die Hell-Periode dieser Bäume weit in die Nacht hinein und steigert damit die Photosynthese der Blätter an den betroffenen Ästen. Sie werden dadurch kräftiger und wachsen dem Licht entgegen.¹⁰³ Diese Äste verlieren ihre Blätter im Herbst später, da

¹⁰¹ λ_{rot} = 790-630nm
 λ_{orange} = 630-580nm
 λ_{gelb} = 580-560nm
 $\lambda_{grün}$ = 560-480nm
 λ_{blau} = 480-420nm
 $\lambda_{violett}$ = 420-390nm

Dobrinski, Physik für Ingenieure, S. 452.

¹⁰² Anika Brünig / Franz Hölker, Lichtverschmutzung und die Folgen für Fische. In: Martin Held / Franz Hölker / Beate Jessel [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 69-72, S. 69-71.

¹⁰³ Roberta Casagrande / Patrizio Giolini, City Lights and the Urban Green. In: Pierantonio Cinzano [Hg.], Measuring and modelling light pollution, Memorie della Societa Astronomica Italiana (Journal of the Italian Astronomical Society), 71(1)/2000, 55-58, S. 55.

sie nicht erkennen, dass die Tage kürzer werden.¹⁰⁴ Es zeigt sich außerdem, dass nachts beleuchtete Pflanzen am Tag eine geringere Aktivität der Photosynthese aufweisen.¹⁰⁵

Viele Prozesse des Pflanzenwachstums werden durch Licht beeinflusst: das Keimen der Samen, das Wachstum von Stamm und Blättern, das Einsetzen der Blüte, die Entwicklung der Früchte und das Abwerfen der Blätter.¹⁰⁶ Den geringsten Einfluss auf Pflanzen hat, nach einer Studie von Casagrande und Giolini, Licht mit orange-gelbem Spektrum¹⁰¹ wie das der Natrium-Niederdruck-Lampe.¹⁰⁷ Diese Studie wurde bereits 1983 durchgeführt, weshalb LED-Lampen noch nicht erfasst wurden. Die Datenlage zum Einfluss künstlichen Lichts ist insgesamt noch sehr gering. Es bedarf daher weiterer gründlicher Forschung, um mit ausreichender statistischer Relevanz einschätzen zu können, wie stark künstliches Licht die Vegetation beeinflusst.¹⁰⁸

¹⁰⁴ Winslow R. *Briggs*, Plant photoreceptors: proteins that perceive information vital for plant development from the light environment. In: *The Urban Wildlands Group and UCLA Institute of the Environment, Ecological Consequences of Artificial Lighting*, Los Angeles 2002, 10, S. 10.

¹⁰⁵ Andrea Roman / Pierantonio Cinzano / Giorgio M. Giacometti / Patrizio Giolini, Light Pollution and Possible Effects on Higher Plants. In: Pierantonio Cinzano [Hg.], *Measuring and modelling light pollution*, Memorie della Societa Astronomica Italiana (Journal of the Italian Astronomical Society), 71(1)/2000, 59-70, S. 70.

¹⁰⁶ *Briggs*, Plant photoreceptors, S. 10.

¹⁰⁷ Casagrande, *City Lights and the Urban Green*, S. 58.

¹⁰⁸ *Briggs*, Plant photoreceptors, S. 10.



Abbildung 14: Satellitenaufnahme – Europa bei Nacht

Deutlich sind große Städte wie Moskau, London oder Paris zu erkennen. Außerdem sind besonders am Mittelmeer große Küstenabschnitte hell erleuchtet. In der Nordsee sind viele einzelne Ölbohrinseln zu erkennen. Südwestlich von Wien erstreckt sich ein „großer schwarzer Fleck“. Hierbei handelt es sich um die Ostalpen. Sie beherbergen eines der letzten Gebiete mit naturnahem Nachthimmel in Mitteleuropa.

2.3.4.6 *Menschliche Gesundheit*

a) **Warum sollen wir bei Dunkelheit schlafen?**

Der menschliche Körper hat einen zirkadianen Schlaf-Wach-Rhythmus, der ungefähr 24 Stunden dauert (lat. circa diem = ungefähr ein Tag). Die genauen Zeitabschnitte sind nicht bei jedem Menschen gleich. Es gibt zwei Chronotypen: den Abendtyp („Eulen“) und den Morgentyp („Lärchen“). Der wichtigste Zeitgeber ist dabei das Sonnenlicht.¹⁰⁹ Wie stark dieser Zeitgeber funktioniert, bemerkt man wenn man sich rasch in eine ganz andere Zeitzone begibt. Nach wenigen Tagen der Umgewöhnung schläft man in der Regel wieder in der Nacht und ist am Tag wach.

Qualitativ guter Schlaf hat Einfluss auf unsere Gesundheit. Bei schlechtem oder zu wenig Schlaf leiden das Immunsystem, die Verdauung und der Zuckerstoffwechsel. Noch schneller sind Stressverarbeitung, emotionale Stabilität und die geistige Leistungsfähigkeit wie Reaktionszeiten und die Aufmerksamkeit betroffen. Richtig gut schläft der Mensch tatsächlich nur in der Nacht.

Nicht nur das Schlafen und Wachen erfolgt im zirkadianen Rhythmus. Auch die Körperkerntemperatur und die Produktion von Melatonin, dem Dunkelhormon, folgen dem Rhythmus von Helligkeit und Dunkelheit. Der menschliche Körper ist am Nachmittag am wärmsten und zwischen zwei und vier Uhr morgens am kältesten. Tiefschlaf findet danach kaum noch statt. Das Melatonin im Körper wird weniger, dafür aber das Stresshormon Kortisol verstärkt ausgeschüttet und man kann daher kaum noch einschlafen. Ist dann der Tagesspiegel an Kortisol erreicht, wacht der Mensch nach sieben bis acht Stunden auf. Wird man durch einen sensorischen Reiz allerdings früher gestört, so wacht man schon früher auf. Dies können etwa Schmerzen sein, eine Berührung, Lärm, aber auch Licht. Licht stört in der Einschlafphase, erweckt aus dem Leichtschlaf und wenn es heller ist, sogar aus dem Tiefschlaf. Es reagieren nicht alle Menschen gleich empfindlich darauf, doch für jeden existiert eine Grenz-Beleuchtungsintensität, ab der man aufwacht.

Zusammengefasst ist der Schlaf am Tag immer von geringerer Qualität als jener in der Nacht. Doch die Auswirkungen sind nicht nur darauf beschränkt, dass man weniger ausgeruht ist. Schichtarbeiter, deren Rhythmen (Temperatur, Schlafen und Wachen) jahrelang „desynchronisiert“ verlaufen, erkranken öfter als andere an Herz-Kreislaufstörungen, Substanzmiss-

¹⁰⁹ Vivien Bromundt, Licht stellt unsere innere Uhr - Zeitgeber und Grundlagen der Chronobiologie. In: Martin Held / Franz Hölker / Beate Jessel [Hg.], Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn/Bad Godesberg 2013, 27-30, S. 27f.

brauch und Fettleibigkeit.¹¹⁰ Außerdem wurde bei Schichtarbeiterinnen ein erhöhtes Brustkrebsrisiko festgestellt.¹¹¹ Die WHO hat 2007 die Verschiebung der Schlafrythmen sogar als Ursache für die höhere Krebsrate bei Schichtarbeitern anerkannt.¹¹²

Beim Thema Gesundheit ist vor allem die Funktion des bereits erwähnten Melatonins herauszustreichen. Unser Immunsystem kann sich nur voll entfalten, wenn genügend Melatonin im Körper vorhanden ist. Es wird allerdings nur nachts bei ausreichender Dunkelheit in den erforderlichen Mengen produziert. Neben seiner antioxidativen Wirkung (anti-aging) wurde auch eine krebszellenunterdrückende Wirkung festgestellt. Dies führte dazu, dass Lichtverschmutzung von der WHO sogar als Krebsrisikofaktor Typ IIa aufgenommen wurde. Als besonders schädlich hat sich weißes Licht mit starkem Blauanteil herausgestellt.¹¹³

Helles, vor allem das kurzwellige blaue Licht (480-420nm), hat auf den Menschen leistungsfördernde Wirkung. Dieser Zusammenhang wurde sowohl an Arbeitsplätzen als auch in Schulklassen untersucht. Der Effekt wird auch in Nachtschichten eingesetzt, sodass die Arbeiter und Arbeiterinnen weniger Nacht-Fehler machen und seltener (beinahe) einschlafen. Außerdem hebt Licht die Stimmung und scheint Kranken dabei zu helfen, schneller gesund zu werden. All diese Vorteile haben aber auch Nachteile: Die natürlichen Rhythmen desynchronisieren und die Betroffenen erkranken.¹¹⁴

Der Arzt und Elektrotechniker Dr. med. Dipl.-Ing. Herbert Plischke hat an der Universität München die Stiftungsprofessur „Licht und Gesundheit“ inne. Er empfiehlt aus Sicht des Mediziners bedarfsorientierte Straßenlaternen mit möglichst wenig Streulicht. Denn obwohl das geschlossene Augenlid einen guten Blaufilter darstellt, ist das Auge während der Nachtstunden wesentlich empfindlicher und es reichen schon wenige Photonen, um ein Wachsignal auszulösen. Dieses Signal hemmt jedoch die Produktion des Hormons Melatonin.¹¹⁵

Dieser Melatoninmangel wird als Ursache für erhöhte Krebsraten in stark beleuchteten städtischen Gebieten vermutet. Konkret wurde dort in einer Studie eine statistische Zunahme von Brust- und Prostatakrebs festgestellt. Als funktioneller Zusammenhang wird die wachstumshemmende Wirkung von Melatonin auf Krebszellen vermutet. Es fehlen dafür aber noch ex-

¹¹⁰ Barbara Knab, Lichtverschmutzung und ihre Folgen für die menschliche Gesundheit. In: Martin Held / Franz Hölker / Beate Jessel [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlanschaft, Bonn 2013, 77-80, S. 78.

¹¹¹ Johnni Hansen, Light at Night, Shiftwork, and Breast Cancer Risk. In: Journal of the National Cancer Institute, 93(20)/2001, 1513-1515.

¹¹² Knab, Lichtverschmutzung und ihre Folgen für die menschliche Gesundheit, S. 78.

¹¹³ Dietmar Hager, Macht uns künstliches Licht bei Nacht krank? In: Ute Streitt / Elisabeth Schiller [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 129-132, S. 129f.

¹¹⁴ Knab, Lichtverschmutzung und ihre Folgen für die menschliche Gesundheit, S. 77f.

¹¹⁵ Juliane Braun, Ist Licht Droge oder Arznei. In: Licht, 11-12/2014, 88-92, S. 91.

perimentelle Daten, die diesen Zusammenhang bestätigen. Das erhöhte Krebsrisiko könnte nämlich auch an andere Faktoren gekoppelt sein: a) je heller ein Ort ist, desto hektischer lebt man an diesem, b) es ist nur bekannt, wie hell es an einem bestimmten Ort ist, aber nicht wie viel Licht eine einzelne Person wirklich ausgesetzt ist und c) werden dabei die verschiedenen Chronotypen außer Acht gelassen.¹¹⁶

Bei einer weiteren Studie wurden in Finnland 10 935 Frauen untersucht. 2 % dieser Frauen waren blind. Blindheit wurde in dieser Studie als Eigenschaft für eine Unabhängigkeit der Melatoninproduktion durch künstliches Licht interpretiert. Es zeigte sich, dass das Risiko an Brustkrebs zu erkranken, bei blinden Frauen um 50 % geringer ist als bei nicht sehbeeinträchtigten.¹¹⁷

b) Blendung im Außenraum

Ergänzend zur Lichtverschmutzung treten auch direkte körperliche Beeinträchtigungen durch Blendung auf. Der Wiener Augenarzt Prof. Dr. Peter Heilig sagt dazu:

*Lichtmüll, -abfall oder -smog, zunehmend dominiert von energiereichen kurzwelligem Strahlen samt unerwünschten Wirkungen, lässt sich nicht entsorgen. Verirrte Lichtstrahlen, die immer öfter überdosiert bis phototoxisch auftreten, müssen vermieden werden. Lichthygiene gewinnt an Bedeutung, zum Wohle von Ökologie und Ökonomie.*¹¹⁸

Medizinisch spricht man von Blendung, wenn Licht ab einer Leuchtdichte von 10^6 cd/m² auf das Auge auftrifft.¹¹⁹ Diese Blendung kann stören und ablenken (discomfort glare), oder sogar schmerzhaft und intensiv beeinträchtigend sein (disabling glare).¹²⁰ Dies kann zu Desorientierung und schwerwiegenden Fehleinschätzungen vor allem im Straßenverkehr beim Lenken eines Fahrzeugs führen. Besonders das grell bläulich-weiße Licht von KFZ-Scheinwerfern und Gebäudebeleuchtungen blendet das Auge. Dieses wird nämlich stärker gestreut und irritiert das Auge und somit das Gehirn mehr als langwelliges Licht. Es hat außerdem mehr Energie und kann auf der Netzhaut dauerhaft mehr Schaden anrichten. Es reicht ein einziges Photon aus, um einen Lichtrezeptor der Netzhaut zu stimulieren. Das menschliche Auge be-

¹¹⁶ Knab, Lichtverschmutzung und ihre Folgen für die menschliche Gesundheit, S. 78f.

¹¹⁷ Pia Verkasalo / Eero Pukkala / Richard Stevens / Matti Ojamo / Sirkka-Liisa Rudanko, Inverse association between breast cancer incidence and degree of visual impairment in Finland. In: British Journal of Cancer, 80(9)/1999, 1459–1460, S. 1459f.

¹¹⁸ Peter Heilig, Überdosis Licht. In: Concept Ophthalmologie 2/2015, 24-26, S. 24.

¹¹⁹ Ulrich Harten, Physik. Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Berlin / Heidelberg ⁶2014, S. 281.

¹²⁰ Peter Heilig / Gebhard Rieger, Künstliches Licht. Unerwünschte Nebenwirkungen auf Natur und Gesundheit - Lichthygiene und Prophylaxe. In: Arzneimittel-, Therapie-Kritik & Medizin und Umwelt, 1/2012, 1-15, S. 5f.

sitzt also die Fähigkeit sich an extrem schwaches Licht anzupassen, doch wir überfordern es mit ständiger Einstrahlung mit zu intensivem Licht.¹²¹

2.3.4.7 *Astronomie*

Der Arzt und Astrophotograph Dietmar Hager bedenkt einen weiteren Aspekt, der nicht nur Astronomen, sondern jeden einzelnen Menschen betrifft. Lichtverschmutzung führt zum Verlust der Nacht und damit zur „Selbstverstümmelung“ des Menschen: Wir verlieren den Bezug zur nächtlichen Natur, weil wir das Sternlicht nicht mehr sehen können. Bei jeder bekannten menschlichen Kultur hatte der Sternenhimmel entscheidenden Einfluss auf das Weltbild, doch heute schränken wir unseren Blick darauf durch Lichtverschmutzung erheblich ein. Ein großer Teil der menschlichen Bevölkerung hat durch die zunehmende Urbanisierung noch nie die Milchstraße gesehen. „Der Überblick über das Ganze verkleinert sich auf ein lächerlich überschätztes Selbstbild des Einzelnen. [...] Stehen wir in keiner Beziehung zu ihr [Natur], übernehmen wir auch keine Verantwortung mehr.“¹²²

2.3.4.8 *Energie*

Von der in der EU in Kraftwerken umgewandelten elektrischen Energie werden 15,4 % für Beleuchtung verwendet.¹²³ Laut UNEP (United Nations Environment Programme) und GEF (Global Environment Facility) besteht beim Einsatz effizienterer Lichttechnologien die Chance, den globalen Elektrizitätsbedarf um bis zu 5% einzusparen und die jährlichen CO₂ Emissionen um 490 Millionen Tonnen zu reduzieren.¹²⁴

2.3.5 Maßnahmen gegen Lichtverschmutzung

2.3.5.1 *Geringere Intensität*

In Österreich gilt im Außenbereich die Norm EN13201. Sie gibt Mindestbeleuchtungsstärken bzw. Leuchtdichten vor. Auf Hauptstraßen müssen demnach 25 lux herrschen, auf Nebenstraßen 3-10 lux. Grenzwerte nach oben existieren ebenso wenig wie Richtwerte für die Lichtverschmutzung. In anderen Ländern, wie zum Beispiel Italien und Slowenien, gibt es bereits entsprechende legislative Maßnahmen. Hier dürfen nur abgeschirmte Leuchten verwendet wer-

¹²¹ Peter Heilig, Blendung aus dem Blickwinkel des Augenarztes. In: Ute Streitt / Elisabeth Schiller [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 121-128, S. 121ff.

¹²² Hager, Macht uns künstliches Licht bei Nacht krank?, S. 130f.

¹²³ Jörg Schindler / Werner Zittel, Energieverbrauch für Beleuchtung. In: In: Martin Held / Franz Hölker / Beate Jessel [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 47-50, S. 47.

¹²⁴ UNEP / gef, The Rapid Transition to Energy Efficient Lighting: An Integrated Policy Approach, 2013, S. 2.

den, die kein Licht über die Horizontale und nach oben abstrahlen. Außerdem wird die Leuchtdichte angestrahlter Flächen begrenzt.¹²⁵

Die Biologie lehrt uns, dass auch wenig beleuchtete Flächen für unsere Augen gut erkennbar sind, denn das menschliche Sehorgan ist sehr flexibel. Es kann sich sehr schnell an geringe Beleuchtungsstärken anpassen und sieht immer noch gleich gut, als würde etwas hell beleuchtet werden. In Wien findet seit vielen Jahren die so genannte „Halbschaltung“ statt. Sind in einer Straßenleuchte zwei Lampen angebracht, so wird eine davon zu einer bestimmten Uhrzeit ausgeschaltet. Dies brachte der Stadt rund 100 000 Euro Einsparung an Energiekosten pro Jahr. Durch die Anpassungsfähigkeit des Auges bleibt diese Helligkeits-Reduktion in der Praxis nahezu unauffällig.¹²⁶ Diese Anpassungsfähigkeit wird durch das Weber-Fechner-Gesetz beschrieben: Jeder Strahlungsempfänger wandelt die auftreffende Strahlungsleistung P in eine andere Signalgröße S um. Beim Auge entspricht dies der Reizung des Sehnervs. Die Abhängigkeit $S(P)$ ist hierbei nach dem Weber-Fechner-Gesetz logarithmisch.¹²⁷ Eine Helligkeitsreduktion um 50 % ist also noch kaum wahrnehmbar und einen deutlichen Unterschied erkennt das menschliche Auge erst bei einer Reduktion um 90 %. Hierin liegt also eine große Chance. Man könnte die gesamte Außenbeleuchtung einer Stadt stark reduzieren, ohne die Sicherheit im Straßenverkehr zu gefährden.¹²⁸

2.3.5.2 *Spektrum*

Menschen, Tiere und Pflanzen sind an das Licht-Spektrum der Sonne gewöhnt. Das Strahlungsmaximum der Sonne liegt im grün-gelben Bereich bei etwa 500 nm. Da er das Sonnenlicht reflektiert, verfügt auch der Mond über ein sehr ähnliches Spektrum. Bei der Wahl künstlicher Lichtquellen ist aber häufig die Energieeffizienz das Hauptkriterium, was dazu führt, dass Gasentladungslampen und so genannte Energiesparlampen eingesetzt werden. Bei diesen liegt das Strahlungsmaximum allerdings im kurzwelligen grünen und blauen Bereich. Dies gilt auch für die seit einigen Jahren sehr beliebten kalt-weißen LED. Mit deren Energieeffizienz kann sich derzeit nur die Niederdruck-Natriumdampfampe messen – die jedoch klare Vorteile bei der Lichtverschmutzung bringt (gelb-orange Farbe).

Blaues Licht bringt drei voneinander unabhängige Probleme mit sich. Die ersten beiden wurden bereits in 2.3.4.1 und 2.3.4.6 genannt: Licht mit großem Blauanteil zieht Insekten überdurchschnittlich an und es beeinflusst den Tag-Nacht Rhythmus von Menschen und Tieren.

¹²⁵ Andreas Hänel, Lichtverschmutzung in Mitteleuropa. In: Thomas Posch / Anja Freiyhoff / Thomas Uhlmann [Hg.], Das Ende der Nacht. Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen, Weinheim 2010, S. 55f.

¹²⁶ Thomas Posch, Besser beleuchten, S. 43.

¹²⁷ Dieter Meschede, Gerthsen Physik, Berlin / Heidelberg 2010, S. 603.

¹²⁸ Posch, Besser beleuchten, S. 43.

Hinzu kommt, dass blaues Licht stark gestreut wird: Dem Rayleigh-Gesetz entsprechend wird kurzwelliges Licht in klarer Luft stärker gestreut als langwelliges. Mehr Streuung hat zur Folge, dass weniger Licht bis zur Nutzfläche gelangt und dagegen mehr Lichtsmog (Lichtverschmutzung) erzeugt wird.¹²⁹

2.3.5.3 Bedarforientierung

Es ist nicht notwendig, künstliche Lichtquellen die ganze Nacht über mit derselben Beleuchtungsstärke zu betreiben. Licht sollte dort sein, wo man es braucht und nur genau dann, wenn es benötigt wird. Die heutige LED-Technik macht es leicht, Dimmer einzubauen, die das Licht zu späteren Nachtstunden reduzieren.¹³⁰ Die Dimmung spart zudem erheblich Energie.¹³¹

Aber auch bei anderen Lampentypen, wie Quecksilberhalogen-, Natriumdampf- oder Leuchtstofflampen, kann ein Dimmer eingesetzt werden. Ein solcher wird derzeit in Deutschland produziert und sei als Beispiel an dieser Stelle erwähnt. Einen Vorschlag zur Anwendung liefert die Firma KD Elektroniksysteme mit Abbildung 15: Das Licht wird zwischen 22:00 Uhr und 05:00 Uhr auf 33 % seiner Intensität gedimmt. Für den beginnenden Berufsverkehr werden die Leuchten dann ab 05:00 Uhr wieder komplett aufgedreht. Die Dimmung kann aber auch in drei Stufen erfolgen.

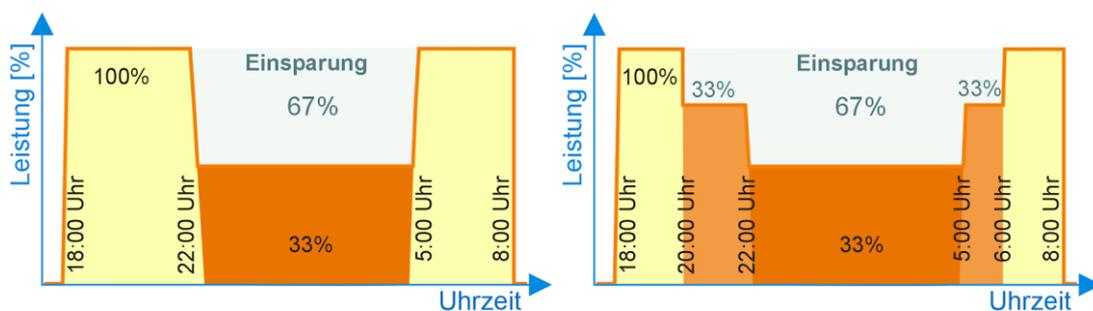


Abbildung 15: Einsparungspotential mittels Dimmer von KD Elektroniksysteme
 links: bis 22:00 Uhr ungedimmt, zw. 22:00 Uhr und 7:00 Uhr 67% gespart,
 ab 7:00 Uhr ungedimmt (Berufsverkehr). Einsparung \emptyset 33,5%.
 rechts: ab 20:00 Uhr 33% gespart, ab 22:00 Uhr bis 5:00 Uhr 67% gespart,
 bis 6:00 Uhr 33% gespart, ab 7:00 Uhr ungedimmt (Berufsverkehr).
 Einsparung \emptyset 47,7%.

¹²⁹ Ebd., S. 44.

¹³⁰ Ebd., S. 45f.

¹³¹ Lichttechnische Gesellschaft Österreichs, Arbeitskreis öffentliche Beleuchtung und Energieverbrauch, LED, Revolution in der Lichttechnik?, <http://www.ltg-aussenbeleuchtung.at/media/LED-2012.pdf>, Stand: 30.05.2014, S. 9.

2.3.5.4 *Spezielle Gebäudebeleuchtung*

Hierbei lautet der Grundsatz zur Vermeidung von Lichtverschmutzung: von oben nach unten. Zugvögel können dadurch unbehelligt darüber hinweg fliegen und die Atmosphäre darüber kann das Licht nicht streuen.¹³² Bauwerke wie Kirchen, die Fledermauskolonien beherbergen, sollten während der Vegetationsperiode nur mit geringer Intensität erleuchtet werden und auch das nicht die ganze Nacht.¹³³

2.4 **Schülervorstellungen zur Optik**

Will man eine Unterrichtseinheit planen, so darf man nie außer Acht lassen, welche Vorstellungen die Schüler und Schülerinnen in den Unterricht mitbringen. Sie haben längst viele Erklärungen gefunden, warum die Welt so ist, wie sie sie wahrnehmen, doch diese Vorstellungen stimmen oft nicht mit den physikalisch korrekten Konzepten überein. Die physikalischen Phänomene, die zum Verständnis der Entstehung von Lichtverschmutzung notwendig sind, stammen vor allem aus dem Bereich der Optik. Sie betreffen insbesondere die Entstehung und Ausbreitung von Licht und Schatten, den Sehvorgang selbst, Streuung und Reflexion. Doch bevor diese speziellen Bereiche näher betrachtet werden, soll erst die Frage beantwortet werden, warum man die Alltagsvorstellungen der Schüler im Unterricht überhaupt beachten soll.

2.4.1 **Warum Schülervorstellungen einbeziehen?**

Schüler und Schülerinnen kommen mit ganz bestimmten Vorstellungen zu Begriffen, Phänomenen und Prinzipien in den Unterricht. Die meisten stimmen dabei aber nicht mit den zu lernenden wissenschaftlichen Inhalten überein. Diese Alltagskonzepte sind sehr tief verankert.¹³⁴ Einige stammen bereits aus der frühkindlichen Entwicklung und damit aus dem Bereich Eltern-Kind-Beziehung. Diese „Erfahrungen“ wollen die Schüler und Schülerinnen jedoch auch im Unterricht anwenden.¹³⁵ Alles, was sie neu erlernen sollen, sehen, lesen und hören, sehen sie durch die Brille dieser Alltagsvorstellungen. Dadurch ergeben sich oft erhebliche Lernschwierigkeiten¹³⁶ da von den Schülern und Schülerinnen ein Konzeptwechsel verlangt wird. Sie sollen von ihren Vorstellungen zu einem neuen Konzept, der physikalischen Sichtweise, wechseln. Dabei müssen sie von der Lehrperson als „Entwicklungshelfer“ unterstützt werden. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass beim Lernen auch immer Be-

¹³² Haupt, Lichtverschmutzung und die Folgen für die Zugvögel, S. 61.

¹³³ Lewanzik, Lichtverschmutzung und die Folgen für Fledermäuse, S. 67.

¹³⁴ Reinders Duit, Alltagsvorstellungen berücksichtigen! In: Rainer Müller / Rita Wodzinski / Martin Hopf [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 3-7, S. 3.

¹³⁵ Walter Jung, Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: Rainer Müller / Rita Wodzinski / Martin Hopf [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 15-19, S. 17.

¹³⁶ Duit, Alltagsvorstellungen berücksichtigen!, S. 3.

dürfnisse und Interessen, also affektive Aspekte hineinspielen. Die Lernenden sind nicht allein mit logischen Argumenten zu erreichen, sondern müssen davon überzeugt werden, dass die physikalischen Vorstellungen fruchtbarer sind, als ihre Alltagsvorstellungen.¹³⁷

Fraglich ist, ob es den Lernerfolg fördert, wenn man die Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler im Unterricht bewusst anspricht und die Lernenden darüber diskutieren lässt. Hierbei besteht nämlich die Gefahr, dass auch andere Lerner die Alltagsvorstellung als plausibel wahrnehmen und für sich weiter ausarbeiten. Dies erschwert die Akzeptanz der physikalischen Vorstellungen noch mehr. Die Aktualisierung der Fehlvorstellungen sollte nach Rita Wodzinski eher so lange hinausgezögert werden, bis die physikalischen Vorstellungen wenigstens im Ansatz vorhanden sind.¹³⁸

Für den Unterricht bedeutet dies nun, dass die Schülervorstellungen vor allem ernst genommen und bei der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden müssen. Die Unterrichtsinhalte sollen in einen „sinnstiftenden Kontext“ eingebunden sein, so dass sie auch die Schüler und Schülerinnen als lernenswert annehmen. Des Weiteren soll das Lernen unterstützt werden, indem man nicht nur Lernangebote macht, sondern auch Freiräume für eigenständiges Erarbeiten des Wissens eröffnet.¹³⁹

Gerade im Bereich Optik bringen die Schüler und Schülerinnen viele Vorstellungen in den Unterricht mit, da ihre Welt stark durch das „Optische“ geprägt ist. Auch mit ihren eigenen Interpretationen finden sie sich meist problemlos zurecht und sie sind auch nicht schlichtweg falsch. Für die Lernenden haben sich diese zwar viele Jahre im Alltag bewährt, doch sie unterscheiden sich oft gravierend von den physikalischen Erklärungen.¹⁴⁰

2.4.2 Vorstellungen von Licht und Sehen

Schüler nehmen Licht beim Einschalten einer Lichtquelle als strömende Substanz wahr, es macht hell und lässt Gegenstände sichtbar werden. Ob es sich dabei geradlinig in alle Richtungen ausbreitet ist fraglich, es könnte ja zum Beispiel von der Gravitation beeinflusst wer-

¹³⁷ Silke Mikelskis-Seifert / Reinders Duit, Schülervorstellungen und Lernen von Physik. In: Reinders Duit / Silke Mikelskis-Seifert [Hg.], Physik im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht, Seelze 2010, S. 18.

¹³⁸ Rita Wodzinski, Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: Rainer Müller / Rita Wodzinski / Martin Hopf [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 23-36, S. 30.

¹³⁹ Mikelskis-Seifert, Schülervorstellungen und Lernen von Physik, S. 18.

¹⁴⁰ Reinders Duit, Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In: Rainer Müller / Rita Wodzinski / Martin Hopf [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 8-14, S. 9.

den. Es gibt dazu keine oder nur vage Vorstellungen, was sich bei Befragungen zum Thema Schatten zeigte.¹⁴¹

Rüdiger Blumör beschreibt „Naive“ und „Pseudophysikalische Konzepte“, die Schüler und Schülerinnen zur Erklärung von Licht und dem Sehvorgang heranziehen.

a) Naive Konzepte

Das Wort „Licht“ hat für Lernende oft zwei verschiedenen Bedeutungen, die im Folgenden mit Licht(1) und Licht(2) unterschieden werden: Das erste Konzept besagt, dass Licht ein heller Gegenstand ist, beispielsweise die Sonne oder eine Lampe (Licht(1)). Andererseits ist Licht die Helligkeit, zum Beispiel ein Lichtfleck an der Wand, oder die Helligkeit im Raum (Licht(2)) (siehe Abbildung 16).

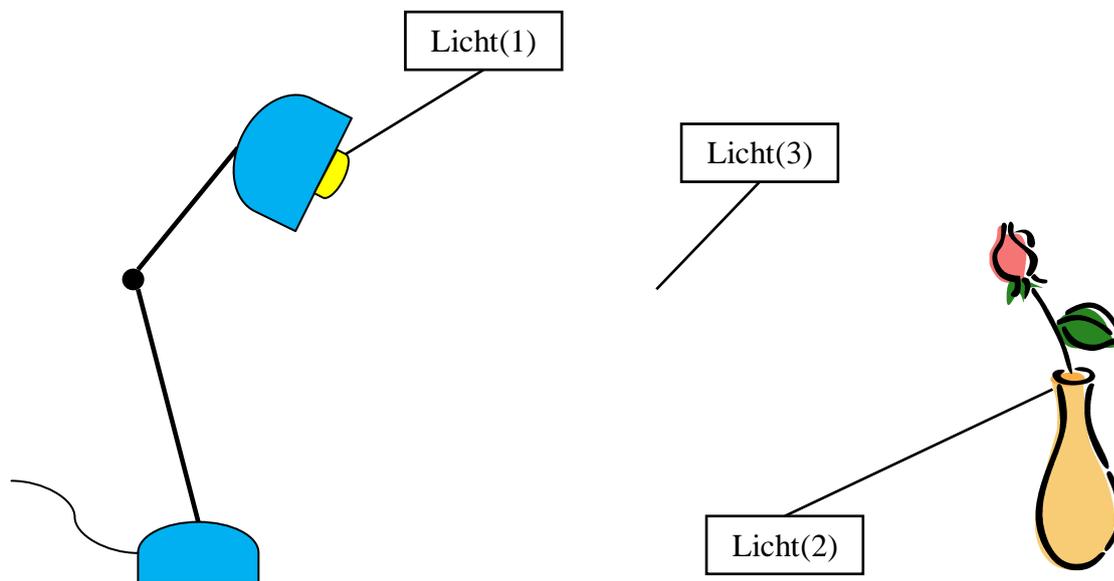


Abbildung 16: Schülervorstellungen von Licht:
Manche Lernende stellen sich drei verschiedene Arten von Licht vor:
Licht(1) ist ein heller Gegenstand (z.B. Lampe, Sonne).
Licht(2) ist die Helligkeit im Raum, an der Wand oder auf einem Gegenstand.
Licht(3) ist durchsichtig und farblos, macht aber andere Dinge hell.

Bei der Vorstellung über den Sehvorgang kommt es darauf an, wie der Zusammenhang zwischen Licht(1) und Licht(2) verstanden wird. Bei der Vorstellung einer *statischen Fernwirkung* stellen sich die Lernenden vor, dass man Licht(1) sehen kann, wenn man ein gesundes

¹⁴¹ Hartmut Wiesner, Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. In: Rainer Müller / Rita Wodzinski / Martin Hopf [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 155-159, S. 155.

Auge darauf richtet. Dabei liegt Licht(2) auf dem von Licht(1) beleuchteten Gegenstand, so dass man diesen sehen kann. Dieser Gegenstand kann aber selbst keine anderen Gegenstände beleuchten.

Beim Konzept einer *dynamischen Fernwirkung* ist Licht(1) immer aktiv, wenn es leuchtet. Licht(2) muss hingegen andauernd erzeugt werden. Schaltet man es ein, so wandert Licht(2) von Licht(1) zum Gegenstand und bleibt dann auf diesem liegen. Dabei wird auch der ganze Raum herum mit Licht(2) erfüllt.

Eine dritte Vorstellung bezeichnet Blumör als „*instabiles Strömungskonzept*“. Die Lernenden sind hierbei der Meinung, dass Licht(2) sich fortwährend von Licht(1) zum Gegenstand bewegt/strömt und damit dort die Helligkeit aufrecht erhält. Ob es zwischen Licht(1) und dem Gegenstand immer hell ist oder nicht ist nicht ganz klar, denn man sieht ja nicht immer Strahlen.

b) Pseudophysikalische Konzepte

Zu den oben genannten Konzepten zum Licht kommt noch ein drittes hinzu: „Licht(3) ist ein hellmachendes Etwas. Es ist selbst nicht hell, vielmehr durchsichtig und farblos.“ (siehe Abbildung 16). Somit ist auch die Vorstellung vom Sehvorgang davon bestimmt: Bei der *statischen Vermittlung* erzeugt Licht(1) auf dem Gegenstand Licht(3), das wiederum Licht(2) hervorruft. Die *dynamische Vermittlung* funktioniert dagegen so, dass Licht(1) zwischen sich und dem Gegenstand Licht(3) erzeugt, das dann beim Einschalten wandert und im Raum bleibt, bzw. zwischen dem Gegenstand und Licht(1). Bei der *instabilen Strömungsvorstellung* strömt Licht(3) ständig von Licht(1) zum Gegenstand und in den Raum. Besagt die Vorstellung, dass ständig neues Licht(3) zum Gegenstand strömt, dort verbraucht und in immer gleiches Licht(2) umgewandelt wird, hat man es mit der *Umwandlungsvorstellung* zu tun. Das letzte Konzept ist die *unphysikalische Streuvorstellung*. Hierbei strömt immer wieder neues Licht(3) zum Gegenstand, wo es in Licht(2) umgewandelt wird. Dieses Licht(2) sendet wiederum Licht(3) aus.¹⁴²

Dass Licht von einer Quelle auf einen Gegenstand fällt und vom Gegenstand in unser Auge, bildet sich bei Kindern nicht spontan aus. Es wird von ihnen auch oft nicht leicht akzeptiert.¹⁴³ Nach Untersuchungsergebnissen von Hartmut Wiesner meinen Lernende der Primarstufe und der Sekundarstufe I, dass eine natürliche Quelle Licht aussendet und dieses Licht

¹⁴² Rüdiger *Blumör*, Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik. Ein Beitrag zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts in der Grundschule, Magdeburg 1993, S. 59-61.

¹⁴³ Christoph von *Rhöneck* / Hans *Niedderer*, Schülervorstellungen und ihre Bedeutung beim Physiklernen. In: Helmut F. *Mikelskis* [Hg.], Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II, Berlin 2006, S. 63.

ins Auge gelangt. Man kann diese Lichtquelle also sehen. Doch bei Lichtquellen mit geringer Intensität (z.B. Räucherstäbchen aus geringer Entfernung, Taschenlampe oder Autoscheinwerfer aus größerer Entfernung) ist das ganz anders. Hierbei gelangt das Licht nicht mehr ins Auge, obwohl man die Lichtquelle sehen kann. Weniger häufig kommt es vor, dass Lernende sich einen Sehstrahl vorstellen, den das Auge aussendet und den Gegenstand abtastet.¹⁴⁴

2.4.3 Streuung und Reflexion

Für die physikalische Vorstellung der Wahrnehmung von Gegenständen ist es grundlegend, die Streuung des Lichts an Oberflächen als Konzept anzunehmen. Kaum ein Lernender hat vor dem Physikunterricht eine Vorstellung dazu. Das Licht trifft ihrer Meinung nach auf und bleibt da liegen, sodass wir den Gegenstand sehen können. Auch nach dem Einführungsunterricht wird Streuung außerdem meist unter die Reflexion subsummiert.¹⁴⁵

2.5 Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion – Theorie

Comenius, einer der Väter der Pädagogik, forderte 1632, dass es die Aufgabe der Schule sein sollte: „Allen alles ganz zu lehren“ („omnes omnia omnino excoli“).¹⁴⁶ Um aber bestimmte Inhalte für die Schüler und Schülerinnen „verstehbar“ zu machen, müssen diese erst elementarisiert und anschließend didaktisch rekonstruiert werden.

2.5.1 Entwicklung und Begriffsdefinition

Der Schweizer Pädagoge Johann Heinrich Pestalozzi hatte bereits vor zwei Jahrhunderten die Idee, den Lehrstoff in einzelne „Elemente zu zerlegen, um ihn dann im Unterricht in lückenloser Reihenfolge wieder zusammensetzten. Hierbei ließ er allerdings die individuellen Voraussetzungen der Schüler und Schülerinnen außer Acht. Heute fasst man bei der Aufbereitung von Sachstrukturen für den Unterricht neben den fachlichen Strukturen die internen psychischen Strukturen der Lernenden und ebenso die allgemeinen Zielvorstellungen ins Auge. Dieser Vorgang wird als „Elementarisierung“ bezeichnet.¹⁴⁷ Dabei bemüht man sich, die wissenschaftlichen Sachstrukturen an die Fähigkeiten der Lernenden anzupassen. Dies geschieht durch (1) Vereinfachung („Reduzierung der Komplexität“), (2) der Identifizierung des Ele-

¹⁴⁴ Wiesner, Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten, S. 155.

¹⁴⁵ Ebd., S. 156.

¹⁴⁶ Amos Comenius, Didactica magna, caput XI, Sp. 49.

¹⁴⁷ Ernst Kircher, Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In: Ernst Kircher / Raimund Girwidz / Peter Häußler [Hg.], Physikdidaktik. Theorie und Praxis, Berlin / Heidelberg ²2009, 115-148, S. 115.

mentaren (das Herausarbeiten der tragenden Grundideen) und (3) das Zerlegen in Unterrichtselemente um aus diesen dann eine Abfolge von Unterrichtsinhalten zu bilden, die von den Lernenden gelernt werden können. Bei der anschließenden didaktischen Rekonstruktion werden schließlich pädagogisch bedeutsame Zusammenhänge gebildet und im Wissenschafts- und Lehrbetrieb verloren gegangene Sinnbezüge wieder hergestellt. Außerdem findet ein Rückbezug auf Primärerfahrungen sowie ursprüngliche Inhalte der Bezugswissenschaften statt (siehe Abbildung 17).¹⁴⁸

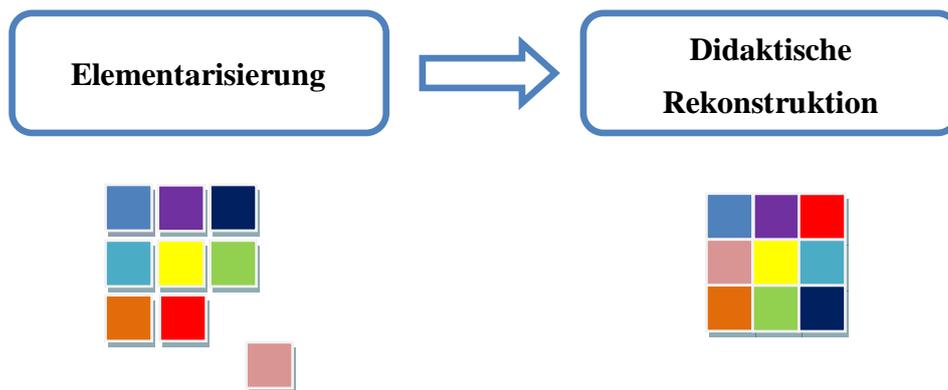


Abbildung 17: Elementarisierung und Didaktische Rekonstruktion

2.5.2 Kriterien

Nach Kattman, Duit, Gropengießer und Komornek basiert die Didaktische Rekonstruktion auf dem sog. didaktischen Triplet, das aus den Teilen (1) Fachliche Klärung ($\hat{=}$ fachgerecht), (2) Erfassung von Schülervorstellungen ($\hat{=}$ schülergerecht) und (3) der didaktischen Strukturierung ($\hat{=}$ zielgerecht) besteht.¹⁴⁹ In Klammer wurde der jeweilige Begriff genannt, den Kirchner verwendet, anhand dessen Ausführungen einige Erläuterungen zum didaktischen Triplet zusammengefasst wurden.

1. fachgerecht (= fachlich relevant)

Der Begriff „fachgerecht“ ersetzt die Begriffe „fachlich richtig“ und „fachlich falsch“. Es dürfen also auch Analogien und Modelle eingesetzt werden, die außerhalb dieses Rahmens möglicherweise falsch oder irrelevant sind. Zur fachgerechten didaktischen Rekonstruktion gehört außerdem die Erweiterbarkeit. Auf den Modellen und Vorstellungen, die die Schüler und Schülerinnen in der Sekundarstufe I erlernen, sollten sie in der Sekundarstufe II aufbauen

¹⁴⁸ Ulrich Kattmann / Reinders Duit / Harald Gropengießer / Michael Komorek, Das Modell der didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: ZfDN 3(3)/1997, 3-18, S. 4.9.

¹⁴⁹ Ebd., S. 4.

können. Sie sollten nicht umlernen müssen, sondern das Erworbene durch neue Eigenschaften, Begriffe oder Gesetze erweitern können.

2. schülergerecht

Die entwicklungspsychologischen Aspekte der Lernenden sollen ebenso mit einbezogen werden wie ihr Vorwissen und Vorverständnis. Die Grundlagen zu diesen Schülervorstellungen wurden bereits im Kapitel 2.4 beschrieben.

3. zielgerecht (= didaktisch relevant)

Die Sachstruktur des Physikunterrichts umfasst ein weitaus größeres Gebiet als die Sachstruktur der Physik. Denn der Physikunterricht verlangt nach einer Transformation physikalischer Inhalte in physikdidaktische Zusammenhänge. Den Zielen des Physikunterrichts zu folgen bedeutet aber auch bestimmte Inhalte intensiver, andere oberflächlicher und manche sogar gar nicht zu behandeln.¹⁵⁰

In diesem Kapitel wurden nun die fachlichen und didaktischen Grundlagen ausführlich dargestellt. Damit kann nun zum zentralen Abschnitt dieser Arbeit übergegangen werden: der Entwicklung des Unterrichtsmaterials zum Thema Lichtverschmutzung.

¹⁵⁰ Kircher, Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion, S. 119-121.

3. Konzeption von Intervention und Assessment

3.1 Zielgruppe

Die Unterrichtseinheit zur Lichtverschmutzung wurde für Schüler und Schülerinnen der 8. Schulstufe (4. Klasse AHS) konzipiert. In dieser Schulstufe ist im Lehrplan das Thema Optik¹⁵¹ vorgesehen, welches in den jeweiligen Klassen bereits gelehrt worden sein sollte. Das für diese Arbeit entwickelte Unterrichtskonzept sieht vor, dass in einer Bildschirm-Präsentation sehr viele Bilder gezeigt werden. Das Vorhandensein eines Beamers ist also Voraussetzung, um die Unterrichtseinheit in der geplanten Form durchzuführen. Ist kein Beamer bzw. interaktives Whiteboard vorhanden, so kann natürlich auch auf Overheadfolien ausgewichen werden.

3.2 Untersuchungsdesign

Diese Untersuchung gliedert sich in drei Abschnitte: Zuerst wird ein Pre-Test durchgeführt, um einige Grundlagen abzuklären. Darauf folgen zwei Unterrichtseinheiten und im Anschluss ein Post-Test zur Evaluierung der Unterrichtseinheit. Im Folgenden wird zuerst das Design des Unterrichtsmaterials detailliert erläutert, da sich daraus das Konzept der beiden Testungen, die dann darauffolgend beschrieben werden, besser erschließen und nachvollziehen lässt.

3.3 Design des Materials

Die Struktur der Unterrichtseinheiten basiert auf dem Prinzip der fünf E's, die in Kapitel 3.3.2 genau erklärt werden. Im Hintergrund der Überlegungen steht außerdem das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz, das nun als erstes für das Thema Lichtverschmutzung konkretisiert wird.

3.3.1 Elemente aus dem Göttinger Modell der Bewertungskompetenz

Die Grundlagen des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz wurden bereits in Kapitel 2.2.2.1 ausgeführt. Anhand dieser Grundlagen wird nun ein Teil der Unterrichtsstunde konzipiert. Im Folgenden wird nur kurz darauf eingegangen, wie die einzelnen Punkte dieses Modells in den Unterrichtsstunden behandelt werden. Im folgenden Unterkapitel (3.3.2) wird dann jeder Abschnitt des Unterrichtes noch detailliert erläutert.

¹⁵¹ BMUKK., Lehrplan Physik AHS Unterstufe, S. 4f.

a) Kennen und Verstehen von Lichtverschmutzung

Wie der Pre-Test zeigte, kannten nur sehr wenige Schüler und Schülerinnen den Begriff und das Phänomen Lichtverschmutzung (siehe Kapitel 5.1.2). Der Begriff und das Phänomen müssen also sehr ausführlich erklärt und besprochen werden.

b) Kennen und Verstehen von Werten und Normen

Werte und Normen für das Zusammenleben der Menschen auf und mit der Erde sollen im gesamten Schulunterricht erlernt und geschult werden.

Allgemeines Bildungsziel: [...] 2. Gesetzlicher Auftrag: [...] Die allgemein bildende höhere Schule hat im Sinne des § 2 des Schulorganisationsgesetzes an der Heranbildung der jungen Menschen mitzuwirken, nämlich beim Erwerb von Wissen, bei der Entwicklung von Kompetenzen und bei der Vermittlung von Werten.¹⁵²

In der Unterrichtsstunde werden den Schülern und Schülerinnen den Umweltschutz betreffende Werte mitgegeben und auch mit ihnen darüber reflektiert. Interessant ist aber auch, welche Werte und Normen sie bereits in den Unterricht mitbringen. Um darüber Kenntnis zu erlangen, wurden im Pre-Test auch Fragen bezüglich der Einstellung der Schüler und Schülerinnen zum Thema Umweltschutz gestellt (siehe Fragebogen in Anhang 1).

c) Generieren und Reflektieren von Sachinformationen

Die Sachinformationen werden zu Beginn der ersten Unterrichtseinheit von der Lehrperson mithilfe vieler Bilder generiert, die die Schüler und Schülerinnen interpretieren sollen. Es wird über die mit Lichtverschmutzung verbundenen Probleme diskutiert, aber auch, was man dagegen tun kann.

d) Bewerten, Entscheiden und Reflektieren von Sachinformation

Der Bewertungs-, Entscheidungs- und Reflexionsprozess soll schließlich schriftlich erfolgen. Die Schüler und Schülerinnen erhalten zu diesem Zweck zwei Aufgabenstellungen, von denen sie sich eine zur Bearbeitung auswählen dürfen.

3.3.2 Aufbau nach dem Prinzip der fünf E's

Das Unterrichtsmaterial wurde anhand eines Planungsrasters erstellt, der in der Lehrveranstaltung „Fachdidaktisches Praktikum Physik“ an der Universität Wien verwendet wird. Er basiert auf dem BSCS 5E Instructional Model von Bybee¹⁵³ und der Didaktischen Analyse nach

¹⁵² Bundesministerin für Bildung, Lehrplan der allgemein bildenden höheren Schulen.

¹⁵³ Roger W. Bybee, The BSCS Instructional Model and 21st Century Skills, Paper prepared for the Workshop on Exploring the Intersection of Science Education and the Development of 21st Century Skills, 2009, http://itsisu.concord.org/share/Bybee_21st_Century_Paper.pdf, Stand: 26.08.2014.

Klafki¹⁵⁴. Es werden dabei mit den 5E`s fünf Schritte vorgegeben, die jede Unterrichtseinheit enthalten sollte. Außerdem wird zwischen der Lehrer- bzw. Lehrerinnenaktivität und der Schüler- bzw. Schülerinnenaktivität in der jeweiligen Phase differenziert. Diese sind:

| 5 E's | Lehrer/Lehrerinnenaktivität | Schüler/Schülerinnenaktivität |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Engage | Problemstellung (Gegenstand/Video/Frage) | Im Lernkontext ankommen (Verbindung zum Vorwissen herstellen) |
| Explore | Erarbeitung (Gegenstände/Konzepte werden erschlossen) | Vorstellungen entwickeln (z.B. Hands on Aktivität mit Anleitung) |
| Explain | Problemlösung (Wissen & Konzepte, Fähigkeiten; Klarheit zu erlangen und Zusammenhänge zu verstehen) | Informationen auswerten (Schüler und Schülerinnen erläutern ihr Verständnis von Konzepten und Prozessen) |
| Elaborate | Anwenden & Üben | Sicher werden und üben (Anwendung von Konzepten, Trainieren neuer Fähigkeiten) |
| Evaluate | Überprüfen der Effektivität des Lernarrangements und der Kompetenzentwicklung der Lernenden | Lernprodukt erstellen, Lernzugewinn überprüfen |

Abbildung 18: Aufbau einer Unterrichtseinheit nach dem Prinzip der fünf E's

Im Unterrichtskonzept zur Lichtverschmutzung wurden zwei Unterrichtseinheiten gestaltet. Bereits in der ersten Einheit wurde die Reihenfolge der E's etwas verändert und einige wiederholen sich in der zweiten Einheit. Das detaillierte Stundenbild ist in Anhang 3 zu finden.

Die erste Einheit beginnt mit der Phase *Engage*, wobei die Lernenden durch den Vergleich zweier Abbildungen des Sternbildes Orion im Lernkontext ankommen. Es folgt eine *Explain* Phase, in der die Schüler und Schülerinnen anhand kurzer Inputs der Lehrperson zu Quellen und zur Entstehung von Lichtverschmutzung bereits Gelerntes mit dem nun bearbeiteten Thema in Zusammenhang bringen. Sie erläutern zum Beispiel ihr Verständnis vom Sehvorgang und der Streuung. Diese Vorstellungen können dann anhand eines Experimentes zur Streuung (*Explore*) überprüft und weiter diskutiert werden. Es folgt noch einmal eine kurze *Explain*-Phase mit dem Schwerpunkt der Auswirkungen der Lichtverschmutzung. In der folgenden Phase *Elaborate* entwickeln die Schüler und Schülerinnen eine „ideale“ Straßenleuchte. Sie wird zuerst auf dem Blatt Papier skizziert und anschließend gebaut und schließlich getestet. Die mit einem Lichtmessgerät von den Lernenden gemessenen Werte werden schließlich in der die erste Unterrichtseinheit abschließenden *Explain*-Phase ausgewertet.

¹⁵⁴ Wolfgang Klafki, Didaktische Analyse, Hannover 1969.

Die zweite Unterrichtseinheit beginnt mit einer Wiederholung der Inhalte der ersten Einheit (*Engage*), worauf eine lange *Elaborate & Evaluate*-Phase folgt, in der die Schüler und Schülerinnen unter Verwendung des bereits Gelernten Bewertungskompetenz auf eines von zwei vorgegebenen Beispielen anwenden. Den Abschluss des ganzen Konzeptes bildet eine *Explain*-Phase in der die Lernenden alles bisher Gelernte zusammenführen, um Antworten auf die Frage zu finden, welche Schritte man zur Verminderung der Lichtverschmutzung setzen kann.

Im Vorfeld werden für das Unterrichtskonzept auch folgende Aspekte definiert:

1. Schlüsselbegriffe der Unterrichtseinheit

Zur kurzen Charakterisierung der Unterrichtseinheit dienen folgende sieben Schlüsselbegriffe: Lichtverschmutzung, Umweltschutz, Energie, Energiesparen, optische Phänomene in der Atmosphäre, Bewertungskompetenz und fächerübergreifendes Lernen.

2. Was sollen Schüler und Schülerinnen am Ende der Unterrichtseinheiten wissen/können? (Grobziele)

Die Schüler und Schülerinnen ...

... können das Phänomen der Lichtverschmutzung und die zugrundeliegende Problematik erklären.

... können Bewertungskompetenz (= a) Kennen und Verstehen von Lichtverschmutzung, b) Kennen und Verstehen von Werten und Normen, c) Generieren und Reflektieren von Sachinformationen, d) Bewerten, Entscheiden und Reflektieren von Sachinformation) an einer Beispielaufgabe zum Thema Lichtverschmutzung anwenden und diese Kompetenz auch in den Alltag übertragen.

... können ihre Vorstellungen über Licht(ausbreitung) auf physikalischer Grundlage weiter verfestigen.

3. Warum sollen Schüler und Schülerinnen diese Inhalte lernen?

Das Thema Lichtverschmutzung hat als aktuelles Geschehen eine *Bedeutung für die Gegenwart*. Die Schüler und Schülerinnen können im Alltag etwas dagegen unternehmen. Es hat aber auch *Bedeutung für die Zukunft*: Wird die Lichtverschmutzung jetzt verringert, so bedeutet dies den Schutz zukünftig lebender Menschen, Tiere und Pflanzen. Weiß man, was Lichtverschmutzung ist, ist sie bewusst wahrnehmbar und hat damit auch *Bedeutung für die Schüler und Schülerinnen*. Lichtverschmutzung ist ein Umwelteinfluss, gegen den auch Schüler und Schülerinnen etwas unternehmen können. Nicht zuletzt hat es auch eine *Bedeutung für die Wissenschaft*: Das Thema wird aktuell beforscht, aber es gibt noch wenige konkrete Ergebnisse, da es sich um einen relativ neuen Umwelteinfluss handelt. Hier wird also die Not-

wendigkeit der genauen Untersuchung der einzelnen Einflussbereiche besonders hervor gestrichen. Die *Bedeutung für die Gesellschaft* besteht in dem Bestreben zur Rückgewinnung des Sternenhimmels, aber auch der Verringerung des Energiebedarfs und damit Geldersparnis. Lichtverschmutzung hat außerdem für zwei Bereiche *exemplarische Bedeutung*: Einerseits als Beispiel einer Alltagserfahrung, die zum Verständnis der Ausbreitung von Licht, sowie dessen Streuung und Reflexion hilfreich sein kann. Andererseits ist sie ein physikalisches Phänomen, das auch eine politische, wirtschaftliche, rechtliche, soziale und ökologische Dimension aufweist.

Zur Einordnung im Lehrplan siehe Kapitel 2.1.3.

4. Elementare Grundideen (Key Ideas)

Die elementaren Grundideen, die hinter der Unterrichtseinheit stehen, sind die Sender-Empfänger-Vorstellung für den Sehvorgang, die geradlinige Ausbreitung des Lichts, Reflexion und Streuung, sowie der Umweltschutz.

5. Welche Kompetenzen sollen Schüler und Schülerinnen dadurch trainieren?

Siehe Kapitel 2.1.2, speziell Tabelle 1

6. Mit welchen Schülervorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen?

Siehe Kapitel 2.4

7. Was sollen die Schüler- und Schülerinnen am Ende dieser Sequenz (z.B. bei einem Test) können? (Feinziele)

Die Schüler und Schülerinnen können ...

- ... formulieren, welches Phänomen der Begriff Lichtverschmutzung bezeichnet.
- ... die physikalischen Vorgänge erklären, wie Lichtverschmutzung entsteht.
- ... Quellen der Lichtverschmutzung nennen.
- ... Beispiele nennen, wem Lichtverschmutzung schadet.
- ... Bewertungskompetenz auf zwei vorgegebene Beispiele („Nutzung eines Hangs in den Ostalpen“ und „Neue Hofbeleuchtung“) anwenden.
- ... Bewertungskompetenz auf ähnliche Beispiele anwenden wie die der Unterrichtseinheit.
- ... anhand der fachlichen Inhalte der Unterrichtsstunde zur Lichtverschmutzung und des Einübens von Bewertungskompetenz auch in Entscheidungssituationen des Alltages mehrere Optionen miteinander vergleichen und zu einem begründeten Urteil kommen.
- ... über Lichtverschmutzung auf fachlicher Ebene diskutieren.
- ... Möglichkeiten erläutern, Lichtverschmutzung zu vermindern.
- ... eine für sie „ideale“ Straßenleuchte entwerfen und erklären, warum sie so geplant wurde.

... einen Versuch zur Messung der Lichtverschmutzung (rund um eine Straßenleuchte) aufbauen, die Werte protokollieren und auswerten.

Die Zusammenfassung dieser Ausführungen sowie der ausgefüllte Planungsraster sind in Anhang 3 zu finden.

3.4 Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion – Unterrichtsmaterial

In diesem Kapitel wird erläutert, wie der Ablauf der Unterrichtseinheit konzipiert wurde, welche Konzepte zugrunde liegen, welche Absichten hinter bestimmten Unterrichtselementen stecken und welche Effekte von ihnen erwartet werden. Dieser forschungsbasierten Konzeption der Unterrichtseinheit wird in Kapitel 4.3 und 4.4 dann die tatsächliche Umsetzung in den Klassen gegenübergestellt.

Die theoretischen Hintergründe zur didaktischen Rekonstruktion wurden bereits in Kapitel 2.5 grundgelegt. Hier wird nun die Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion für die einzelnen Sequenzen der beiden Unterrichtseinheiten zur Lichtverschmutzung erörtert.

3.4.1 Zwei Abbildungen des Sternbildes Orion - Engage

Mittels Beamer wird den Schülerinnen und Schülern als Einstieg das Sternbild Orion in zweifacher Ausführung gezeigt. Das erste Bild zeigt den Sternenhimmel ohne Lichtverschmutzung, das zweite wurde in einer Stadt aufgenommen, wodurch erheblich weniger Sterne sichtbar sind (siehe Abbildung 19). Die Lernenden werden dazu aufgefordert, in Partnerarbeit auf einem ausgeteilten Notizblatt den folgenden Arbeitsauftrag zu den Bildern auszuführen: Beschreibt das Bild – Was ist zu sehen? Welche Unterschiede gibt es? Was ist gleich? Warum?



Abbildung 19: Das Sternbild Orion: links ohne, rechts mit Lichtverschmutzung

Im Anschluss präsentieren die Lernenden ihre Ergebnisse und diskutieren die Ideen in der Klasse.

Wie bereits ausgeführt, nehmen Schülerinnen und Schüler nach der lernpsychologischen Theorie des Konstruktivismus Wissen nicht nur passiv auf, sondern bauen dieses auf. Durch die Analyse der beiden Abbildungen erschließen sich die Lernenden mit ihrem Wissen und ihrer Interpretationsfähigkeit das Phänomen Lichtverschmutzung. Sie sollen erkennen, dass es sich zweimal um dasselbe Sternbild handelt, vor allem anhand der drei Gürtelsterne in der Mitte und des gelblichen Sternes Betelgeuze (links oben), die auf beiden Bildern deutlich zu erkennen sind. Das rechte Bild ist insgesamt milchig, nebelig und blasser und es sind weniger und schwächere Sterne zu sehen. Die Lernenden haben hiermit also die Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf die Sichtbarkeit des Sternenhimmels selbst detektiert. Wenn der Grund für die Verschleierung nicht von den Schülern und Schülerinnen selbst genannt wird, wird das Rätsel von der Lehrperson aufgelöst. So kann nun im Anschluss darauf eingegangen werden, woher das Licht kommt, welche physikalischen Phänomene dabei eine Rolle spielen und warum es ein Problem darstellt.

3.4.2 Was ist Lichtverschmutzung? - Explain

In dieser Phase der Unterrichtsstunde beschränkt sich die Schüler-/Schülerinnenaktivität auf Operatoren wie die Deutung der Details eines Bildes, das Erläutern eines Vorganges oder das Ziehen von Schlüssen aus gegebenen Informationen, woraus später eigene Erkenntnisse aus einer Versuchsdurchführung gefolgert werden. Diese Kompetenzen können nur stichprobenartig überprüft werden, indem einzelne Schüler oder Schülerinnen gebeten werden, ihre Überlegungen mitzuteilen - für schriftliche Ausarbeitungen bleibt in dem vorgegebenen engen Zeitrahmen keine Zeit. Dieser Abschnitt dient vor allem zur Vermittlung von Arbeitswissen als Basis für alle folgenden Abschnitte, die komplett auf Schüler- und Schülerinnenaktivität ausgelegt sind. Natürlich könnte man auch diese Inhalte mit wesentlich mehr Aktivität der Lernenden gestalten, doch da für das ganze Unterrichtsgeschehen nur zwei Stunden zur Verfügung standen, musste dieser Teil gekürzt erstellt werden.

3.4.2.1 Wo kommt das her?

Ein Bild im Comicstil zeigt verschiedene Quellen von Licht in der Nacht. Die Schüler und Schülerinnen werden aufgefordert, sie alle zu finden. Abbildung 20¹⁵⁵ zeigt schließlich die Auflösung dieses "Rätsels". Die Wolke in der Mitte weist schon auf den nächsten Schritt hin. Das Licht würde uns ja nicht stören, würde es nicht wieder zurück zur Erde gestrahlt werden.



Abbildung 20: Quellen von Licht in der Nacht

¹⁵⁵ In der Beleuchtungstechnik werden verschiedene Leuchtmittel mit unterschiedlichen Farbanteilen verwendet. Der vom Menschen wahrgenommen Farbeindruck reicht dabei von orange bis blau-weiß. In dieser Präsentation wird Licht jedoch aufgrund der besseren Darstellbarkeit stets in gelber Farbe dargestellt.

Die nächste Folie (siehe Abbildung 21) wirft die beiden Begriffe Reflexion und Streuung auf. Die Schüler und Schülerinnen haben das Kapitel Optik im Physikunterricht bereits gelernt und werden nun gebeten, die beiden Begriffe zu erklären. Zur optischen Unterstützung kann die Lehrperson eine Skizze auf der Tafel aufzeichnen. An dieser Stelle knüpft auch eine Wiederholung des Themas Sehvorgang an. Die Schüler und Schülerinnen erläutern, was erforderlich ist, damit wir etwas sehen können und versuchen auch Beispiele zu formulieren (z.B. Licht kommt vom Mond, wird an einer Wasseroberfläche reflektiert und trifft in unser Auge.). Zur Verdeutlichung dieser Vorgänge wird an dieser Stelle ein Experiment durchgeführt. Um den Zusammenhang mit der Bildschirm-Präsentation in dieser Darstellung nicht aufzulösen, wird der Ablauf des Experimentes erst in Punkt 3.4.3 beschrieben.

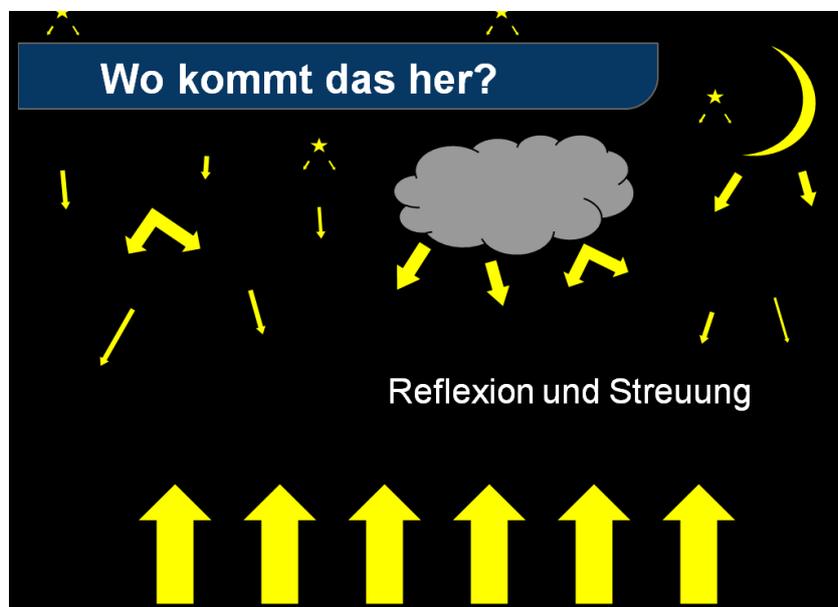


Abbildung 21: Bildliche Darstellung der Entstehung von Lichtverschmutzung

3.4.2.2 Wie sieht das aus?

Um noch weitere Alltagserfahrungen der Schüler und Schülerinnen aufzugreifen und sie zur Beobachtung solcher Erscheinungen beim nächtlichen Aufenthalt im Freien anzuregen, werden nun Beispiele für Lichtverschmutzung gezeigt. Zuerst ist die Lichtglocke über Innsbruck erkennbar und der Lichtsmog über zwei Kirchen in der Ortschaft Straden. Dann wird der Schwerpunkt auf Wien verlegt.

Zuerst sieht man eine Aufnahme Wiens vom Kahlenberg aus, auf der man zum Beispiel das Riesenrad und einige Donaubrüchen erkennen kann. Das nächste Bild wurde 40 km entfernt im niederösterreichischen Ort Großmugl aufgenommen. Die kleinen Lichtpunkte am Horizont sind nicht die Gebäude der Bundeshauptstadt sondern ein nahe liegendes Dorf. Wien selbst wird von den Hügeln abgeschattet, doch die Wiener Lichtglocke ist deutlich erkennbar (siehe

Abbildung 22). Und noch einmal bewegt sich der Beobachter weiter weg von Wien, und zwar ins Weltall. Eine Satellitenaufnahme zeigt Europa bei Nacht.

Die Schüler und Schülerinnen interpretieren die Karten und erkennen, dass besonders Städte und Küsten hell erleuchtet sind. Wo viele Menschen leben, ist auch viel Licht. Nach genauer Analyse können die Lernenden auf der Karte südöstlich von Wien einen deutlich dunkleren großen Fleck erkennen und versuchen zu begründen, was dieser dunkle Bereich bedeuten könnte und wieso diese dunkle Zone genau an diesem Ort besteht (siehe Abbildung 14). Es handelt sich um die Ostalpen, einem der dunkelsten Orte Mitteleuropas, in denen sich keine großen Städte oder Skiorte befinden und deren Täler durch die Bergketten vom Licht der umliegenden Städte abgeschirmt sind. Außerdem klassifizieren die Schüler und Schülerinnen die einzelnen Lichtquellen (Abbildung 22) und ordnen sie den zuvor kennengelernten Kategorien (z.B. Straßenleuchten, Gebäudebeleuchtung, ...) zu.

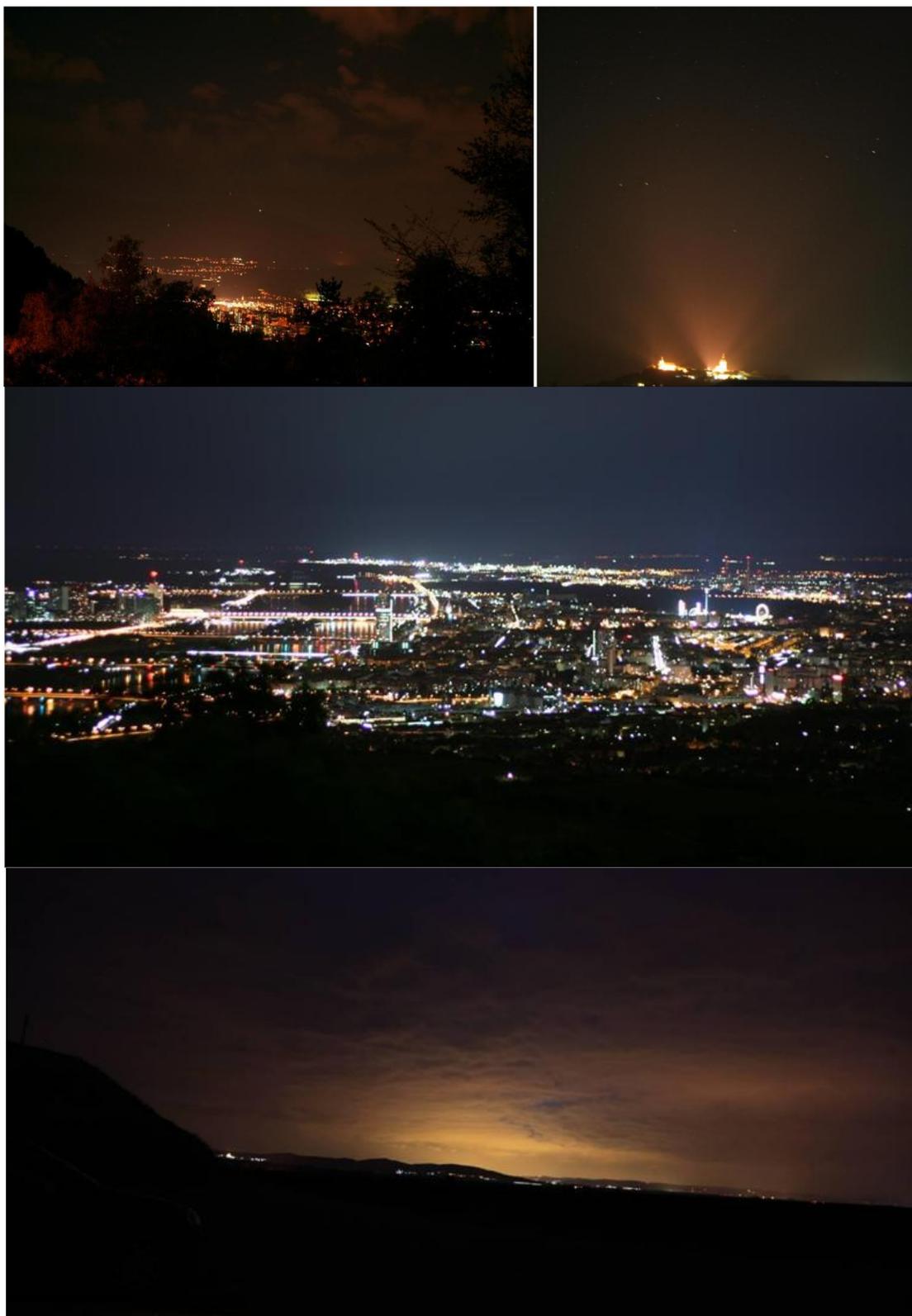


Abbildung 22: Beispiele für Lichtverschmutzung

oben links: Innsbruck (Tirol) – Der orange Himmel deutet auf viele Natriumdampflampen in den Straßen hin, da jene Licht in diesem Farbbereich erzeugen.

oben rechts: In Straden (Steiermark) werden Gebäude mit von unten nach oben gerichteten Strahlern beleuchtet. Man kann die Lichtkegel der einzelnen Leuchten deutlich am Himmel erkennen.

Mitte: Wien bei Nacht: deutlich erkennt man rechts das Riesenrad und links die Brücken, die über die Donau führen.

unten: Die Stadt Wien selbst ist zwar hinter den Hügeln versteckt, doch auch vom 40 km entfernten Großmugl kann man die Wiener Lichtglocke noch deutlich sehen.

3.4.2.3 Wieso ist das schlecht?

Da nun geklärt ist, wie Lichtverschmutzung entsteht und was man sich unter dem Begriff vorstellen kann, wird auf die negativen Auswirkungen eingegangen. Der Schwerpunkt liegt im Bereich der Natur bei nachtaktiven Insekten, Pflanzen und Zugvögeln, im Bereich des Menschen auf der Gesundheit, der Astronomie und dem Energieverbrauch. Diese Inhalte wurden bewusst auf die sechs nun genannten wichtigen Themenbereiche begrenzt. Es ist besser, diese wenigen Probleme der Lichtverschmutzung zu verinnerlichen, als von zu vielen Informationen überfordert zu werden. Details zur jeweiligen Problematik wurden in Kapitel 2.3.4 ausführlich erläutert. Welche Punkte für die Schüler und Schülerinnen näher erklärt wurden, ist auf Abbildung 23 zu sehen. Die Schüler und Schülerinnen können aus diesen Informationen ableiten, warum Lichtverschmutzung in den Kontext der Umweltverschmutzung einzuordnen ist. Außerdem zeigt sich hier die multidisziplinäre Problematik der Lichtverschmutzung. Ob und wie die Lernenden diese Informationen anwenden und damit in einen neuen Kontext einordnen, lässt sich in der zweiten Unterrichtseinheit mit den Beispielen zur Bewertungskompetenz (Kapitel 3.4.7) überprüfen.



Abbildung 23: Folien zu den negativen Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf nachtaktive Insekten, Pflanzen, Zugvögel und den Menschen.

3.4.2.4 Lichtverschmutzung messen

Über den letzten Punkt der vorhergehenden Folie „Energie“, wird nun der Konnex zur nächsten hergestellt. Der Energieverbrauch ist das Argument, das am ehesten zu legislativen Maßnahmen rund um die Reduktion der Nachthimmelshelligkeit führen kann, wie Beispiele in anderen Ländern belegen. Dazu werden jedoch Messungen des Ist-Zustands benötigt. Zu diesem Zweck wurde von Astronomen der Kuffner Sternwarte in Wien und dem deutschen Unternehmen K2W lights ein spezielles Messgerät entwickelt: das Lightmeter. Dessen Sensor ähnelt einer Solarzelle, wie die Schüler und Schülerinnen sie von Dächern kennen. Über eine integrierte Verstärkereinheit wird ein Zusammenhang zwischen der gemessenen Stromstärke

und der Zahl der auftreffenden Lichtteilchen (Photonen) – und damit der Helligkeit - hergestellt. Der dynamische Bereich reicht von der Beleuchtungsstärke der Milchstraße bis zu jener von Tageslicht. Es ist im Vergleich zu vielen anderen Messgeräten sehr kostengünstig und wetterfest, da es ja im Freien montiert werden muss. Das Lightmeter wird weltweit eingesetzt, so beispielsweise an sehr dunklen Orten wie Teneriffa, in der Atacamawüste in Chile und auch in Österreich im Wildnisgebiet Dürrenstein. Aber auch sehr helle Orte werden vermessen, so zum Beispiel schwerpunktmäßig Wien, worüber bereits drei Forschungsberichte veröffentlicht wurden. Die Schüler und Schülerinnen leiten aus diesen Angaben die Notwendigkeit von Messungen ab, um darauf aufbauend Aussagen treffen zu können. Diese Erkenntnis dient auch als Basis für das im übernächsten Abschnitt (3.4.4) von den Lernenden durchgeführte Experiment.



Abbildung 24: Das Lightmeter als spezielles Gerät zur Messung der Lichtverschmutzung wird vorgestellt und Beispiele von Orten, an denen es platziert wurde, gezeigt.

3.4.2.5 Wo kommt das her? – Beispiele

Zum Schluss dieses Abschnitts wird noch einmal auf die Quellen der Lichtverschmutzung eingegangen, die bereits zu Beginn in der Comic-Zeichnung gezeigt wurden (Abbildung 25). Bei der Straßenbeleuchtung wird (von links nach rechts) eine Kugelleuchte gezeigt, welche die ineffizienteste Beleuchtungsvariante darstellt: Sie beleuchtet den Himmel stärker als den Boden. Die Kofferleuchte ist oben und unten abgeschirmt, illuminiert also vor allem Häuserwände. Das dritte Bild zeigt schließlich eine besonders hell erleuchtete Straßenbahnstation in Wien. Die Schüler und Schülerinnen leiten aus diesen Lampenbeispielen ab, welche Lampengeometrie zu besonders starker Lichtverschmutzung führt. Auf dieser Erkenntnis aufbauend sollen sie etwas später innerhalb dieser Unterrichtseinheit eine eigene Straßenleuchte konstruieren, die möglichst wenig Lichtverschmutzung verursacht (siehe 3.4.4).



Abbildung 25: Beispiele für Quellen der Lichtverschmutzung

Auf der zweiten Folie sind drei Fotos von Geschäftsbeleuchtungen zu sehen, die um Mitternacht aufgenommen wurden. Nur der Eissalon war noch geöffnet, das Bekleidungsgeschäft und der Copy-Shop bereits geschlossen. Die Schüler und Schülerinnen schließen von der Erleuchtung der Umgebung vor den drei Geschäften auf den Zusammenhang von Schaufensterbeleuchtung und Lichtverschmutzung. Vor allem beim Letztgenannten lohnt sich ein Blick auf den davor liegenden Gehsteig. Dieser war so hell erleuchtet, dass man dort problemlos ein Buch lesen hätte können. (Diese Fotos wurden während den Messfahrten für den ersten Wiener Lichtbericht¹⁵⁶ aufgenommen.) Diese Informationen werden im abschließenden Schritt der zweiten Unterrichtseinheit verarbeitet, wenn die Schüler und Schülerinnen Vorschläge zur Reduktion der Lichtverschmutzung erarbeiten. So sollte aufgrund dieser Fotos auch die zeitliche Begrenzung von Schaufensterbeleuchtungen als Möglichkeit genannt werden (siehe 3.4.8).

Die dritte Folie verweist auf Gebäudebeleuchtungen, die oft vor allem den Himmel erhellen, und nur zum geringen Teil das Gebäude selbst. Auf dem Bild links oben kann man deutlich die Strahlen der einzelnen Lampen erkennen, die weit in den Himmel hinauf ragen, da sie am

¹⁵⁶ Reithofer, Exemplarischer Lichtkataster, S. 20f.

Gebäude vorbei strahlen. Rechts oben ist eine sehr hell erleuchtete Kirche in Niederösterreich zu sehen. Bekanntestes Gebäude der vier gezeigten ist wohl der Stephansdom in der Mitte unten. Durch den Nebel sind die einzelnen Lichtquellen gut erkennbar. Links davon sieht man eine Kirchenbeleuchtung aus 1,4 km Entfernung, wobei man aber die Kirche selbst nicht sehen kann. Die Lernenden erschließen sich anhand dieser Fotos erneut den Zusammenhang zwischen Teilchen in der Atmosphäre, in diesem Fall die Wassertröpfchen des Nebels, und Streuung des Lichts. Außerdem wird die geradlinige Ausbreitung des Lichts noch einmal deutlich. Auch diese Negativbeispiele sollen den Schülern und Schülerinnen am Ende der beiden Unterrichtseinheiten als Grundlage dienen, die Idee einer lichtverschmutzungsverminderten Gebäudebeleuchtung zu entwickeln (siehe 3.4.8).

3.4.3 Experiment zur Streuung – Explore

Dieses Experiment findet als Unterbrechung der Bildschirm- Präsentation statt, zwischen den Punkten „Wo kommt das her?“ und „Wie sieht das aus?“ Der Raum wird vollständig abgedunkelt und ein Laserpointer auf einen Tisch gestellt. Der Lichtpunkt ist an der Wand zu sehen. Die Lernenden werden gefragt, ob nun zwischen Laser und Wand auch Licht sei. Alle Lernenden sind eingeladen, sich Gedanken darüber zu machen und ihre eigene Hypothese dazu aufzustellen. Mit Handzeichen zeigen die Schüler und Schülerinnen an, ob sie meinen, zwischen Laser und Wand sei Licht, oder kein Licht. Ein Lernender oder eine Lernende aus beiden Gruppen wird dann gebeten der ganzen Klasse seine oder ihre Begründung mitzuteilen. Diese Einzelaussagen können dann noch mit den Aussagen anderer Lernender ergänzt werden, sodass eine Diskussion entstehen kann. Anschließend wird Mehl oder Kreidestaub aus dem Tafeltuch in der Luft verteilt. Beim Mehl hat es sich als die beste Methode erwiesen, es auf den Händen zu verteilen und diese dann über dem Laserstrahl mehrmals zusammen zu klatschen. Am besten eignet sich dazu griffiges Mehl. Das Tafeltuch wird in manchen Schulen zu häufig gewaschen, weshalb man nicht überall darauf zurückgreifen kann, dieses auszusütteln. Das Licht wird also an den Staubteilchen gestreut und gelangt in unsere Augen – deshalb können wir es jetzt sehen. Dies wird noch mit einem Bild der Atmosphäre verdeutlicht (Abbildung 26). Hier wird nun nochmal der Konnex zum Einstiegsbild des Sternbildes Orion hergestellt und dieses auch gezeigt: Die Schüler und Schülerinnen leiten aus dem Versuch ab, dass man das Sternbild in der Stadt nicht mehr so gut sehen kann, da wir durch das zurückkommende künstliche Licht geblendet werden, das in der Atmosphäre gestreut wird.

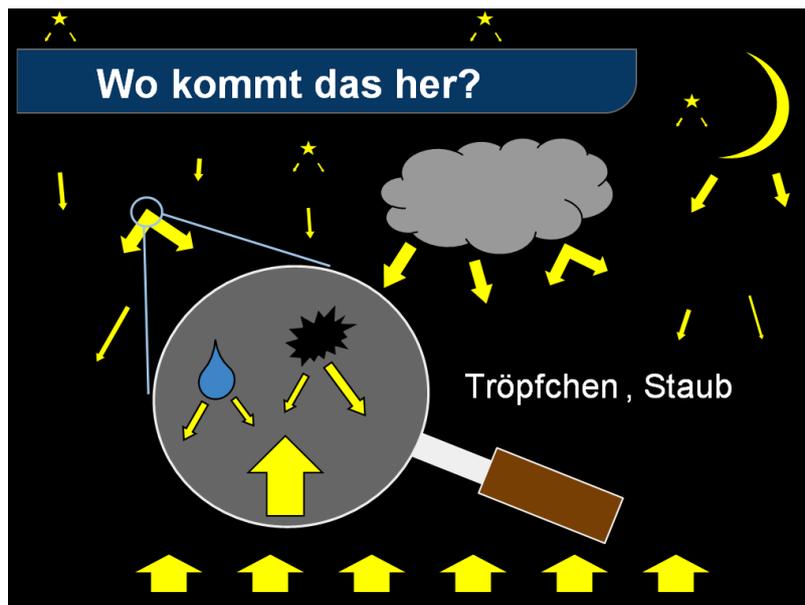


Abbildung 26: Bildliche Darstellung der physikalischen Entstehung von Lichtverschmutzung

3.4.4 Entwurf der „idealen“ Straßenleuchte - Elaborate

Nun sind die Schüler und Schülerinnen sowohl geistig als auch handwerklich gefordert. Die Lehrperson präsentiert das Modell einer Straßenleuchte. Der Leuchtkörper selbst ist frei beweglich und kann an einem Gestänge in alle Richtungen gedreht werden. An diesem Leuchtkörper soll später eine Abschirmung befestigt werden, die die Lernenden auf dem Papier entwerfen. Sie erhalten in Gruppen von drei bis fünf Personen den Auftrag, eine „ideale“ Straßenleuchte zu designen. (Was unter „ideal“ verstanden wird, wurde in 2.3.5 beschrieben und begründet.) Dazu ist es notwendig sich zu überlegen, wo man das Licht haben möchte, und wo nicht. Im Anschluss sollen sie dieses Modell aus A3 Kopierpapier anfertigen und an dem genannten Leuchtkörper anbringen. Um den Schirm besser formen zu können, erhält jede Gruppe eine Plastik- oder Metalldose als „Dummy“ statt des Leuchtkörpers und Klebeband zum Zusammenkleben der weißen Blätter.

3.4.5 Vermessung der „idealen“ Straßenleuchte – Explain

Der Raum wird so gut wie möglich abgedunkelt und der erste Schirm montiert. Die Lernenden beobachten die jeweilige Lichtausbreitung anhand der Helligkeit am Boden und an der Wand. Sie messen außerdem mit einer Luxmeter-App am Smartphone die Werte der jeweiligen Lampenschirme. Vier Smartphones werden an den Ecken eines gedachten Quadrates am Boden rund um die Lampe platziert, weitere drei werden von den Lernenden an den Seiten des Quadrates vor der Brust gehalten, also zwischen den Smartphones am Boden (siehe Abbildung 27). Diese „Luxmeter“ sind natürlich nicht kalibriert, sie liefern also keine präzisen

Lux-Werte. Doch da für die Auswertung die Werte nur untereinander verglichen werden (höchster Wert, niedrigster Wert, ...) spielt dies keine Rolle.

Als Messgerät wurde das Smartphone der Lernenden ausgewählt, damit die Schüler und Schülerinnen auch wirklich selbst messen können. Die meisten Smartphones haben Lichtsensoren eingebaut, die aber mit unterschiedlicher Empfindlichkeit reagieren. Den Lernenden wurde eine spezielle App empfohlen, die keine weiteren Zusatzfunktionen hat. Sie ist also sehr einfach zu bedienen, was einen schnellen Ablauf der Messung garantieren soll. Es werden aber mehrere kostenlose Luxmeter-Apps zur Verfügung gestellt, aus denen man auswählen kann. Mit ihren eigenen Messgeräten untersuchen die Schüler und Schülerinnen also nun den Zusammenhang zwischen verschiedenen Schirmformen und der Ausleuchtung des Bodens und des Raumes.



Abbildung 27: links: Ein beweglicher Leuchtkörper wird an einem Stativ befestigt und dient als Modell einer Straßenleuchte. rechts: Die Schüler und Schülerinnen befestigen ihre gebastelten Schirme an der Leuchte und messen die Helligkeit am Boden und an den Seiten.

Die Lehrperson dokumentiert die Mittelwerte der gemessenen Werte, die von einem Schüler oder einer Schülerin mit dem Taschenrechner bestimmt werden, in einer Tabelle an der Tafel (siehe Abbildung 28). Anhand dieser Werte argumentieren die Lernenden, welche ihrer entworfenen Straßenleuchten die „ideale“ wäre, die sowohl das Licht dorthin emittiert wo es

gebraucht wird, als auch möglichst wenig Lichtverschmutzung durch seitliche Abstrahlung verursacht.

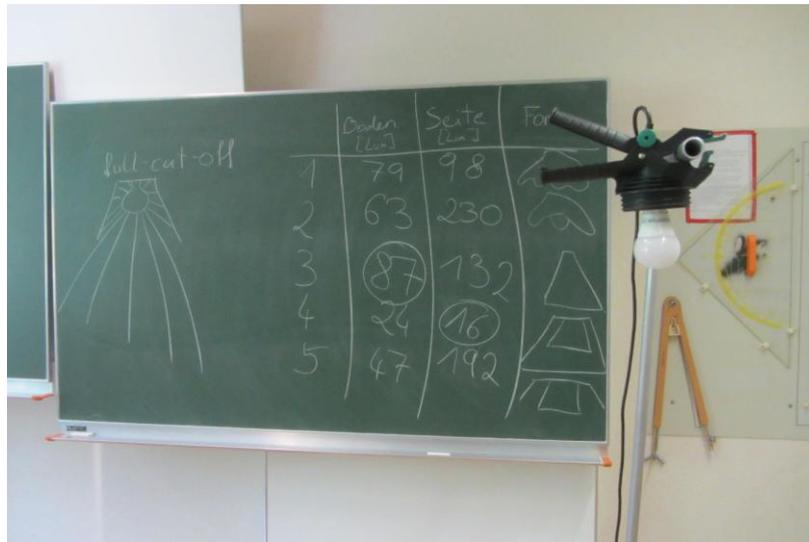


Abbildung 28: Die gemessenen Helligkeits-Werte werden an der Tafel in einer Tabelle notiert. Anhand dieser Daten wird die ideale Form einer Straßenleuchte bestimmt, die so genannte „full-cut-off-Leuchte“.

3.4.6 Gemeinsame Wiederholung der Inhalte der letzten Stunde – Engage

Zu Beginn der zweiten Unterrichtseinheit erhalten die Lernenden zum (Wieder-)Einstieg in das Thema einen Auszug aus dem Folder „Besseres Licht“ des Landes Oberösterreich¹⁵⁷ (siehe Anhang 4). Dieser fasst die Inhalte der ersten Unterrichtseinheit zur Lichtverschmutzung zusammen. Zum einen zeigt die kopierte Seite eine Grafik, wie eine umweltfreundliche Beleuchtung aussehen kann, zum anderen erklärt sie kurz die negativen Folgen für die Gesundheit, nachtaktive Tiere und Vögel. Dieser Folder kann unter us.post@ooe.gv.at für Unterrichtszwecke beim Land Oberösterreich bestellt werden.

Mithilfe der ABC-Methode sollen nun die Inhalte der letzten Stunde wieder ins Gedächtnis zurückgeholt werden. Das bedeutet, es soll zu jedem Buchstaben des Alphabets ein Begriff, der dann auch erklärt wird, eine Wortgruppe oder ein Satz zum Thema Lichtverschmutzung gefunden werden. Als Beispiel wird das „Q“ genannt, da dies einer der „schwierigeren“ Buchstaben ist. Hier würde zum Beispiel dieser Satz gut passen: „Quelle der Lichtverschmutzung sind unter anderem Schaufensterbeleuchtungen“.

Die Schüler und Schülerinnen haben nun einige Minuten (max. fünf) Zeit, um das ausgeteilte Blatt durchzulesen. Es dürfen jedoch auch Inhalte genannt werden, die nicht auf dem ausgeteilten Blatt Thema waren. Zur besseren Übersicht können die Buchstaben des Alphabets

¹⁵⁷ Amt der Oö. Landesregierung. *Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz* [Hg.], Besseres Licht – Alternativen zum Lichtsmog, Linz 2013.

auch auf einen kleinen Block geschrieben werden – ein Buchstabe pro Blatt. Immer wenn der nächste Buchstabe dran ist, wird eine Seite umgeblättert und so können auch die Lernenden sofort sehen, zu welchem Buchstaben sie einen Begriff nennen sollen.

Die Lernenden wissen natürlich vorher nicht, wer beginnen wird und somit auch nicht, zu welchem Buchstaben sie dann einen Begriff nennen sollen. So muss sich jeder zu allen Buchstaben eine Antwort überlegen. Man beginnt einfach irgendwo in der Klasse und geht dann reihum weiter im Alphabet. Hat die Klasse weniger als 26 Lernende, so beginnt man einfach wieder bei der ersten Person. Weiß ein Schüler/eine Schülerin keine Antwort, so kann ein Aufzeigender/eine Aufzeigende als Joker herangezogen werden. Dadurch ist jeder Schüler und jede Schülerin aufgefordert, die ganze Zeit mitzudenken. Es wird zu Beginn klargestellt, dass es das Ziel ist, mit der ganzen Klasse für jeden Buchstaben des Alphabetes eine Wortgruppe zu finden. Mögliche Antworten sind in Tabelle 6 zu finden.

| | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | Aktionsradius von nachtaktiven Insekten wird eingeschränkt |
| B | Brutplätze werden von Vögeln nicht mehr gefunden. |
| C | Chancen zur Verbesserung: Lampen und Leuchten austauschen |
| D | Desorientierung von Zugvögeln |
| E | Effiziente Lampen wie LED sparen viel Energie. |
| F | Fledermäuse werden durch Streulicht irritiert. |
| G | Gesunder Schlaf durch dunkles Schlafzimmer |
| H | Hormon Melatonin wird nur bei Dunkelheit gebildet |
| I | Insekten orientieren sich an künstlichen Lichtquellen, anstelle der weniger hellen Sterne. |
| J | Jahr um Jahr wird die Lichtverschmutzung im Moment mehr. |
| K | Kugelleuchten strahlen viel Licht sinnlos nach oben und zur Seite. |
| L | Lichtsmog ist ein anders Wort für Lichtverschmutzung. |
| M | Milchstraße ist in vielen Städten nicht mehr sichtbar |
| N | Nachtaktive Tiere werden in ihrer Lebensweise gestört. |
| O | Ohne Lichtverschmutzung könnte man die Sterne besser sehen. |
| P | Pilzleuchten strahlen viel Licht sinnlos zur Seite und in den Nachthimmel. |
| Q | Quelle der Lichtverschmutzung sind unter anderem Schaufensterbeleuchtungen. |
| R | Räuber-Beute-Beziehung verändert sich |
| S | Sterne können nur noch eingeschränkt betrachtet werden. |
| T | Tiere, die in der Nacht jagen, werden irritiert. |
| U | Umwelt wird durch künstliches Licht negativ beeinflusst |
| V | Verbrennen von Insekten an Leuchtkörpern |
| W | Warm-weißes Licht ist besser als kalt-weißes. |
| X | Xenonlampen blenden besonders stark. |
| Y | Yachten werden oft mit Strahlern, die in den Himmel gerichtet sind, erleuchtet. |
| Z | Zu viel künstliches Licht schadet Menschen, Tieren und Pflanzen. |

Tabelle 6: Mögliche Antworten zur Wiederholung der Inhalte der ersten Unterrichtseinheit mit Hilfe der ABC-Methode

3.4.7 Anwendung von Bewertungskompetenz – Elaborate & Evaluate

Die Lehrperson erklärt, dass die Schüler und Schülerinnen nun eine Aufgabe zu erfüllen haben, die normalerweise im Physikunterricht selten verlangt wird. Sie sollen in einem bestimmten Sachverhalt eine Entscheidung treffen und erklären, wie sie zu dieser Entscheidung gekommen sind. Es stehen dazu zwei Beispiele zur Auswahl, eines aus dem eher technischen Bereich, eines aus den Bereichen Ökonomie/Ökologie.

Im ersten Beispiel, „Nutzung eines Hangs in den Ostalpen“, versetzen sich die Lernenden in den Bürgermeister oder die Bürgermeisterin eines Ortes in den Ostalpen hinein. Die Gemein-

de braucht Geld für einige Investitionen (Errichtung eines Kindergartens, Sanierung des Schwimmbades, Ausbesserungsarbeiten an Straßen und der Kanalisation). Der Schüler/die Schülerin muss als Vorsteher oder Vorsteherin der Gemeinde in den Ostalpen entscheiden, was mit dem Berghang passieren soll, der an das Dorf grenzt. Dazu werden in einer Tabelle vier Möglichkeiten genannt. Diese Tabelle enthält auch Informationen darüber, welche Zielgruppe mit dem jeweiligen Projekt angesprochen werden kann, wie viel es kosten würde, zum wahrscheinlichen finanziellen Erfolg und zum Einfluss auf die Umwelt. In einer zweiten Tabelle wird genau erklärt, was mit den einzelnen Projektüberschriften genau gemeint ist (siehe Anhang 5).

Im zweiten Beispiel, „Neue Hofbeleuchtung“ dürfen die Schülerinnen und Schüler entscheiden, welche Lampen bei der neuen Beleuchtung im eigenen Hof montiert werden sollen. Sie haben dazu Glühlampen, kalt-weiße LED, warm-weiße LED und Natriumdampf-Niederdrucklampen zur Auswahl. Als Entscheidungshilfen werden dieses Mal die Effizienz, die Umweltverträglichkeit und die Qualität der Farberkennung angegeben. In der Tabelle darunter werden diese drei Begriffe genauer erklärt (siehe Anhang 6).

Die Lernenden entscheiden sich für ein Beispiel und bekommen das jeweilige Textblatt ausgeteilt. Dazu erhalten sie noch ein leeres Blatt Papier auf das sie ihre Wahl und ihre Begründung schreiben sollen.

Im Anschluss werden im Plenum die einzelnen Möglichkeiten der beiden Beispiele durchgenommen und die Schüler melden sich bei jener, die sie selbst gewählt haben. Sie sollen nun mündlich begründen, wie sie zu ihrer Entscheidung gekommen sind. Natürlich sollten hier die meisten Lernenden wenigstens kurz zu Wort kommen können. Die Lehrperson sollte dabei immer wieder nachhaken, um zu zeigen, dass manche Begründungen vielleicht etwas zu kurz gegriffen haben. Schließlich wird das Gespräch darauf hingelenkt, warum solche Bewertungen auch im Physikunterricht eine Rolle spielen sollen und dass das Bewerten und Begründen ihrer Entscheidungen noch ihr ganzes Leben lang wichtig sein wird.

3.4.8 Was tun gegen Lichtverschmutzung? – Explain

Zum Abschluss der beiden Unterrichtseinheiten werden die Schüler und Schülerinnen nun aufgefordert, Antworten auf die Frage zu finden, was man gegen Lichtverschmutzung unternehmen kann. Einige Vorschläge zur Reduktion der Lichtverschmutzung wurden schon während der Unterrichtseinheiten besprochen, doch auch neue Ideen der Schüler und Schülerinnen sollen aufgenommen werden. Diese sollen sie in Partnerarbeit mit ihrem Nachbarn auf einem Blatt Papier notieren. Aus diesen Gedanken wird dann von der Lehrperson an der Tafel

eine Mind-Map erstellt, die von den Lernenden im Heft mit gezeichnet wird. Ein Beispiel ist auf Abbildung 29 zu sehen.



Abbildung 29: MindMap zur Frage „Was kann man gegen Lichtverschmutzung tun?“

3.5 Pre-Test

Mit dem Pre-Test wurde erhoben, welche Vorstellungen Schüler und Schülerinnen der 8. Schulstufe zum Begriff Lichtverschmutzung haben. Es wurden auch Fragen zur Optik gestellt, welche genauso im Post-Test noch einmal gestellt wurden, um einen möglichen Wissens- und Kompetenzzuwachs feststellen zu können. Außerdem wurden den Lernenden Fragen zu ihren Werten und Normen gestellt. Da nicht gesichert werden konnte, dass jeder Schüler und jede Schülerin während der Testung einen Computer zur Verfügung haben wird, wurden sowohl der Pre- als auch der Post-Test in Papier-Form ausgeteilt und handschriftlich ausgefüllt. Zur besseren Nachverfolgbarkeit wurden die Lernenden in Anlehnung an den Fragebogen von Claudia Haagen-Schützenhöfer und Martin Hopf¹⁵⁸ gebeten, ihren Bogen mit einem Code verschlüsselt zu kennzeichnen (siehe Anhang 1).

Der Fragebogen umfasst elf Seiten und wurde in fünf Kapitel unterteilt:

¹⁵⁸ Claudia Haagen-Schützenhöfer / Martin Hopf, Testing students' conceptual understanding in geometrical optics with a two-tier instrument. In Mehmet Fatih Taşar. [Hg.], Proceedings of World Conference of Physics Education 2012 in Istanbul: Book of Proceedings, Ankara 2014, 1327-1336.

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------------------|
| 1. Allgemeiner Teil | übernommen von Testheft Optik ¹⁵⁸ |
| 2. Fragen zur Lichtverschmutzung | Eigenentwicklung |
| 3. Fragen zur Optik | übernommen von Testheft Optik |
| 4. Fragen zu Werten und Normen | Eigenentwicklung |
| 5. Abschlussfragen | übernommen von Testheft Optik |

3.5.1 Allgemeiner Teil

Einleitend wird den Schülern und Schülerinnen gedankt, dass sie den Test ausfüllen und damit die Weiterentwicklung des Unterrichts unterstützen. Weiters werden sie nach ihrem Alter, ihrem Geschlecht ihrer letzten Note in Physik und ob sie mit ihren Eltern neben Deutsch noch eine andere Sprache sprechen, gefragt. Im Anschluss sollen sie noch selbst ihre Begabung für Physik und ihre Leistungen im Unterrichtsfach einschätzen.

3.5.2 Fragen zur Lichtverschmutzung

Dieser Teil der Befragung klärt, inwieweit das Thema Lichtverschmutzung bekannt ist. Zuerst wird den Schülern und Schülerinnen ein Bild vorgelegt, das eine Lichtkuppel über einer Siedlung zeigt.

Dieses Bild wurde in Farbe und in hoher Qualität ausgedruckt, damit man auch wirklich Details erkennen kann. Um Druckkosten zu sparen, wurde es aber nicht auf jedem einzelnen Fragebogen der Schüler und Schülerinnen abgedruckt, sondern auf Kärtchen geklebt und in jeder Klasse zusätzlich zum Fragebogen ausgeteilt und dann wieder eingesammelt.

Die Lernenden sollen zuerst beschreiben, was sie auf dem Bild sehen, was sie dazu meinen und zu welcher Jahres- bzw. Tageszeit das Bild aufgenommen wurde. Im Anschluss werden sie gefragt, woher das Licht kommen könnte.

Um zu erfassen, ob sie eine Vorstellung haben, wie Lichtverschmutzung entsteht, werden sie gefragt, wieso die Wolke und der darunter sichtbare Himmel erleuchtet sind. Als letzte Frage zum ersten Abschnitt wird schließlich erhoben, ob die Schüler und Schülerinnen eine Vorstellung davon haben, dass dieses Licht zu einem Problem werden könnte. Und wenn ja, für wen.

Die ersten beiden Seiten des Pre-Tests werden dann abgesammelt, denn auf der dritten Seite wird verraten, dass es sich um Lichtverschmutzung handelt. Zuerst werden sie gefragt, ob sie schon einmal davon gehört haben. Wenn ja, von wem und wo und sie sollten erklären, was der Begriff bedeutet. Wenn nein, sollten die Lernenden eine Vermutung aufschreiben, was der Begriff bedeuten könnte.

3.5.3 Fragen zur Optik

Zur Erhebung der Vorstellungen der Schüler zu einigen Phänomenen der Optik, die zum Verständnis der physikalischen Entstehung der Lichtverschmutzung notwendig sind, wurden einige Fragen dem Testheft Optik¹⁵⁹ entnommen. Tabelle 7 zeigt im Überblick, auf welche Key Ideas die jeweiligen Fragen abzielen.

| | |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Pappe und Spiegel | (Geradlinige) Ausbreitung des Lichts, Reflexion und Streuung |
| Lagerfeuer | (Geradlinige) Ausbreitung des Lichts |
| Emmas Geburtstag | Sender-Empfänger-Vorstellung |
| Straßenlaterne | Sender-Empfänger-Vorstellung, (Geradlinige) Ausbreitung des Lichts |
| Lasershow | Reflexion und Streuung, Sender-Empfänger-Vorstellung |
| Schattenwurf der Straßenlaterne | Geradlinige Ausbreitung des Lichts |

Tabelle 7: Fragestellungen im Pre-Test zu bestimmten Key Ideas der Optik

3.5.4 Fragen zur Einstellung zum Umweltschutz

Es stellt sich die Frage, wie sehr Schüler und Schülerinnen an Themen des Umweltschutzes interessiert sind. Betrifft es sie im Alltag und wollen sie daher etwas darüber im Unterricht lernen? Dazu werden Aussagen angeboten wie: „Energiesparen soll das oberste Ziel der Menschen sein“ oder „Ich persönlich kann dazu beitragen, die Umweltprobleme auf der Welt zu verringern“ und „Ich möchte im Unterricht mehr über Umweltschutz erfahren.“ Die Lernenden sollen zu jeder Aussage von „Ich stimme gar nicht zu“ bis „Ich stimme sehr zu“ Stellung nehmen. Zuerst wird allerdings erhoben, was sich die Lernenden unter „Umweltschutz“ und „Umweltverschmutzung“ überhaupt vorstellen. Sie sollen die beiden Begriffe erklären und Beispiele dafür nennen.

3.5.5 Abschlussfragen

Zum Schluss werden den Schülern und Schülerinnen noch Fragen zur Verständlichkeit der Fragestellungen, zur Einstellung gegenüber Fragebögen prinzipiell und speziell diesem sowie, ob die Zeit zum Ausfüllen ausgereicht hat, gestellt.

¹⁵⁹ Claudia Haagen-Schützenhöfer / Martin Hopf, Testing students' conceptual understanding in geometrical optics with a two-tier instrument. In Mehmet Fatih Taşar. [Hg.], Proceedings of World Conference of Physics Education 2012 in Istanbul: Book of Proceedings, Ankara 2014, 1327-1336.

3.6 Post-Test

Auch zu Beginn des Testes nach den beiden Unterrichtseinheiten wird wieder der bereits oben beschriebene Code eingetragen, um sie den jeweiligen Pre-Tests zuordnen zu können. Anschließend geben die Schüler und Schülerinnen an, ob sie in beiden Unterrichtsstunden anwesend waren, oder nur in der ersten bzw. nur in der zweiten. In den beiden Einheiten wurden verschiedene Themen behandelt. So können also „Mängel“ beim Ausfüllen des Tests auf das etwaige Fehlen während dieser Einheit zurückgeführt werden. Der ganze Fragebogen ist in Anhang 2 zu finden.

Der Fragebogen umfasst sieben Seiten und wurde in drei Kapitel unterteilt:

- | | |
|----------------------------------|------------------|
| 1. Fragen zur Unterrichtseinheit | Eigenentwicklung |
| 2. Fragen zur Lichtverschmutzung | Eigenentwicklung |
| 3. Fragen zur Optik | übernommen von |

3.6.1 Fragen zur Unterrichtseinheit

Die Lernenden kreuzen an, wie sich ihre Einstellung zur Lichtverschmutzung als Umweltproblem geändert hat und wie ihnen einzelne Teile der Unterrichtsstunden gefallen haben. Sie sollen auch angeben, ob sich für sie im Alltag im Umgang mit Licht etwas geändert hat.

3.6.2 Fragen zur Lichtverschmutzung

In diesem Abschnitt werden ausschließlich offene Fragen gestellt. Es soll erfasst werden, an welche Inhalte der Stunde sich die Lernenden erinnern. Zuerst sollen sie den Begriff „Lichtverschmutzung“ und im Anschluss deren Entstehung und die mit ihr verknüpften Probleme erklären. Die vierte Frage zielt wieder auf eine Veränderung der persönlichen Handlungen im Alltag ab. Die Schüler und Schülerinnen werden gefragt, ob das Thema Lichtverschmutzung noch eine Rolle spielen wird, wenn sie von der Schule nachhause gehen. Diese Antwort ist auch zu begründen.

3.6.3 Fragen zur Optik

Hier werden dieselben Fragen gestellt, die die Lernenden schon aus dem Pre-Test kennen. So kann also ein direkter Vergleich gezogen werden, in welchen Bereichen der Key Ideas zur Optik die Unterrichtseinheiten zu physikalisch richtigeren Vorstellungen geführt haben. Hierbei ist zu erwähnen, dass in den Unterrichtseinheiten keine ähnlichen Beispiele verwendet wurden und die Fragen des Pre-Tests darin auch nicht besprochen wurden.

3.7 Pilotierung des Pre-Tests

3.7.1 Durchführung

Um festzustellen, wie lange die Schüler und Schülerinnen mit dem Test brauchen werden und ob alle Fragen verständlich sind, wurde der Pre-Test im Vorfeld mit einer 5. Klasse AHS durchgeführt. Im Großen und Ganzen hat alles funktioniert wie geplant. Alle Schüler (11) und Schülerinnen (7) sind ohne Zeitnot fertig geworden. Der letzte Schüler gab den Test nach 30 Minuten ab.

3.7.2 Ergebnisse der Pilotierung und Implikationen für die Testgestaltung

Sechs Lernende wussten etwas mit dem Phänomen Lichtverschmutzung anzufangen und konnten es auch erklären, 12 hatten davon noch nichts gehört, wobei ein Schüler den Begriff dennoch richtig interpretierte.

Beim ersten Teil zur Lichtverschmutzung bei Frage *e) Wieso sind die Wolke und der darunter sichtbare Himmel erleuchtet* schrieb nur eine Schülerin eine physikalische Erklärung auf. Alle anderen schrieben z.B. nur „Großstadt“ oder „Sonne“. Hier wurde dann für den Test in den 4. Klassen in Klammer "physikalische Erklärung" ergänzt, damit das Ziel dieser Frage klarer wird.

Beim Optik-Teil (im Test angegebene Aussagen sind von den Lernenden als richtig oder falsch zu kennzeichnen) merkten zwei Schüler an, dass das Wort "Ausbreitungskraft" näher erklärt werden müsste. Dieser Begriff wurde daher in Klammern mit dem physikalischen Fachbegriff "Intensität" ergänzt. Der Begriff Ausbreitungskraft war für die Schüler und Schülerinnen verwirrend. Mit der Einführung des Fachbegriffes Intensität wurde die damit verbundene Aussage richtig, und sie wurde damit auch so gewertet. So konnte nun nicht überprüft werden, ob die Schülervorstellung einer Ausbreitungskraft vorhanden ist, aber sie wurden durch den Begriff im Text nicht lange aufgehalten, da sie nun nicht mehr überlegen mussten, was denn dieser ihnen unbekannte Begriff bedeuten könnte.

Das Beispiel mit der Augenbinde verursachte bei zwei Schülern Probleme, da sie wissen wollten, wie das Tuch beschaffen ist, damit sie die Fragen beantworten können. Da der Begriff "Augenbinde" selbst erklärend sein sollte, und wenn man Worte wie „blickdicht“ oder „undurchsichtig“ hinzufügt, schon zu viel verraten werden würde, wurde der Begriff „Augenbinde“ schon in der Einleitung dazu geschrieben. Von den über 100 danach getesteten Schülern und Schülerinnen merkte dann nur noch einer schriftlich an, dass er wissen müsse, wie

das Tuch beschaffen sei, aber auch einige andere, dass sie grundsätzliche Probleme mit der Fragestellung hätten.

Die Ergebnisse des dritten Teils „Einstellung zum Umweltschutz“ können überblickmäßig so zusammengefasst werden: Schüler und Schülerinnen sehen Umweltschutz als wichtig an und mehr als die Hälfte möchte auch mehr darüber erfahren, wie man die Umwelt schützen kann.

3.8 Auswertungsmethoden

3.8.1 Pre- und Post-Test

Die Auswertung des Pre-Tests erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurden die handschriftlichen Angaben der Schüler und Schülerinnen per Computer erfasst und anschließend die Endergebnisse errechnet.

Die Auswertung erfolgte mit zwei Verfahren: Bei den Fragen mit einer vierstufigen Skala von *1 = trifft gar nicht zu* (bzw. *Ich stimme gar nicht zu*) bis *4 = trifft völlig zu* (bzw. *Ich stimme sehr zu*) wurden die jeweiligen Mittelwerte aller Nennungen gesondert für Mädchen und Buben, sowie deren Summe angegeben.

Waren die Fragen offen gestellt, so wurde die Anzahl der Nennungen gezählt. Somit variiert bei diesen Auswertungen die Gesamtanzahl von Frage zu Frage. Insgesamt nahmen 110 Lernende (49 Buben, 61 Mädchen) am Pre-Test teil. Dass 55,5 % der Untersuchungsteilnehmer und -teilnehmerinnen Mädchen waren, ist bei den letztgenannten Auswertungen zu beachten. Dass bei manchen Fragen mehr Mädchen als Buben einen Begriff genannt haben, ist also nicht unbedingt darauf zurück zu führen, dass dies die Mädchen mehr interessiert oder sie sich dabei besser auskennen. Auf dieses Spezifikum wird später in den betreffenden Fällen näher eingegangen.

Die Ergebnisse der Fragen zur Optik werden erst beim Post-Test angegeben werden. Ziel dieser Fragen ist, festzustellen, in welchen Bereichen der Key Ideas durch die Intervention Verbesserungen erzielt werden konnten. Zur Beantwortung dieser Fragestellung ist also erst der Vergleich mit den Ergebnissen des Post-Tests von Interesse. Nun folgt die Auswertung der Bewertung des Fragebogens durch die Lernenden, wie viel sie über Lichtverschmutzung wissen, was sie sich unter Umweltschutz und Umweltverschmutzung vorstellen, sowie ihre Einstellung zu einigen Themen des Umweltschutzes.

3.8.2 Prozessbeobachtung

Der Ablauf der Unterrichtseinheiten wurde als direkte Prozessbeobachtung dokumentiert. Bei der „teilnehmenden Beobachtung“ wird auf technische Hilfsmittel verzichtet. Für diese Be-

obachtung ist es wichtig, dass die ihren eigenen Unterricht beobachtende Lehrperson eine gewisse Distanz zu den eigenen Handlungen aufbringt und genügend Sensibilität dafür hat, was beobachtet wird. Will man beobachten, so muss man ein an sich unlösbares Dilemma bewältigen: „Realität ist einerseits das, was aus den Begriffen des Beobachters rekonstruiert wird; andererseits hat Realität ihren „eigensinnigen“ Charakter, der den Rekonstruktionsversuchen auch widerstehen kann.“¹⁶⁰ Dieses Dilemma kann durch den „doppelten Blick“ gelöst werden: Man wird sich dabei der eigenen Erwartungen und Annahmen so bewusst, als würde es nur auf sie ankommen. Gleichzeitig ist man so sensibel für die Situation, als wäre sie völlig neuartig.

Beobachtungen können während oder nach der Beobachtung festgehalten werden. Für die erstellte Intervention wurde die zweite Methode gewählt. Hierbei muss zwar damit gerechnet werden, dass einige Details vergessen werden, aber diese Methode ist deutlich praktikabler. Als Vorbereitung werden Beobachtungsschwerpunkte festgelegt, anhand derer die Beobachtung während des Unterrichtes erfolgen soll.¹⁶⁰ In Tabelle 8 sind die Schwerpunkte für die beiden erstellten Unterrichtseinheiten ersichtlich. Die Fragestellungen basieren auf einem Beispiel von Herbert Altrichter und Peter Posch.¹⁶⁰

| Phase der 5 E's und inhaltliche Kurzbezeichnung des Abschnittes | Was würde ich gerne sehen? | Was werde ich voraussichtlich beobachten? | Wie kann die Beobachtung nach der Unterrichtsstunde festgehalten werden? |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Erste Unterrichtseinheit: | | | |
| Engage – Sternbild Orion | <ul style="list-style-type: none"> • Alle SuS arbeiten mit und schreiben ihre Ideen auf ein Blatt Papier. • Die SuS erkennen in den beiden Bildern dasselbe Sternbild und beschreiben die Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf die Sichtbarkeit von Sternen. | <ul style="list-style-type: none"> • Einige SuS nehmen nicht aktiv Teil – nur ein Gruppenmitglied arbeitet. • Das Beschreiben der Bilder fällt den SuS nicht schwer und sie notieren die Zusammenhänge und Unterschiede. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit • unterstützt durch abge-sammelte Notizzettel der SuS |
| Explain – Was ist Lichtverschmutzung? | <ul style="list-style-type: none"> • Viele SuS beteiligen sich mit Wortmeldungen und benennen, was sie auf den Bildern erkennen. | <ul style="list-style-type: none"> • Nur wenige SuS melden sich zu Wort. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit |
| Explore – Versuch Laser | <ul style="list-style-type: none"> • Die Aufmerksamkeit aller SuS ist physisch auf das Experiment gerichtet und sie äußern ihre Eindrücke durch spontane verbale Rückmeldungen. | <ul style="list-style-type: none"> • Der Versuch erregt die Aufmerksamkeit aller SuS. • Wortmeldungen gibt es nur wenige. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit |

¹⁶⁰ Herbert Altrichter / Peter Posch, Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht: Unterrichtsentwicklung und Unterrichtsevaluation durch Aktionsforschung, Bad Heilbrunn 2007, S. 117f. 122.

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Explain – Auswirkungen der Lichtverschmutzung</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Viele SuS beteiligen sich mit Wortmeldungen und berichten von eigenen zum Thema passenden Erfahrungen. | <ul style="list-style-type: none"> • Nur wenige SuS melden sich zu Wort. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit |
| <p>Elaborate – „Ideale Straßenleuchte“</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Die SuS bringen Ideen vor, wie eine Leuchte möglichst wenig Lichtverschmutzung verursacht und beteiligen sich aktiv beim Basteln. | <ul style="list-style-type: none"> • Einige SuS zeigen sich weniger aktiv als andere, doch alle arbeiten mit. • Die Aufgabe verlangt von jedem Mitglied der Kleingruppen, sich wenigstens beim Basteln zu beteiligen. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit • unterstützt durch abge-sammelte Zeichnungen der SuS |
| <p>Explain – Messung „Ideale Straßenleuchte“</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Die SuS vermessen selbständig mit ihren Smartphones die gebastelten Straßenleuchten und notieren die Werte an der Tafel. • Die Werte zeigen eindeutig die Vorteile der Full-Cut-Off Leuchten. | <ul style="list-style-type: none"> • Die Messung mit den Smartphones wird genau nach den Angaben der Lehrperson durchgeführt. • Das Interpretieren der Daten erfolgt nur durch einzelne SuS. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit |
| <p>Zweite Unterrichtseinheit:</p> | | | |
| <p>Engage – Wiederholung mit der ABC-Methode</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Die SuS nennen viele verschiedene Begriffe aus den Inhalten der vorangegangenen Unterrichtseinheit. | <ul style="list-style-type: none"> • Es wird nicht für jeden Begriff ein Wort bzw. eine Wortgruppe gefunden. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit |
| <p>Elaborate & Evaluate – Bearbeitung Beispiele Bewertungskompetenz</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Alle SuS arbeiten an ihren Texten. | <ul style="list-style-type: none"> • Die SuS verfassen den geforderten Text – einige SuS sind sehr schnell fertig, andere brauchen recht lange. • Die SuS kennen diese Art von Aufgaben nicht und damit auch nicht die Anforderungen an einen solchen Text. Manche erfragen diese bei der Lehrperson. • Die meisten SuS wählen das Beispiel „Nutzung eines Hangs in den Ostalpen“. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit • unterstützt durch abge-sammelte Texte der SuS |
| <p>Explain – Verminderung von Lichtverschmutzung</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Die SuS bringen viele Ideen vor, wie man Lichtverschmutzung vermindert. • Die SuS nennen alle bereits in den Unterrichtseinheiten genannten Methoden zur Verminderung der Lichtverschmutzung. | <ul style="list-style-type: none"> • Nicht alle SuS arbeiten aktiv mit. • Es werden alle von der Lehrperson erwarteten Methoden von den SuS genannt. | <ul style="list-style-type: none"> • in Stichworten nach der Unterrichtseinheit |

Tabelle 8: Beobachtungsschwerpunkte für die teilnehmende Beobachtung während der beiden Unterrichtseinheiten

4. Durchführung der Unterrichtseinheiten

Die gesamte Planung, das Untersuchungsdesign, die Ausarbeitung der Unterrichtsstunden und die mit diesen Unterrichtseinheiten verfolgten Ziele wurden bereits ausführlich dargelegt. Im Folgenden werden die Klassen und die Schulumgebung charakterisiert, sowie die Randbedingungen der Testung näher beschrieben. Im Anschluss liegt der Fokus auf den Untersuchungsergebnissen: Aus den Daten des Pre-Tests konnten Rückschlüsse über die Kenntnis des Phänomens und des Begriffes Lichtverschmutzung, sowie auf das Interesse für Umweltschutz gezogen werden. Anhand der schriftlichen und mündlichen Mitarbeit der Schüler und Schülerinnen, sowie meiner Beobachtungen während der Unterrichtseinheiten werde ich auf jede Unterrichtssequenz noch einmal kurz eingehen. Dabei soll nachvollzogen werden, ob die jeweilige Intervention den erwünschten Effekt erzielt hat und in welchen Bereichen Verbesserungen angebracht sind. Anhand der Ergebnisse des Post-Tests können abschließend Aussagen über die Nachhaltigkeit der beiden Unterrichtseinheiten getroffen werden.

4.1 Beschreibung der Stichprobe und des Settings

Die beiden Unterrichtsstunden, sowie der Pre- und Post-Test, wurden in sechs vierten Klassen zweier Gymnasien durchgeführt. Alle Unterrichtsstunden wurden von mir selbst mit genau demselben Material und gleichem Ablauf gehalten, um die Vergleichbarkeit zu garantieren.

Im Bundesgymnasium Waidhofen/Thaya wurden mir alle vier Parallelklassen zur Verfügung gestellt. Ich absolvierte in diesem Schuljahr an dieser Schule das Unterrichtspraktikum, habe dabei aber keine der an der Intervention beteiligten Klassen unterrichtet. Die Schüler und Schülerinnen kannten mich also maximal vom Gangdienst aber nicht als ihre Lehrerin. Durch große Unterstützung seitens der Direktion wurden mir neben den Physikstunden auch Supplierstunden zur Verfügung gestellt, sodass die Unterrichtsstunden samt Testung in kurzem zeitlichem Abstand durchgeführt werden konnten. So konnte außerdem vermieden werden, dass zu viele Stunden vom regulären Physikunterricht in Anspruch genommen werden mussten. Die Klassen 4B und 4D hatten denselben Lehrer, die Klassen 4A und 4C jeweils eine andere Lehrerin. Alle drei Lehrpersonen waren bereits sehr unterrichtserfahren und meiner Einschätzung nach sehr engagierte Pädagogen.

Am Erzbischöflichen Gymnasium Hollabrunn wurden mir zwei Klassen zur Verfügung gestellt. Ihr ebenso engagierter Lehrer unterrichtete bereits, arbeitete aber noch an der Beendigung seines Physikstudiums. In allen sechs Klassen wurde das Kapitel Optik bereits unter-

richtet und abgeschlossen. Lichtverschmutzung wurde dabei weder explizit erwähnt noch erklärt.

| Anzahl der Lernenden | Bundesgymnasium Waidhofen/Thaya | | | | Erzbischöfliches Gymnasium Hollabrunn | | gesamt N= |
|----------------------|---------------------------------|----|----|----|---------------------------------------|----|--------------|
| | 4A | 4B | 4C | 4D | 4A | 4B | |
| insgesamt | 18 | 21 | 18 | 20 | 19 | 18 | 114 |
| Mädchen | 14 | 17 | 02 | 08 | 13 | 08 | 62 |
| Buben | 04 | 04 | 16 | 12 | 06 | 10 | 52 |

Table 9: Anzahl der Lernenden in den jeweiligen Klassen, in denen die beiden Unterrichtseinheiten samt Testung durchgeführt wurden.

Es wurde angestrebt, möglichst wenig Zeit zwischen den Unterrichtseinheiten und den Befragungen verstreichen zu lassen. Doch dies gestaltete sich als sehr schwierig. In Hollabrunn konnte ich immer nur am Donnerstag unterrichten, da ich an den anderen Tagen, an denen die beiden Klassen Physikunterricht hatten, in Waidhofen/Thaya unterrichten musste. Außerdem kam dann noch ein Feiertag dazwischen. In Waidhofen zog es sich dann doch über einige Wochen hin, um in allen Klassen genügend Supplierstunden zu erhalten. Dadurch beanspruchte der Ablauf bei allen Klassen einen ähnlichen Zeitraum (mindestens drei Wochen, maximal innerhalb eines Monats), weshalb die Vergleichbarkeit der Studien gegeben ist (siehe Tabelle 10).

| Klasse | Pre-Test | 1. UE | 2. UE | Post-Test |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 5C - Waidhofen | Mo 12.05.2014 | - | - | - |
| 4A – Waidhofen | Mi 14.05.2014 | Mo 19.05.2014 | Mo 21.05.2014 | Fr 23.05.2014 |
| 4B – Waidhofen | Fr 16.05.2014 | Di 20.05.2014 | Fr 06.06.2014 | Mo 16.06.2014 |
| 4C – Waidhofen | Fr 23.05.2014 | Di 27.05.2014 | Fr 13.06.2014 | Mo 16.06.2014 |
| 4D – Waidhofen | Mi 21.05.2014 | Mo 26.05.2014 | Mi 28.05.2014 | Fr 06.06.2014 |
| 4A – Hollabrunn | Do 15.05.2014 | Do 22.05.2014 | Do 05.06.2014 | Do 12.06.2014 |
| 4B – Hollabrunn | Do 15.05.2014 | Do 22.05.2014 | Do 05.06.2014 | Do 12.06.2014 |

Table 10: Zeitlicher Ablauf der Testungen sowie der Unterrichtseinheiten (UE)

4.2 Erste Unterrichtseinheit

In Kapitel 3.4 wurden bereits die Prinzipien und Konzepte detailliert grundgelegt, auf denen die beiden Unterrichtseinheiten basieren. Der nun folgende Abschnitt beinhaltet eine Schilderung der Schüler- bzw. Unterrichtsbeobachtung. Auf Basis dieser subjektiven Erfahrungen, die ich in der Rolle der Lehrerin und gesammelt habe, soll die Umsetzung der Unterrichtseinheit reflektiert werden. Um Verdoppelungen der Schilderungen zu vermeiden, werden die Beschreibung des Verlaufs und die Analyse nicht getrennt, sondern in diesem Kapitel zusammengefasst. Liegen für einen Unterrichtsabschnitt Schülerartefakte vor, so wird die a) teilnehmende Beobachtung von der b) Analyse der Schülerartefakte getrennt behandelt.

4.2.1 Zwei Abbildungen des Sternbildes Orion - Engage

a) Teilnehmende Beobachtung

Bei der Betrachtung der beiden Bilder beteiligten sich die meisten Schüler und Schülerinnen und brachten viele Ideen vor. Auf die Frage, was zu sehen sei, notierten die meisten Lernenden Sterne, Sonnen, Planeten, Sternenhimmel, Galaxien usw., einmal wurde aber auch ein Schneesturm darin erkannt. Schnell bemerkte zumindest ein Schüler oder eine Schülerin in der Klasse, dass es sich auf beiden Bildern um dasselbe Sternbild handelt. Auf die Frage, welche Hinweise dafür zu sehen sind, fanden aber auch die anderen Schüler und Schülerinnen schnell die hellsten Sterne des Orion.

b) Auswertung der entstandenen Schülerartefakte

Die Unterschiede der Bilder wurden in den meisten Klassen sehr ähnlich beschrieben. Die Schüler und Schülerinnen verfassten ihre Beschreibungen in Zweiergruppen auf einem ausgeteilten Blatt Papier, das die Grundlage für die darauf folgende Diskussion darstellte. Dieses Papier wurde im Anschluss von mir eingesammelt und analysiert. Dabei wurde oft genannt, dass das rechte Bild „trüb“, „nebelig“, „matt“ oder „verblasst“ sei. Es zeige einen „gedämpften Sternenhimmel“. Man sähe das Bild, wie durch eine „milchige Scheibe“. Das linke Bild dagegen zeigt einen „klaren Sternenhimmel“, die Sterne „leuchten sehr hell“, der Sternenhimmel ist „normal“. Zur Klärung der Frage, warum diese Unterschiede bestehen, wurden Antworten aufgeschrieben wie „Das Licht wird durch Nebel abgeschwächt“ oder „Es ist gerade bewölkt“. Manche Antworten führten aber auch schon auf die richtige Spur: „Am rechten Bild ist die Beleuchtung um den Fotoapparat stärker, was die Sterne überdeckt.“ „Das eine ist von einem dunklen Ort, das andere von einem helleren Ort.“ Einige wenige nannten aber auch gleich die Lichtverschmutzung als Ursache. Doch kein Schüler und keine Schülerin konnte erklären, wie Lichtverschmutzung entsteht.

4.2.2 Was ist Lichtverschmutzung?

Dieser Teil ist eher lehrerzentriert, doch die Möglichkeit die vielen Bilder der Powerpoint-Präsentation zu kommentieren, wurde von vielen Schülern und Schülerinnen im Plenumsgespräch wahrgenommen. Besonders die comichafte Abbildung zu den Quellen der Lichtverschmutzung führte zu vielen Wortmeldungen und die Schüler und Schülerinnen der achten Schulstufe erklärten auch, warum dieser und jener Lichtpunkt unnötiges künstliches Licht abstrahlt.

Den Begriff Reflexion konnten wenigstens einige der Lernenden erklären. Mit dem Begriff Streuung gab es da schon mehr Probleme. Wie ich dann erfuhr, wurde Streuung in zwei der sechs Klassen nicht behandelt. Aber auch in diesen Klassen wurde der Begriff dann geklärt und durch das darauffolgende Experiment visualisiert.

4.2.3 Experiment zur Streuung – Explore

Das Streuexperiment mit einem Laser und etwas zerstäubtem Mehl hat in allen Räumen ganz wunderbar funktioniert, egal ob im Physiksaal komplett abgedunkelt, oder in der Klasse, die nur mit Vorhängen nicht ganz so dunkel gemacht werden konnte. In allen Klassen kam es während des Experimentes zu spontanen Äußerungen wie „Ich kann es sehen!“, „Wow!“, „Cool!“ und „Nochmal bitte!“.

4.2.4 Entwurf der „idealen“ Straßenleuchte – Elaborate

a) Teilnehmende Beobachtung

Dieser Teil der Stunde zeichnete sich durch eine besonders hohe Aktivität der Lernenden aus. Mit Fragen wie „Dürfen wir auch Spiegel verwenden?“ wollten die Lernenden weitere Hilfsmittel ins Spiel bringen. Schon während des Bastelns riefen mich einige Gruppen zu sich und wollten wissen, ob ihre Konstruktion gut wäre, oder ob sie noch etwas verändern sollen. Als ich das Zeichen gab, dass nun alle fertig werden sollen, baten mich außerdem in allen Klassen einzelne Schüler oder Schülerinnen um noch etwas mehr Zeit, da sie den Schirm noch auf diese oder jene Weise verbessern wollten. Bei der Gruppengröße von drei bis vier Personen hatte jeder etwas zu tun, da man mehrere Hände zum Kleben und zum Halten benötigt.

b) Auswertung der entstandenen Schülerartefakte

Die Skizzen der Schüler und Schülerinnen wurde im Anschluss abgesammelt und die meisten waren so gestaltet, dass durch sie vor allem der Boden illuminiert wurde und nicht die Wände (siehe einige prototypische Beispiele in Abbildung 30).

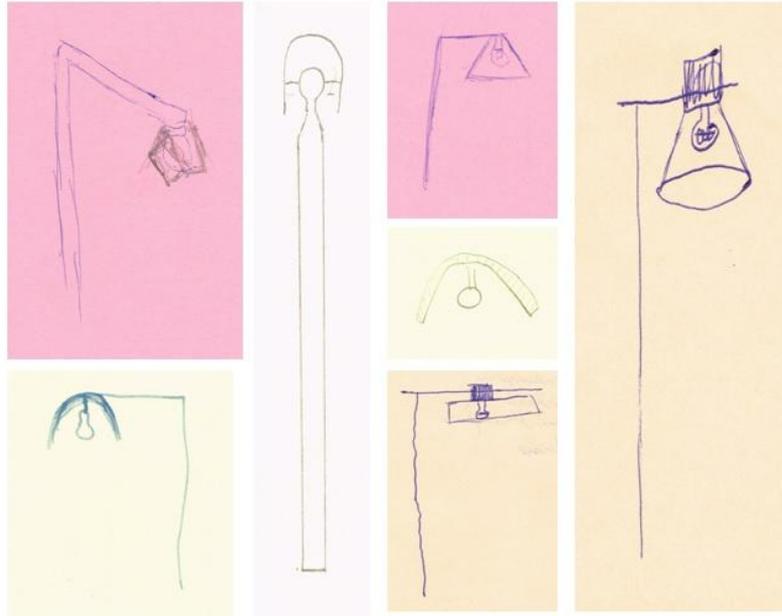


Abbildung 30: Einige der von den Schülern und Schülerinnen entworfenen Straßenleuchten.

4.2.5 Vermessung der „idealen Straßenleuchte“ – Explain

Auf etwa einem Drittel der Smartphones funktionierte das Luxmeter nicht. Entweder war kein Umgebungslichtsensor eingebaut, der Sensor war kaputt oder er war zu unempfindlich. Doch sieben funktionierende Messgeräte waren in allen Klassen schnell gefunden und es meldeten sich auch immer genügend Lernende freiwillig als messende Person zu fungieren. Nach der ersten Messung haben die Lernenden das Prinzip sehr schnell verstanden und das Weitergeben der Boden- bzw. Seitenwerte in der richtigen Reihenfolge zur Errechnung der Mittelwerte funktioniert dann schon ziemlich flott. Zur Interpretation der Werte auf der Tafel sind die beiden Schlüsselgedanken dann immer sehr schnell gefunden und so kann anhand der Daten die „ideale Straßenleuchte“ ermittelt werden. Mindestens eine Full-Cut-Off Leuchte war immer dabei!

In den ersten beiden Klassen konnte die Messung nicht mehr in der ersten Unterrichtseinheit durchgeführt werden, da die Stunde etwas verkürzt wurde: In der ersten Klasse funktionierte die Präsentation anfangs nicht und musste erst in ein .pdf umformatiert werden. Die zweite Klasse musste erst in den Physiksaal gebracht werden, was etwa fünf Minuten dauerte. Die Messung musste also am Anfang der nächsten Stunde durchgeführt werden. Diese wurde dann aber jeweils pünktlich begonnen und so konnte auch die zweite Unterrichtseinheit noch problemlos wie geplant durchgeführt werden.

4.3 Zweite Unterrichtseinheit

4.3.1 Gemeinsame Wiederholung der Inhalte der letzten Stunde – Engage

Mit etwas Kreativität gelang es in fast allen Klassen zu allen Buchstaben des Alphabetes einen Begriff oder eine Wortgruppe zu finden, die zum Thema Lichtverschmutzung passt. So wurde dann zum Beispiel auch „Xaver sollte nicht so viel Licht machen“ vorgebracht und das ganze Alphabet geschafft.

4.3.2 Anwendung von Bewertungskompetenz – Elaborate & Evaluate

In diesem Abschnitt wurden den Schülern und Schülerinnen zwei Beispielszenarien vorgestellt, von denen sie sich dann eines zur Bearbeitung aussuchen konnten. Im ersten Beispiel, „Nutzung eines Hangs in den Ostalpen“, sollten sie als Bürgermeister oder Bürgermeisterin einer Stadt darüber entscheiden, wie sie den Hang nutzen möchten und genau erklären, wie sie zu ihrer Entscheidung gekommen sind. Im zweiten Beispiel, „Neue Hofbeleuchtung“, sollten die Lernenden einen Lampentyp für eine neue Hofbeleuchtung aussuchen und ihre Entscheidung begründen. Es standen jeweils mehrere Möglichkeiten zur Auswahl, wobei jeweils auch Argumente angeführt wurden, die für oder gegen eine Option sprachen. Der von den Lernenden verfasste Text wurde nach der Besprechung im Plenum zur Auswertung abgesammelt.

a) Teilnehmende Beobachtung

In fünf von sechs Klassen war das Beispiel „Nutzung eines Hangs in den Ostalpen“ weitaus beliebter als die „Neue Hofbeleuchtung“. Nur in einer Klasse zeigte sich ein umgekehrtes Bild: nur ein Schüler entschied sich für das erstgenannte Beispiel der Rest für das zweite.

Als ich in den ersten beiden Klassen feststellte, dass die meisten sich für den Hang entschieden hatten, habe ich in der dritten und vierten Klasse beschlossen, die beiden Beispiele in umgekehrter Reihenfolge zu erklären. Ich hatte nämlich die Vermutung, dass sich die Schüler und Schülerinnen vielleicht eher für das Hang Beispiel entschieden haben, weil ihnen dieses als erstes vorgestellt wurde. Doch es zeigte sich auch hier wieder das gleiche Muster.

Einige Lernende fragten nach einigen Minuten, ob es schon genug sei, was sie bisher geschrieben hatten. Als Antwort galt hier immer: „Wenn du meinst, dass du deine Entscheidung ausreichend begründet hast, dann bist du fertig. Du musst damit zufrieden sein.“ Dies wurde dann immer auch für die ganze Klasse laut wiederholt.

b) Auswertung der entstandenen Schülerartefakte

Wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, basiert dieser Abschnitt der Unterrichtseinheit auf dem Göttinger Modell der Bewertungskompetenz. Auch die Auswertung orientiert sich an den vier erreichbaren Kompetenzniveaus dieses Konzepts. Jeder von den Jugendlichen verfasste Text wurde auf die jeweiligen in 2.2.2.2 erläuterten Kriterien hin untersucht und danach kategorisiert. Bei der Beurteilung der Bewertungskompetenz ist zu beachten, dass die Zuteilung zu den Kompetenzniveaus subjektiv geschieht. Trotz dieser Schwäche kann man einen gewissen Einblick gewinnen, ob die Lernenden eher gut oder nur ansatzweise in der Lage sind, Bewertungskompetenz anzuwenden. Zu den Untersuchungsvoraussetzungen gehört auch, dass den Schülern und Schülerinnen gesagt wurde, dass sie ihren Text so schreiben sollen, dass sie damit zufrieden sind und meinen, eine gute Argumentation verfasst zu haben. Sie wurden also nicht dazu ermutigt, besonders ausführlich zu argumentieren. Somit kann ein Blick darauf geworfen werden, welche Stufe der Bewertungskompetenz die Lernenden als gute Argumentation empfinden.

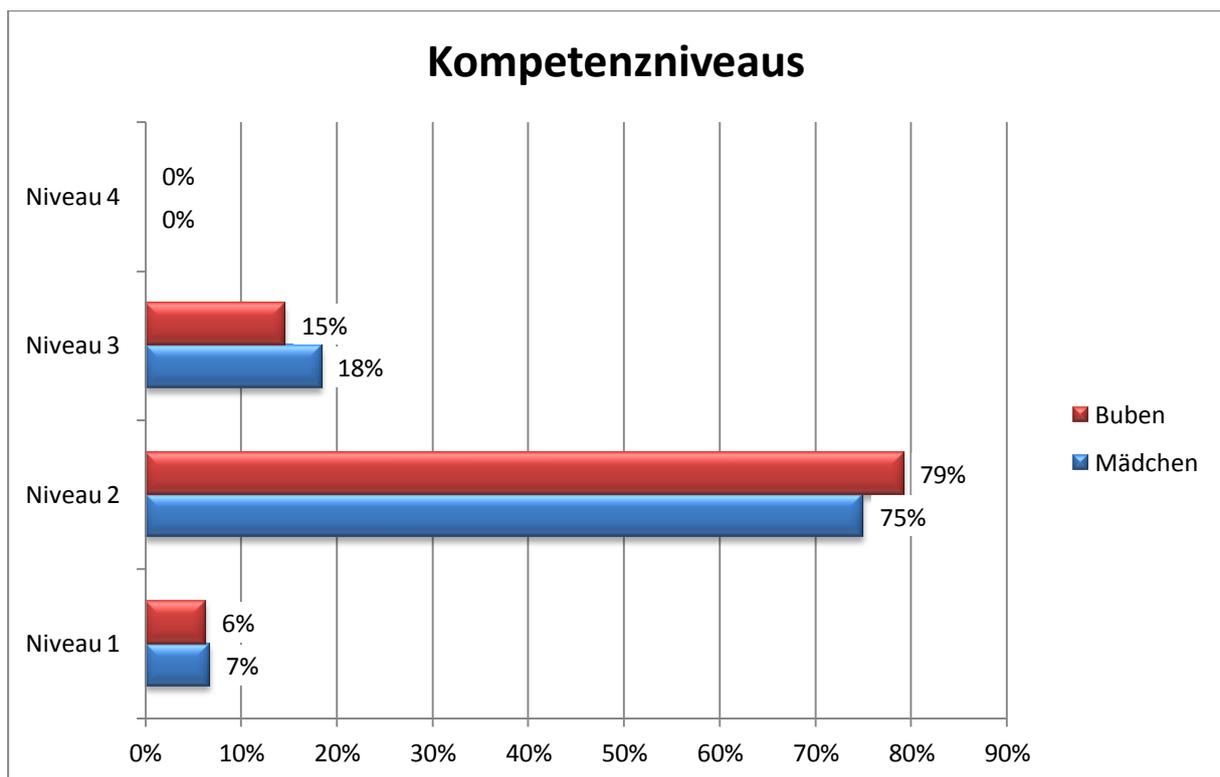


Abbildung 31: Einteilung der Schülertexte in die Kompetenzniveaus der Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und reflektieren“

Deutlich zeigt sich, dass die meisten Schüler ihre Entscheidungen auf *Niveau 2* treffen. Das bedeutet, sie bringen mindestens zwei relevante Kriterien vor, vergleichen die gegebenen Op-

tionen teilweise und dokumentieren ihre Entscheidungsprozesse unvollständig. Sie entscheiden vor allem non-kompensatorisch.

Beispiel Niveau 2:

Ich finde die Errichtung eines Lichtschutzgebietes würde dem Dorf am meisten helfen. Tiere und Pflanzen werden geschützt und daher gibt diese Investition einen positiven Einfluss auf die Umwelt. Außerdem sind die Kosten gering und die Gemeinde braucht keine Unterstützung vom Staat. Touristen wird diese Attraktion ebenfalls anlocken, da ein solches Lichtschutzgebiet einzigartig ist. Der Schutz von Tieren und Pflanzen ist ein weiteres Argument für die Errichtung. (→ Die gegebenen Optionen wurden nur teilweise verglichen.)

Niveau 3 verlangt, dass sich die Schüler und Schülerinnen zentrale normative Entscheidungen im Bewertungsprozess reflektieren. Das hat jedoch kein einziger Jugendlicher gemacht. Da allerdings in der Argumentation zwischen Niveau 2 und Niveau 3 große Unterschiede gibt, wurde hier eine Zuordnung anhand der anderen Kriterien getroffen. Mit dieser eingeschränkten Definition befindet sich weniger als ein Fünftel auf *Niveau 3*, bewertet und entscheidet damit unter Berücksichtigung von mindestens drei relevanten Kriterien, vergleicht die Optionen vollständig und entscheidet auch kompensatorisch.

Beispiel Niveau 3:

LED warm-weiß

Begründung: Sie ist nicht gesundheitsschädlich, man erkennt die Farben gut (nicht so gut, aber das ist auch nicht so wichtig) und die Effizienz ist hoch.

Weil die anderen Lampen zwar vielleicht eine bessere Effizienz bieten, dafür aber gesundheitsschädlich sind oder man die Farben schlecht erkennt, finde ich, ist die LED warm-weiß am besten.

Außerdem werden Insekten von dem Licht nicht so angezogen und daher muss man sie vielleicht auch nicht so oft putzen, da nicht so viele tote Tiere drauf sind.

Kein Lernender und keine Lernende erreichten *Niveau 4* (Wie *Niveau 3*, doch es wird vor allem kompensatorisch entschieden und die Grenzen in der Anwendung von Entscheidungsstrategien werden erkannt.), einige wenige verbleiben auf *Niveau 1* (Die Bewertung und Entscheidung erfolgt intuitiv bzw. rechtfertigend und ohne Anwendung einer Entscheidungsstrategie. Die Auswahl der Optionen basiert auf Basis von Alltagsvorstellungen und/oder es wird maximal ein Kriterium berücksichtigt).

Beispiel Niveau 1:

Errichtung einer Skipiste: Es gibt viele Touristen, die viel Geld in die Gegend bringen.

Es zeigt sich also, dass die meisten Lernenden der untersuchten 4. Klassen auf einem eher niedrigen Kompetenzniveau argumentieren. Die meisten kommen zu ihrer Bewertung, indem

sie zwar viele Kriterien vorbringen, warum sie genau diese Option gewählt haben, die anderen Optionen bleiben allerdings weitgehend unbehandelt. Bei allen fehlten jeweils die klare Reflexion normativer Entscheidungen im Bewertungsprozess und das Erkennen der Grenzen in der Anwendung von Entscheidungsstrategien (Niveau 4).

4.3.3 Was tun gegen Lichtverschmutzung? – Explain

Das nun am Ende der Stunde gestaltete MindMap fasst Inhalte der letzten Stunde zusammen, es enthält aber auch neue. Alle der auf der Skizze (Abbildung 29, Seite 86) enthaltenen Punkte wurden von den Schülern und Schülerinnen mindestens einmal in den sechs Klassen genannt, ohne dass ich einen Hinweis darauf gab. Prinzipiell mussten immer nur sehr wenige Begriffe noch von mir selbst genannt werden.

5. Evaluation

5.1 Ergebnisse des Pre-Tests

110 Lernende (49 männlich, 61 weiblich) aus sechs vierten Klassen (AHS) füllten vor der Intervention einen Fragebogen aus, in dem Fragen zum Thema Lichtverschmutzung und zur persönlichen Einstellung zum Umweltschutz gestellt wurden. Ein Abschnitt, der beim Post-Test in der gleichen Form noch einmal ausgefüllt werden musste, überprüfte Key Ideas zur Optik. Die Ergebnisse dieses Teils werden im nächsten Kapitel 5.2 im Vergleich der Ergebnisse beider Tests angeführt.

5.1.1 Bewertung des Fragebogens

Am Ende des Fragebogens wurden die Schüler und Schülerinnen gebeten, den Fragebogen zu bewerten. Diese Einschätzung der Lernenden soll aber an den Anfang dieser Auswertung gestellt werden, um gleich zu zeigen, wie sie mit den danach folgenden Aufgaben klar gekommen sind.

Die Schüler und Schülerinnen des Pre-Pre-Tests in der 5. Klasse wurden nach maximal 30 Minuten mit dem Test fertig. In den 4. Klassen wurden von einigen Lernenden aber auch manchmal 40 Minuten in Anspruch genommen. Es gab dennoch keine Zeitprobleme bei der Durchführung der Intervention und es konnte noch die Luxmeter-App vorgestellt und von manchen schon herunter geladen und ausprobiert werden. Dies bestätigen auch die Angaben der Schüler und Schülerinnen (siehe Abbildung 32), von denen fast alle „trifft völlig zu“ bei der Frage ankreuzten, ob sie genug Zeit zum Ausfüllen gehabt hätten.

Die meisten Lernenden haben sich auch sehr bemüht, den Fragebogen auszufüllen, wobei sich die Mädchen nach den eigenen Angaben etwas mehr bemühten ($\bar{x} = 3,66$; $\sigma = 0,54$) als die Buben ($\bar{x} = 3,55$; $\sigma = 0,54$). Die befragten Schülerinnen ($\bar{x} = 2,68$; $\sigma = 1,07$) füllen Fragebögen auch allgemein lieber aus Schüler ($\bar{x} = 2,60$; $\sigma = 0,95$). Die jeweiligen Zahlenwerte liegen jedoch sehr eng bei einander. Es ergibt sich also kein deutlicher Unterschied zwischen Mädchen und Buben. Die Verständlichkeit der Wörter und Sätze wurde im deutlich positiven Bereich bewertet, wobei gerade bei dem Beispiel „Emmas Geburtstag“ auch handschriftliche Bemerkungen dazu geschrieben wurden, dass dieses Beispiel unklar formuliert sei und man deshalb keine eindeutige Antwort schreiben könne.

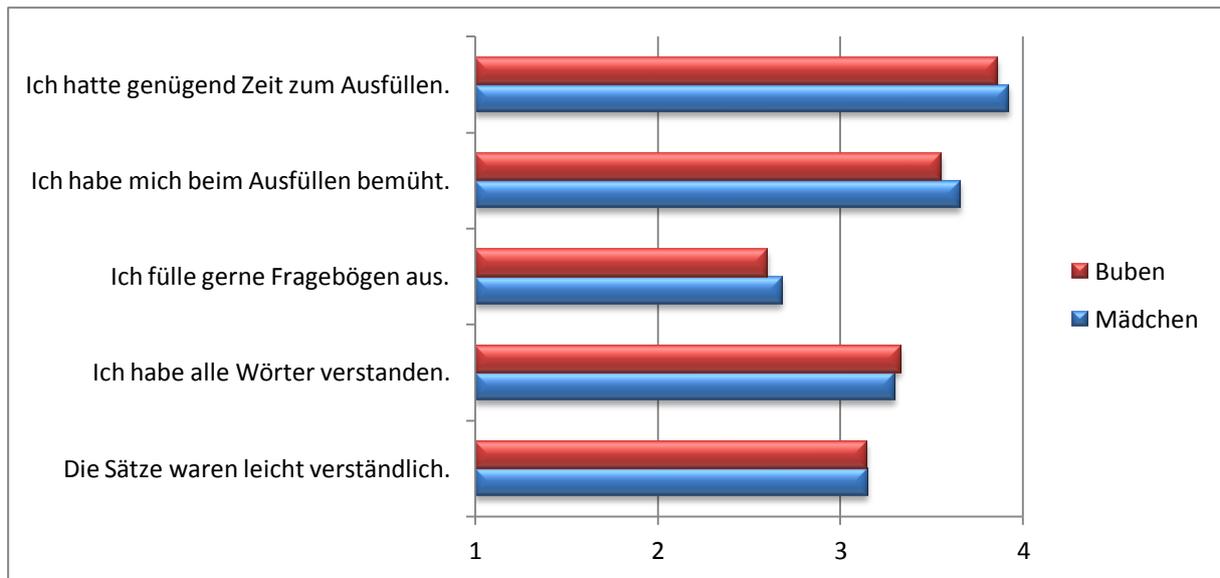


Abbildung 32: Errechnete Mittelwerte aus den Bewertungen des Pre-Tests durch die Schüler und Schülerinnen (1 = trifft gar nicht zu, 2 = trifft eher nicht zu, 3 = trifft eher zu, 4 = trifft völlig zu),

5.1.2 Lichtverschmutzung

Im ersten Abschnitt des Fragebogens sollte festgestellt werden, ob die Schüler und Schülerinnen das Phänomen Lichtverschmutzung kennen. Dazu sollten sie ein Foto analysieren, das die Lichtglocke über einer Stadt zeigt. Es handelte sich dabei um offene Fragestellungen, wobei die jeweiligen Antworten einzeln gezählt wurden, wodurch bei allen Fragen die Anzahl der Nennungen deutlich höher ist als die Anzahl der befragten Personen (N=110). Von Abbildung 33 bis Abbildung 38 ist das Ergebnis dieser Untersuchung zu sehen.

Abbildung 33 zeigt die Antworten der Lernenden, was sie auf dem Bild sehen. Die meisten Schüler und Schülerinnen (76) erkannten darauf einen Sonnenauf- bzw. -untergang. Des Weiteren beschrieben sie den Stern- bzw. Nachthimmel (42) und die Wolken (33). Immerhin 27 Schüler und Schülerinnen fiel auch die Stadt am Sockel der Hügel auf. Die Hügel wurden wiederum von 21 Lernenden genannt. 19 erwähnten auch das Nordlicht, gefolgt von einer Sonnenfinsternis (6), dem Himmel allgemein (4) und dem Mond (3).

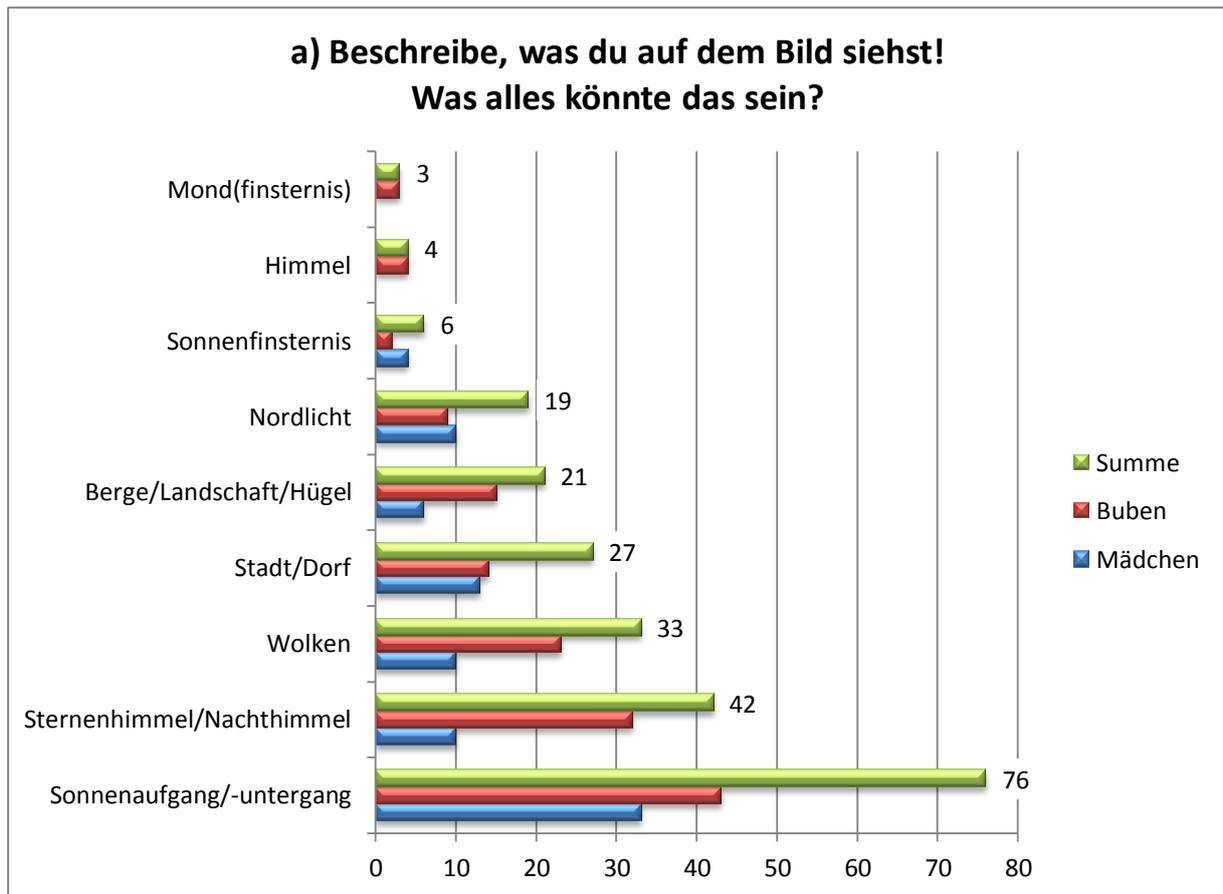


Abbildung 33: Auswertung der Frage: *Beschreibe, was du auf dem Bild siehst! Was alles könnte das sein?* (insgesamt 231 Nennungen)

Frage b) (Abbildung 34) fragt nach der Jahreszeit, zu der das Bild aufgenommen wurde. Mit 52 Nennungen meinten die meisten Schüler und Schülerinnen, das Foto wurde im Sommer aufgenommen. Etwa ein Drittel weniger tippte auf den Winter, gefolgt von Frühling und Herbst.

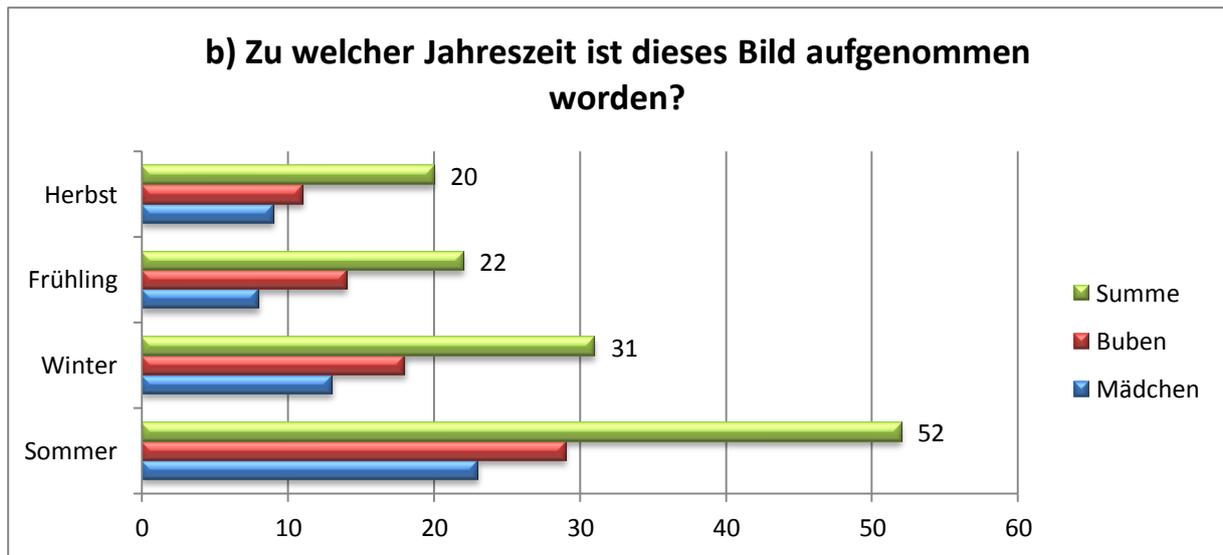


Abbildung 34: Auswertung der Frage: Zu welcher Jahreszeit ist dieses Bild aufgenommen worden? (insgesamt 125 Nennungen)

Auf die Frage nach der Tageszeit, zu der das Foto aufgenommen wurde (Abbildung 35), antworteten 54 Lernende mit Abend, 36 mit morgens und 32 mit nachts. Nur ein Schüler tippte auf den Nachmittag. Fast alle Schüler und Schülerinnen erkannten also, dass dieses Bild entweder im Dunklen oder Halbdunklen fotografiert wurde. Die Schüler und Schülerinnen erkannten zwar, dass es sich um Licht in der Nacht handelt, doch als Quelle wurde sehr übereinstimmend von 94 % aller Teilnehmer und Teilnehmerinnen am Fragebogen die Sonne genannt (Abbildung 36). Nur 13 Personen erkannten die Stadt als Quelle des Lichts und ein Schüler von den 110 Lernenden nannte sogar den Fachbegriff „Lichtverschmutzung“ als Verursacher der Aufhellung des Himmels. Der Rest nannte das Nordlicht, den Mond, ein Feuer und Autos als Quelle des Lichts.

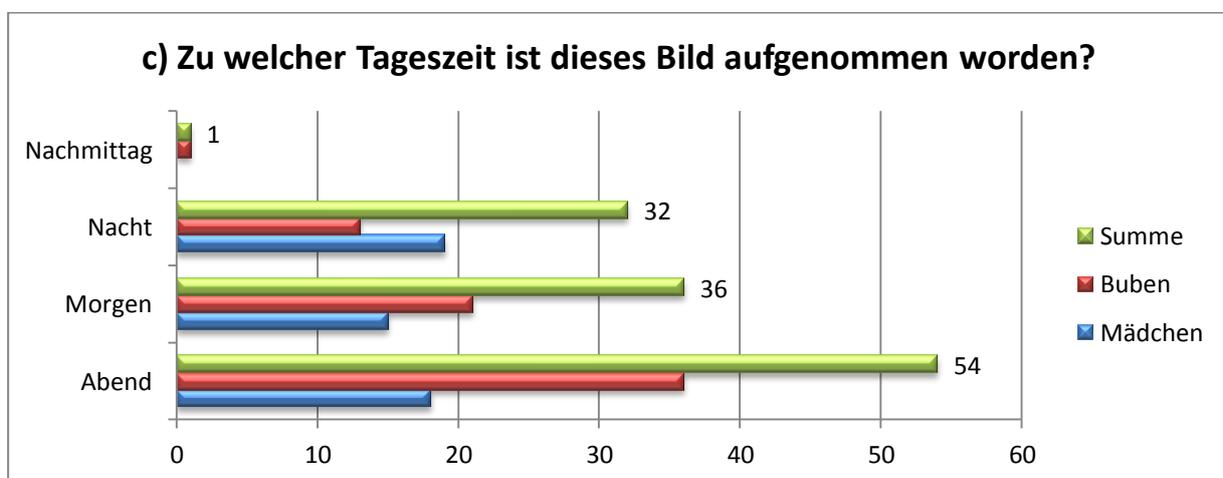


Abbildung 35: Auswertung der Frage: Zu welcher Tageszeit ist dieses Bild aufgenommen worden? (insgesamt 123 Nennungen)

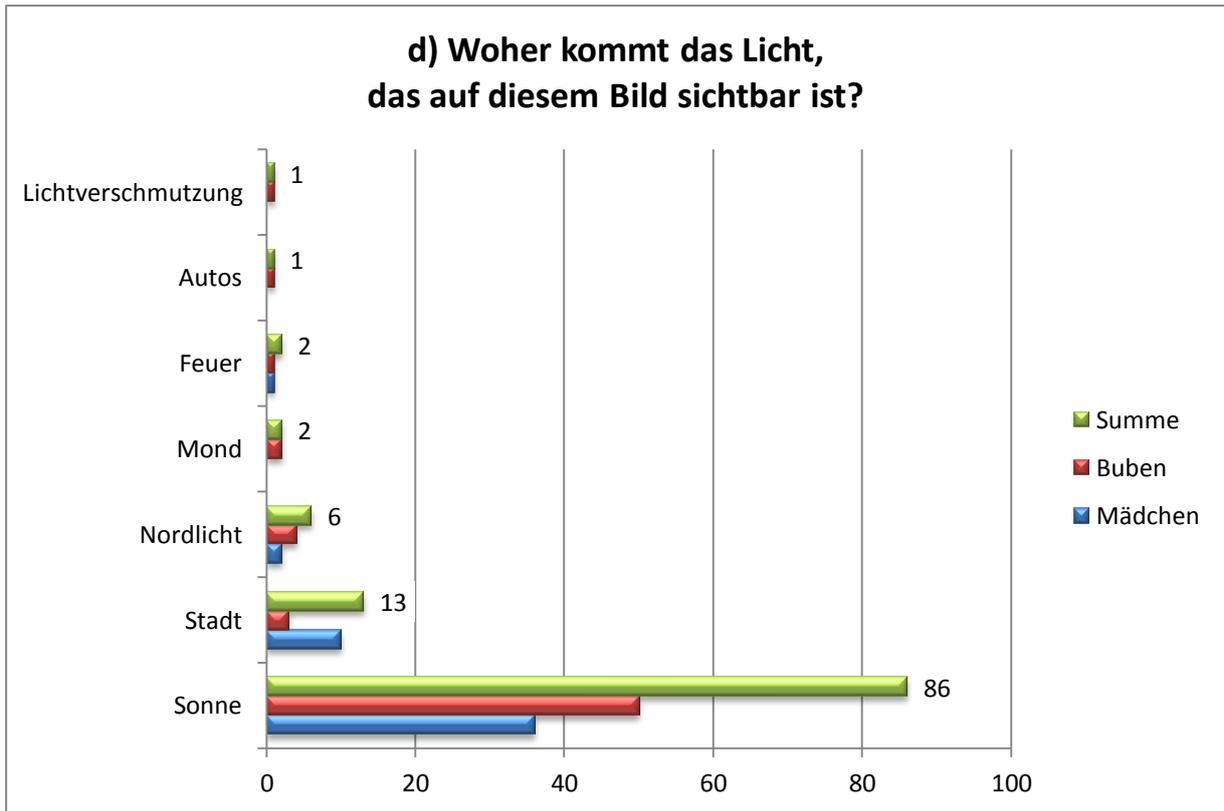


Abbildung 36: Auswertung der Frage: Woher kommt das Licht, das auf diesem Bild sichtbar ist? (insgesamt 111 Nennungen)

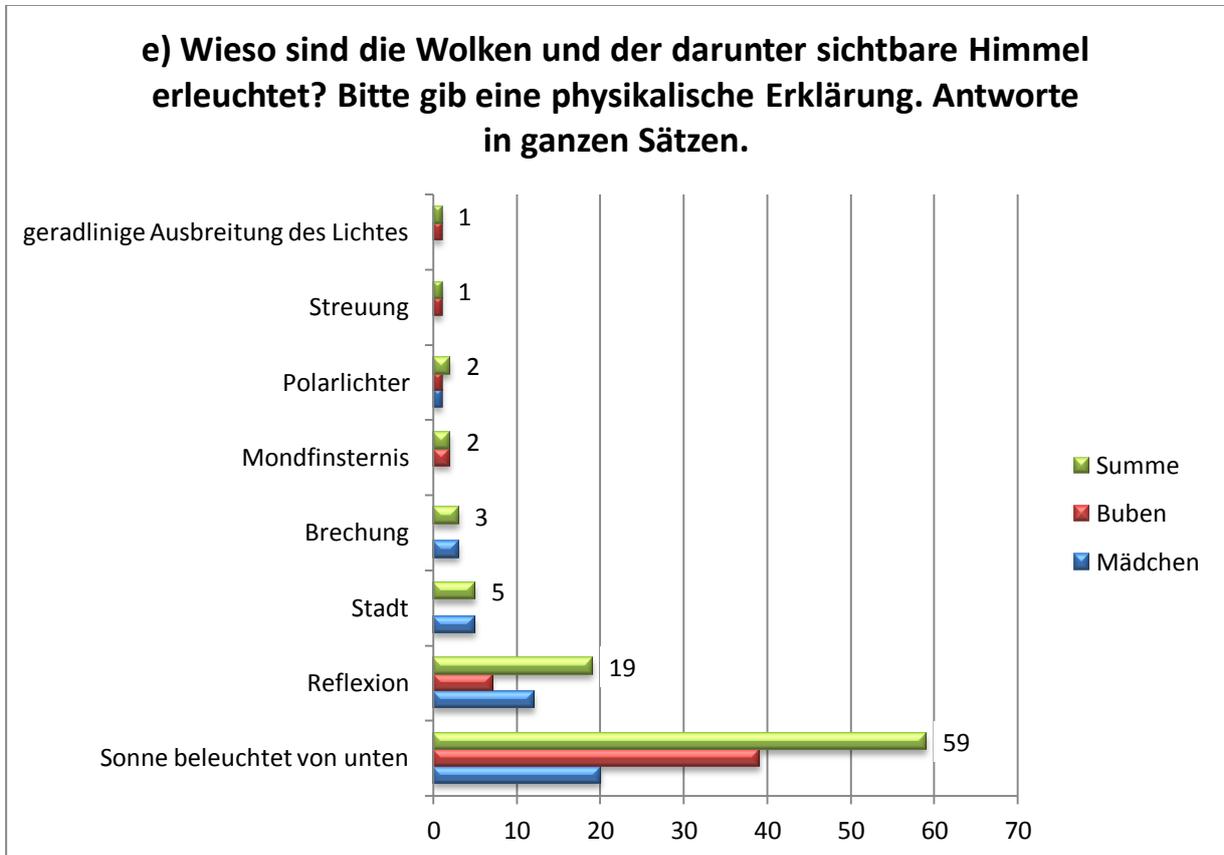


Abbildung 37: Auswertung der Frage: Wieso sind die Wolken und der darunter sichtbare Himmel erleuchtet? (insgesamt 92 Nennungen)

Mit der geforderten physikalischen Erklärung für die Erleuchtung der Wolken und des darunter sichtbaren Himmels hatten viele Schüler und Schülerinnen Probleme (Abbildung 37). Die meisten (59) nannten nochmals die Sonne als Quelle des Lichts, die die Wolken von unten anstrahlt. Als physikalische Erklärung dafür, dass wir dies auch sehen können, wurde 19 Mal die Reflexion genannt, dreimal Brechung, einmal Streuung und einmal die geradlinige Ausbreitung des Lichts. Die restlichen Nennungen bezogen sich wieder nur auf die Quelle des Lichts (Stadt (5), Mondfinsternis (2) und Polarlichter (2)).

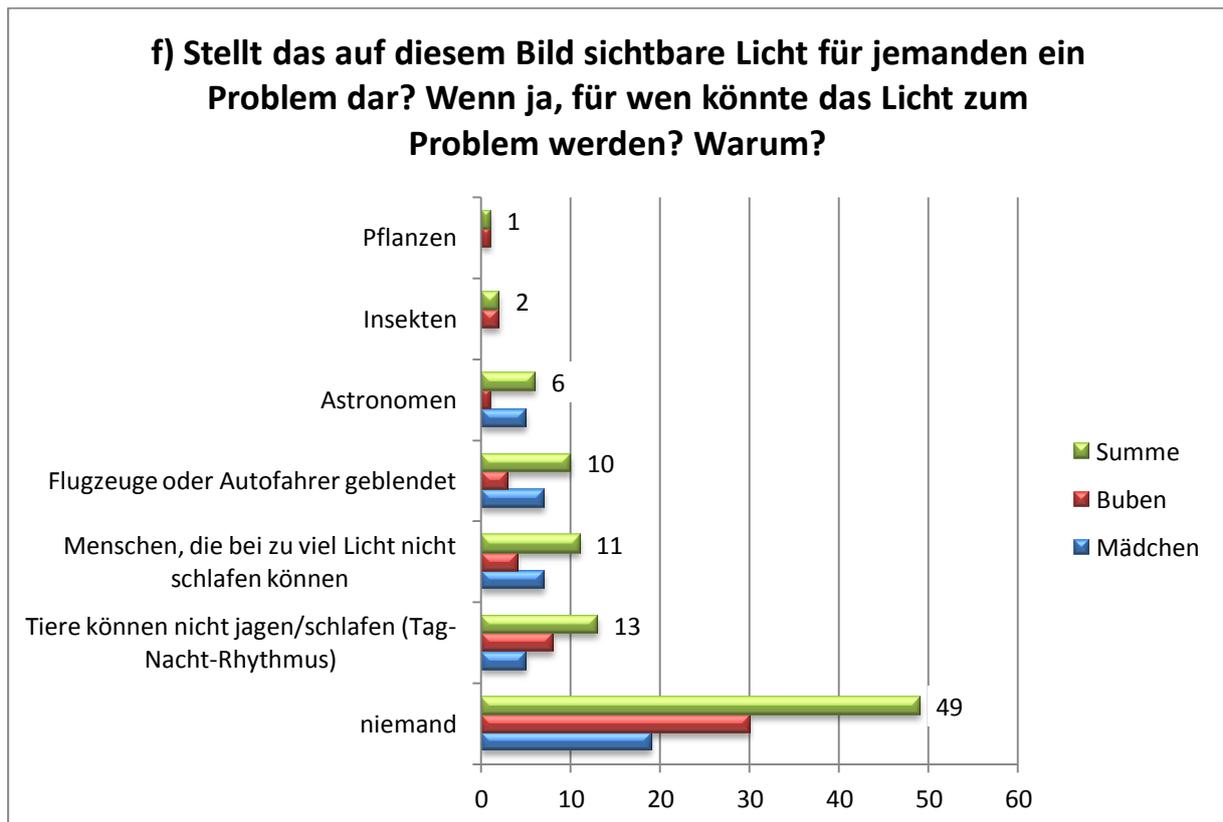


Abbildung 38: Auswertung der Frage: Stellt das auf dem Bild sichtbare Licht für jemanden ein Problem dar? (insgesamt 102 Nennungen)

Auf die Frage nach der Problematik der nächtlichen Aufhellung des Nachthimmels (Abbildung 38) antwortete rund die Hälfte aller Schüler und Schülerinnen, die zu diesem Punkt etwas notierten, dass niemand von dem Licht gestört wird. Die meisten dachten aber, dass es sich um die unter- oder aufgehende Sonne handelt, welche ja keine Störung darstellt. Dieser Zusammenhang ist in Tabelle 11 prozentuell dargestellt.

| Mädchen | Niemand wird von dem Licht gestört. | Das Licht stört Menschen, Tiere oder Pflanzen |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Quelle des Lichts auf dem Bild ist die Sonne . | 75,0% | 25,0% |
| Quelle des Lichts auf dem Bild sind künstliche Lichtquellen . | 20,0% | 80,0% |

| Buben | Niemand wird von dem Licht gestört. | Das Licht stört Menschen, Tiere oder Pflanzen |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Quelle des Lichts auf dem Bild ist die Sonne . | 86,0% | 14,0% |
| Quelle des Lichts auf dem Bild sind künstliche Lichtquellen . | 16,7% | 83,3% |

Tabella 11: Zusammenhang zwischen der Bestimmung der Lichtquelle und den daraus resultierenden Problemen.

Einige Male wurden auch Sätze wie „Warum sollte die Sonne jemanden stören?“ dazu geschrieben. 13 Lernende vermuteten dennoch ein Problem für Tiere, 11 für Menschen, die nicht schlafen können und 20 das Problem der Blendung durch zu viel Licht. Sechs Schüler und Schülerinnen erkannten, dass Astronomen so die Sterne nicht beobachten können, zwei nannten Insekten und einer Pflanzen.

Auffällig ist, dass von den Mädchen im Durchschnitt in diesem Abschnitt etwas mehr Nennungen abgegeben wurden ($\bar{x} = 7,46$; $\sigma = 1,85$) als von den Burschen ($\bar{x} = 6,63$; $\sigma = 1,59$). Zusammengefasst erkannte in dem Bild nur ein Schüler „Lichtverschmutzung“ als das Problem. 14 % der Schüler und Schülerinnen nannte die Stadt als Quelle des Lichts und somit das Phänomen. Wie der nächste Abschnitt zeigen wird, konnten aber nicht alle dieser Lernenden das erkannte Ereignis mit dem Begriff in Verbindung bringen. Zu betonen ist hierbei, dass der erste Teil des Tests abgesammelt wurde, bevor der zweite Teil ausgeteilt wurde. Die Schüler und Schülerinnen konnten also nicht zurückblättern und an ihren Antworten noch etwas verändern.

Im zweiten Teil zur Lichtverschmutzung wurden die Schüler und Schülerinnen gefragt, ob sie den Begriff „Lichtverschmutzung“ kennen. Zehn Schüler (4 Buben, 6 Mädchen) gaben an, den Begriff bereits gehört zu haben. Fünf von ihnen konnten den Begriff auch richtig erklären (z.B. „Wenn die Lichter der Städte und co das Licht der Sterne „überstrahlen“ und diese nicht zu sehen sind.“ oder „Lichtverschmutzung = „zu viele“ künstliche Lichtquellen, z.B. nachts über einer Großstadt.“) Die anderen fünf ordneten ihn einem anderen Kontext zu: zwei der Luftverschmutzung, einer der „Veränderung“ des Lichts, zwei gaben keine Erklärung ab. Die restlichen 100 Schüler und Schülerinnen hatten den Begriff noch nie gehört, drei Buben aus

dieser Gruppe haben aber dennoch den richtigen Zusammenhang beschrieben (siehe Abbildung 39).

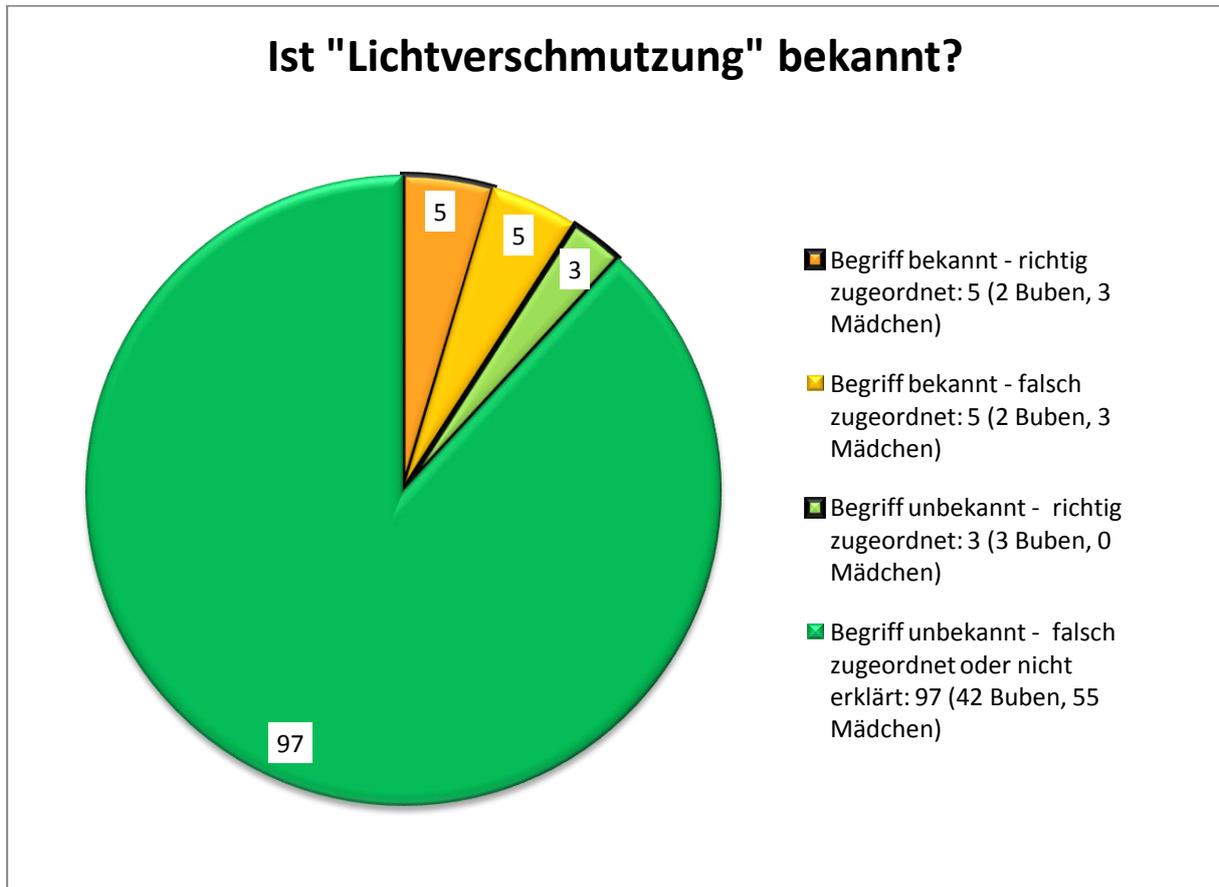


Abbildung 39: Kennen Lernende der 8. Schulstufe den Begriff „Lichtverschmutzung“? (N=110)

Die in Anhang 7 gezeigte Aufstellung der Erklärungsversuche der Lernenden zeigt die Schwierigkeit mit dem Begriff Lichtverschmutzung. Hierbei gab es keine Doppelnennungen. Pro Schüler oder Schülerin gibt es also genau einen Erklärungsversuch. 74 Lernende schrieben auf, was Lichtverschmutzung bedeuten könnte, die restlichen ließen das Feld leer. 29 brachten ihn in Zusammenhang mit Luftverschmutzung, 16 mit einer „Veränderung“ des Lichts, zehn mit Objekten und Teilchen, sieben mit Farben, sechs haben einfach nur das Wort Lichtverschmutzung zerlegt und in einen Satz verpackt, drei dachten an die Ozonschicht und nochmal drei an einen Zusammenhang mit Gefahr.

Zusammengefasst haben fünf von 110 Schülern und Schülerinnen den Begriff Lichtverschmutzung schon einmal gehört und konnten ihn auch richtig erklären. Drei weitere, die den Begriff noch nicht kannten, haben dennoch den richtigen Kontext erkannt. Das bedeutet, dass nur 8,8 % der Schüler und Schülerinnen einen Zusammenhang zwischen dem Begriff Lichtverschmutzung und dessen Bedeutung herstellen konnten.

5.1.3 Umweltschutz und Umweltverschmutzung

Bei der Frage nach der Bedeutung der Begriffe Umweltschutz und Umweltverschmutzung zeigte sich, dass die Schüler und Schülerinnen kaum Begriffsdefinitionen für diese beiden Fachworte formulierten, sondern auch zu dieser Frage schon Beispiele nannten. Um Verdopplungen zu vermeiden und zu erfassen, was der einzelne Schüler/die einzelne Schülerin unter Umweltschutz versteht, wurde dieser Abschnitt als Ganzes ausgewertet. Für jeden Lernenden/jede Lernende wurde erfasst, welche Themen er oder sie angesprochen hat. Wurde also als Beispiel für Umweltschutz z.B. der Verzicht auf das Autofahren genannt und als Beispiel für Umweltverschmutzung die Abgase von Autos, dann wurde dies für diesen Schüler/diese Schülerin nur einmal erfasst, nämlich unter der Bezeichnung „Abgase von Autos“ in der Sparte Luftverschmutzung (Abbildung 41). So kann gezeigt werden, wie viele Lernende Abgase von Autos als „Umwelthema“ ansehen.

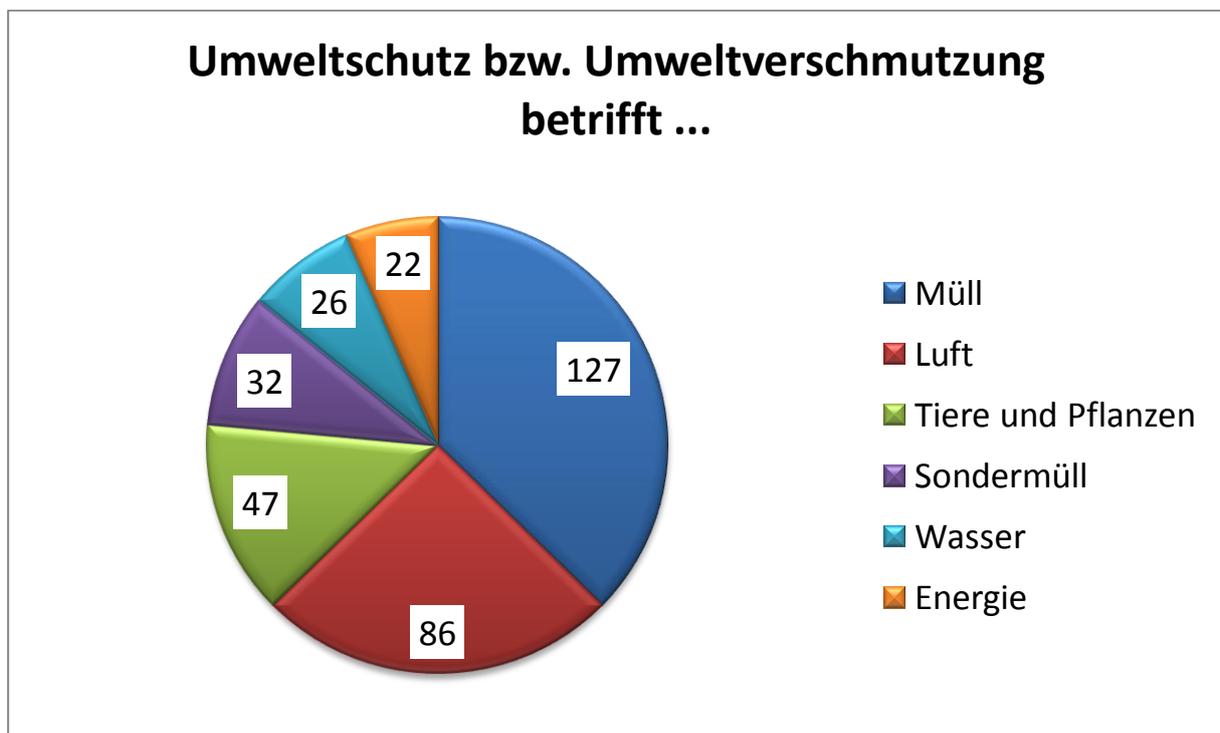


Abbildung 40: Von den Schülern und Schülerinnen genannte Themenbereiche zu Umweltschutz und Umweltverschmutzung (Anzahl der Nennungen, N=110)

Wie in Abbildung 40 ersichtlich, verbindet etwas mehr als ein Drittel der Lernenden mit Umweltschutz und Umweltverschmutzung vor allem den Bereich Müll. Ein Viertel nannte eine Verschmutzung der Luft, der Rest die negative Beeinflussung von Tieren und Pflanzen, Sondermüll, die Verschmutzung von Wasser und die kleinste Gruppe nannte einen Zusammenhang mit Energie. Welche Aussagen die Lernenden im Detail dazu getroffen haben, zeigt Abbildung 41.

Umweltschutz bzw. Umweltverschmutzung betrifft im Detail ...

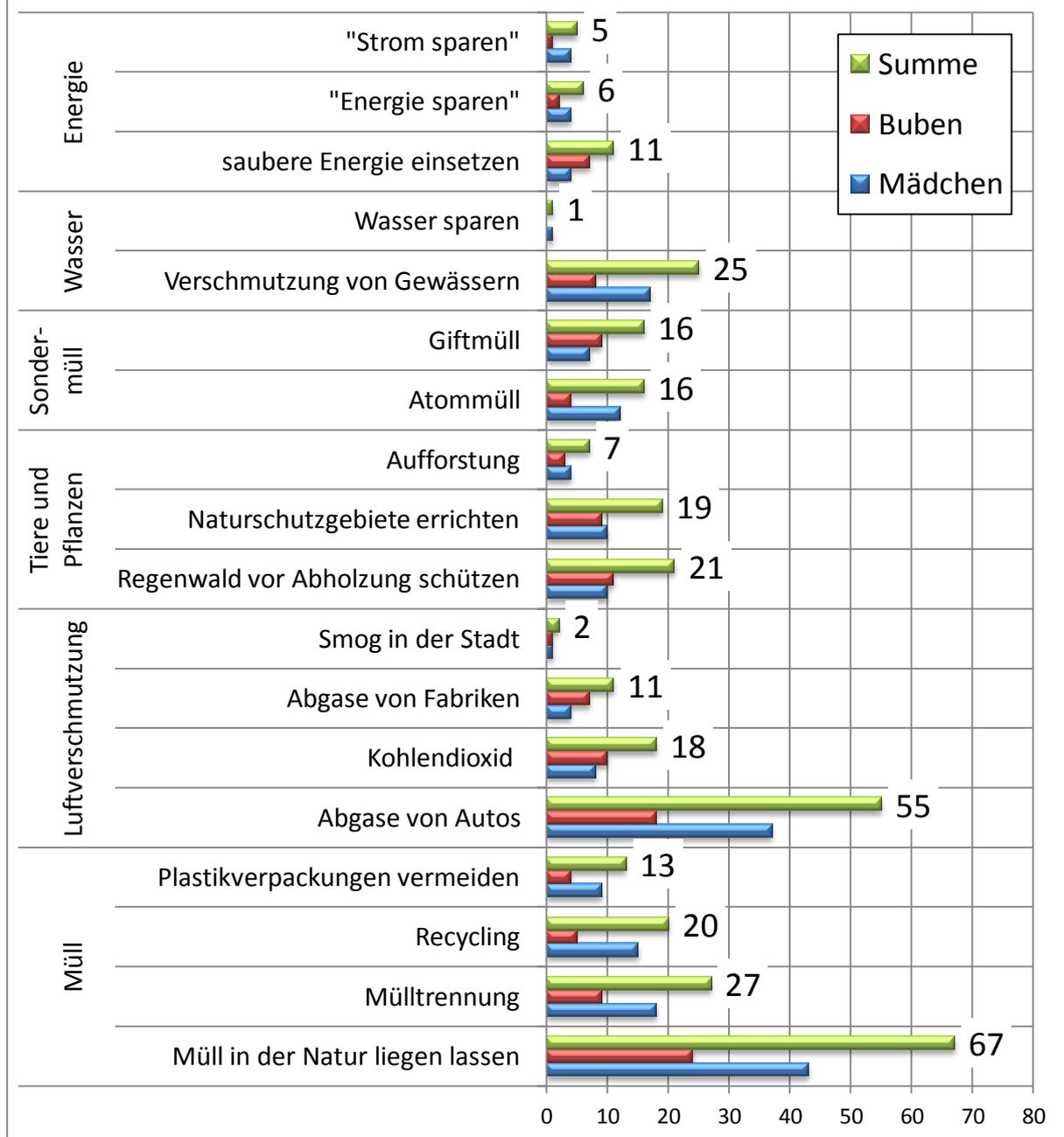


Abbildung 41: Von den Schülern und Schülerinnen genannte Themenbereiche zu Umweltschutz und Umweltverschmutzung im Detail (Anzahl der Nennungen, Mädchen N=62, Burschen N=49)

Die meisten Schüler und Schülerinnen assoziierten mit dem Begriff Umweltverschmutzung das Liegenlassen von Müll in der Natur (67). Ins Positive gekehrt schlugen sie zum Umweltschutz vor, den Müll zu trennen (27), Recycling (20) und Plastikverpackungen zu vermeiden (13). Im Bereich Luftverschmutzung nannten 55 Schüler und Schülerinnen die Abgase von

Autos, 18 Kohlendioxid, gefolgt von Abgasen von Fabriken (11) und Smog in Städten (2). Zum Schutz von Tieren und Pflanzen nannten 21 Lernende den Regenwald vor Abholzung zu schützen, Naturschutzgebiete zu errichten (19) und Aufforstung (7). Beim Sondermüll nannten jeweils 16 Teilnehmer und Teilnehmerinnen Giftmüll und Sondermüll. 25 Schüler und Schülerinnen gaben die Verschmutzung des Wassers an, eine Schülerin das Wassersparen. Im Energiebereich verbanden 11 Lernende mit dem Begriff Umweltschutz saubere Energie einzusetzen, sechs Energie allgemein zu sparen und fünf Strom zu sparen.

5.1.4 Einstellung zum Umweltschutz

Als letzter themenbezogener Teil wurden die Schüler und Schülerinnen zu ihrer Einstellung zu verschiedenen Umweltthemen befragt. Um die Auswertung etwas übersichtlicher zu gestalten wurden die Fragen drei Bereichen zugeordnet (Abbildung 42).

In der ersten Grafik in Abbildung 42 ist ersichtlich, wie die Buben und Mädchen *zu verschiedenen Umweltthemen eingestellt* sind. Die ersten beiden Fragen („Umweltverschmutzung hat keinen Einfluss auf unser Klima.“ und „Mülltrennung ist unnötig.“) wurden negativ gestellt um zu verhindern, dass einfach alle Fragen mit derselben Bewertung ausgefüllt werden. Das Ergebnis zeigt aber, dass die Lernenden sehr wohl darauf achteten, wie die Fragen gestellt werden, denn die Schüler und Schülerinnen stimmen diesen beiden Aussagen deutlich nicht zu, den anderen dagegen deutlich zu.

Mädchen und Buben meinen übereinstimmend dass Umweltverschmutzung Einfluss auf unser Klima hat und Mülltrennung nicht unnötig ist. Bei den Fragen, wem Umweltverschmutzung schadet sind etwas mehr Befragte der Meinung, dass Tiere betroffen sind, gleich dahinter rangieren aber auch die Menschen. Das Empfinden des Schadens für Menschen ist bei den Burschen etwas stärker ausgeprägt, beim Schaden für Tiere das der Mädchen. Beide Geschlechter meinen übereinstimmend, dass es eine vom Menschen verursachte Klimaerwärmung gibt und sie sind von der globalen Erwärmung beunruhigt. Bei letzterem zeigen Buben mehr Betroffenheit als die Mädchen. Die letzte Frage bezog sich auf Nachhaltigkeit. Hier zeigte sich deutlich, dass es den Mädchen ein größeres Anliegen ist, dass die Umwelt auch dann noch intakt ist, wenn sie nicht mehr leben. Aber auch die Burschen machten deutlich, dass ihnen dies durchaus wichtig ist.

Beim Themenkomplex *„Aufwand für Umweltschutz“* betrifft die erste Frage die Schwierigkeit, etwas für den Umweltschutz zu tun. Die Schüler und Schülerinnen meinen, dass es nicht schwierig ist, sich für den Umweltschutz zu engagieren, wobei die Mädchen deutlich mehr dieser Ansicht sind.

Gleichauf sind beide Geschlechter bei der Frage, ob Energiesparen das oberste Ziel der Menschen sein soll. Diese Frage wurde ähnlich nochmal gestellt, und zwar ob es oberstes Ziel aller Regierungen sein soll. Hierbei zeigte sich interessanterweise, dass die Lernenden hier etwas weniger zustimmen. Ein ähnliches Ergebnis zeigen die beiden nächsten Fragen. Viele Befragte meinen, dass Regierungen mehr Geld in den Umweltschutz investieren sollen. Deutlich weniger stimmen allerdings der Aussage zu, dass der Umweltschutz der Gesellschaft viel Geld kosten darf.

Die letzten beiden Fragen befassen sich mit dem *Interesse* der Lernenden *an mehr Wissen zum Umweltschutz*. Hierbei wird klar, dass beide Geschlechter mehr darüber wissen wollen, doch bei den Mädchen ist dieser Wunsch deutlicher ausgeprägt als bei den Buben.

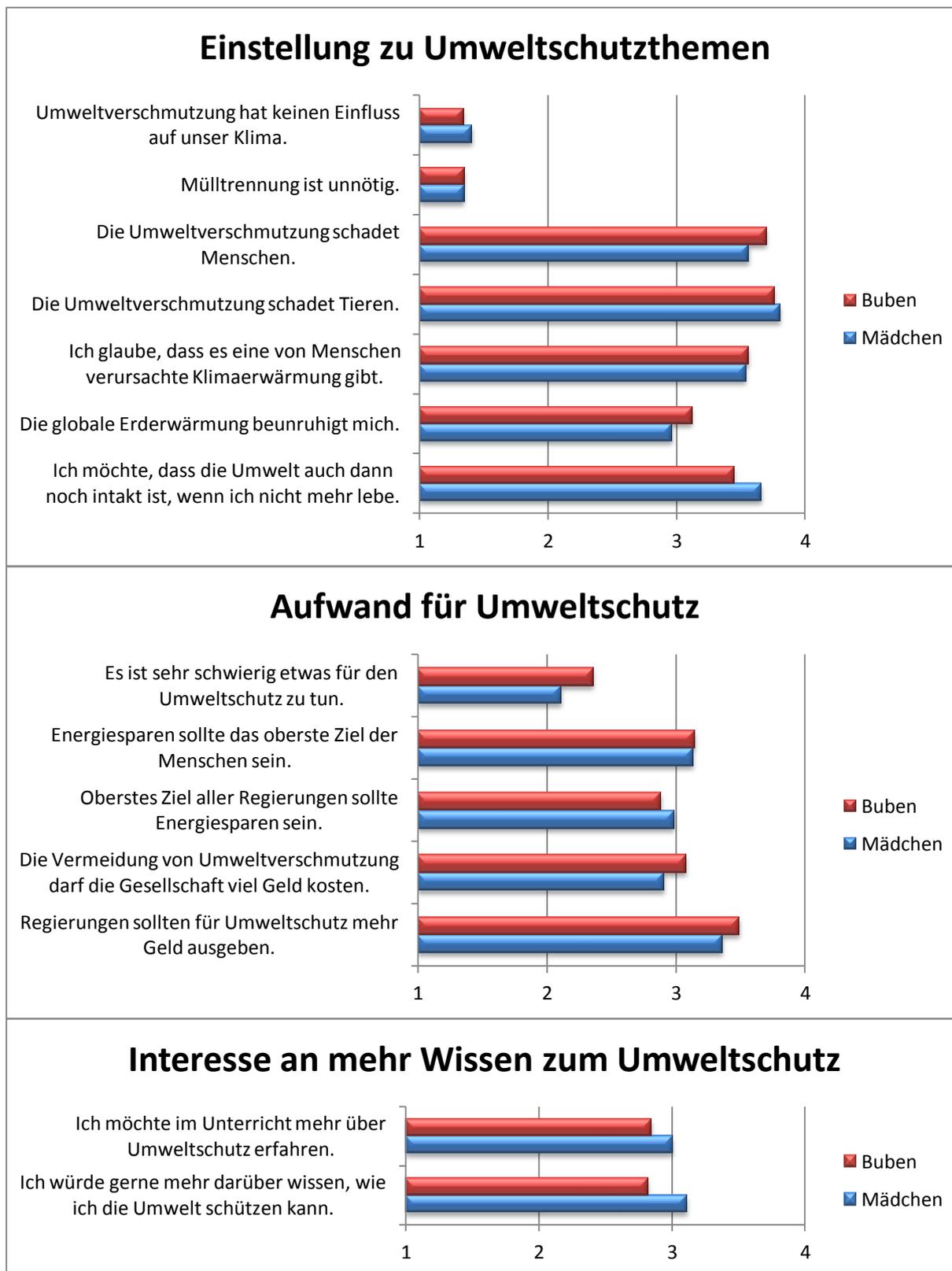


Abbildung 42: Einstellung der Schüler (N=59) und Schülerinnen (N=61) zu Themen des Umweltschutzes (Darstellung der errechneten Mittelwerte einer vierstufigen Skala: 1= Ich stimme gar nicht zu, 2 = Ich stimme nicht zu, 3 = Ich stimme zu, 4 = Ich stimme sehr zu)

5.2 Ergebnisse des Post-Tests

Am Post-Test nahmen 104 Lernende teil (45 Buben, 59 Mädchen). In den meisten Klassen wurde er erst Mitte Juni durchgeführt. Es zeigten sich bei den Schülern und Schülerinnen bereits gewisse Ermüdungserscheinungen, was sie mir auch mitteilten, da sie vor Schulschluss noch einige Schularbeiten und Tests zu absolvieren hatten. Würde ich das ganze Projekt noch einmal durchführen, so würde ich dafür eher einen Zeitraum in der Mitte des Schuljahres wählen. Am besten wäre wohl die Mitte des zweiten Semesters, nachdem das Kapitel Optik bereits durchgenommen wurde. Der gesamte Post-Test ist in Anhang 2 zu finden.

5.2.1 Einstellung zu Lichtverschmutzung und zur Unterrichtsstunde

Die Schüler und Schülerinnen wurden gebeten anzugeben, ob sie bestimmten Aussagen zustimmen („Ich stimme zu.“ oder „Ich stimme sehr zu.“) oder ablehnen („Ich stimme gar nicht zu.“ oder „Ich stimme nicht zu.“). Im Durchschnitt stimmen die Schüler und Schülerinnen eher zu, dass sie die Unterrichtsstunden nachdenklich über das Thema Lichtverschmutzung gemacht hat. Mit der nächsten Frage, ob sie vorher etwas zu diesem Fachbereich gewusst haben, bestätigen sie die Ergebnisse des Pre-Tests: die meisten hatten noch nie etwas dazu gehört.

Die Auswertung der dritten Frage ist für diese Diplomarbeit von besonderer Bedeutung, da es ein Ziel der Unterrichtsstunden war, dass die Schüler und Schülerinnen auch in ihrem Alltag weiterhin auf Lichtverschmutzung achten und sich für deren Verhinderung einsetzen. Wie in Abbildung 43 ersichtlich, wollen sich Mädchen wie Buben bemühen, möglichst wenig unnötiges Licht in der Nacht zu verursachen. Dieses Ziel konnte also erfüllt werden. In Kapitel 5.2.3 wird dies mit tatsächlichen Schülerzahlen weiter aufgeschlüsselt werden.

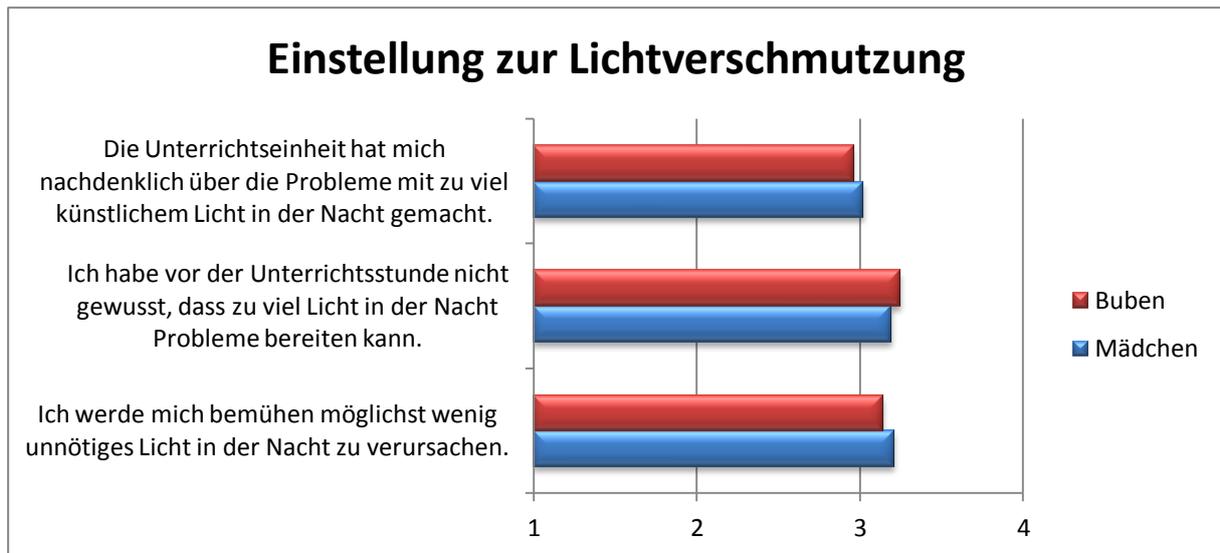


Abbildung 43: Einstellung der Schüler und Schülerinnen zum Thema Lichtverschmutzung nach den beiden Unterrichtseinheiten (N=104) (Darstellung der errechneten Mittelwerte einer vierstufigen Skala: 1= Ich stimme gar nicht zu, 2 = Ich stimme nicht zu, 3 = Ich stimme zu, 4 = Ich stimme sehr zu)

Die zweite Fragestellung bezog sich auf die Einstellung zu den Unterrichtseinheiten. Zusammengefasst hat den Lernenden die Unterrichtsstunde gefallen. Die ersten drei Fragen dazu wurden negativ gestellt, weshalb sich die niedrige Bewertung in Abbildung 44 ergibt. Deutlich wird daraus auch, dass die Unterrichtsstunde den Mädchen besser gefallen hat, als den Burschen. Bei allen drei Fragen verneinen sie das „nicht gefallen“ deutlicher als die Burschen. Bei der letzten Frage sind beide Geschlechter gleich auf: Allen hat die Unterrichtsstunde gefallen, da es um ein Thema gegangen ist, das sie auch im Alltag betreffen kann.

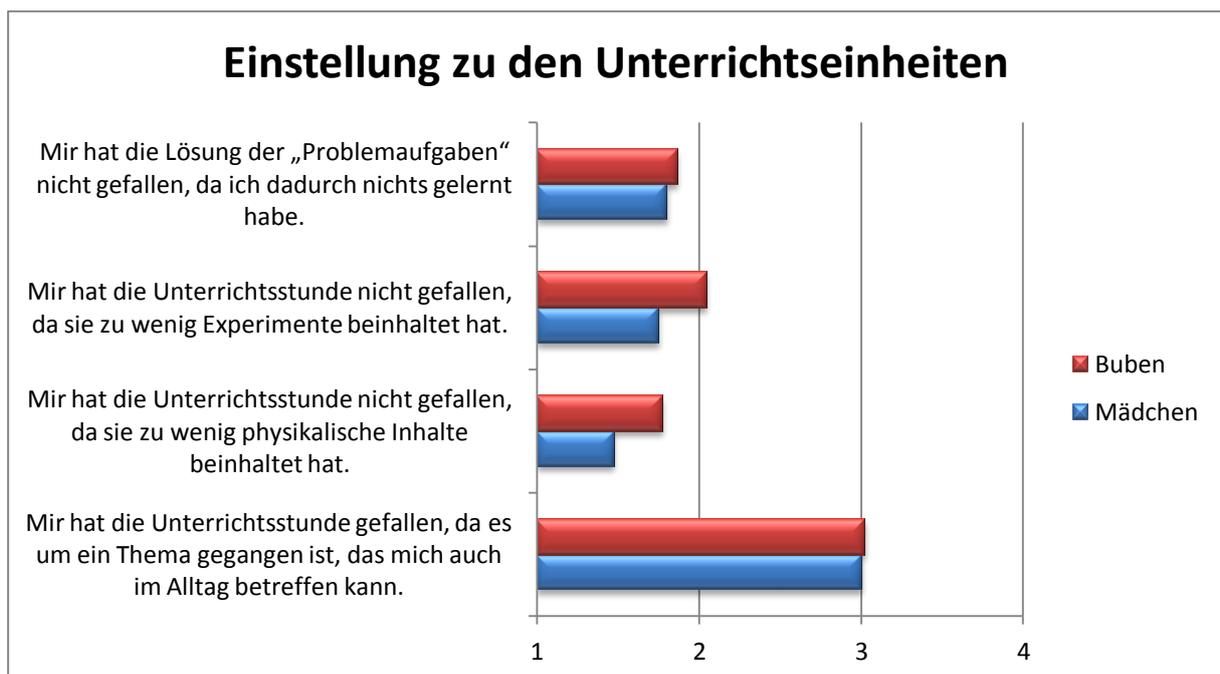


Abbildung 44: Einstellung der Schüler und Schülerinnen zu den beiden Unterrichtseinheiten (N=104)

Auch bei der offenen Aufforderung zum Schluss „Das würde ich noch gerne sagen“ haben sich einige Schüler (4) und Schülerinnen (20) zur Unterrichtsstunde zu Wort gemeldet. Die Kommentare waren fast alle positiv, was sich mit den oben dargestellten Ergebnissen deckt. Am häufigsten wurde das Thema Lichtverschmutzung selbst positiv hervorgehoben (12), einige Lernende bedankten sich sogar, dass sie nun mehr über dieses Thema erfahren haben. Nur eine Schülerin bemerkte, dass sie das Thema nicht interessiert hätte. Zwei Lernenden waren die Pre- und Post-Tests zu schwierig, da sie noch nicht alles gelernt hätten und ein Schüler hätte lieber mehr Experimente gemacht. Vier Lernende meldeten dagegen, dass ihnen besonders die Experimente gefallen hätten. Die vollständige Auflistung aller Kommentare ist in Anhang 8 zu finden.

5.2.2 Optik

Die Schüler und Schülerinnen beantworteten vor und nach der Unterrichtsstunde dieselben Konzeptfragen zum Thema Optik. Sie sollten dabei entweder bei vorgegebenen Aussagen richtig oder falsch ankreuzen, oder die für sie richtigen Antworten aus mehreren Möglichkeiten auswählen. In Abbildung 45 bis Abbildung 50 ist die Anzahl der richtigen Beantwortungen der Fragen im Vergleich Pre- und Post-Test angeführt. In der jeweils linken Grafik sind die Ergebnisse der Mädchen zu finden, in der rechten die der Buben.

Bei vielen Beispielen ergab sich, dass beim Pre-Test mehr richtige Antworten gegeben wurden als beim Post-Test. Wie die Lernenden selbst angaben, haben sie sehr oft nur geraten und gerade beim Post-Test befanden sie sich am Ende des Schuljahres im Prüfungsstress. Ein detaillierter Vergleich ist daher nicht möglich. Das war aber auch nicht Ziel dieser Überprüfung. Es sollte ermittelt werden, in welchen Bereichen der Optik mithilfe der Unterrichtsstunde eine Verbesserung des Verständnisses erzielt werden kann. Im Folgenden werden also jene Fragen näher betrachtet, bei denen in einer Geschlechtergruppe die Frage um mindestens 10% häufiger richtig beantwortet wurde. Es sollen also nur die wirklich deutlichen Effekte auf das Verständnis der Schüler und Schülerinnen aufgezeigt werden.

In die Auswertung fanden nur die jeweils richtigen Antworten Eingang. In den Abbildungen wird der Prozentsatz der jeweils insgesamt pro Frage richtig gegebenen Antworten angegeben. Gab es bei einer Frage also zum Beispiel zwei Antworten, die als richtig angekreuzt werden sollten, so ist in der Grafik nur ein gemeinsamer Prozentsatz ersichtlich. Also auch wenn nur eine Antwort als richtig angekreuzt wurde, ist dies in der Abbildung ersichtlich. Die

beiden Stufen (1) Lösen der Aufgabe, (2) Begründung der Antwort wurden jedoch jeweils einzeln betrachtet.

Beim Beispiel „Pappe und Spiegel“ konnten die Mädchen deutlich besser erklären, wie der Raum erleuchtet wird (Abbildung 45, PUS1b: 59%→72%). Beim „Lagerfeuer“ zeigte sich, dass die Mädchen nach der Intervention ein besseres Verständnis über Lichtausbreitung hatten (Abbildung 46, LF1a: 24%→39%). Bei „Emmas Geburtstag“ (Abbildung 47) und „Straßenlaterne“ (Abbildung 48) zeigten sich keine deutlichen Veränderungen.

Dass Licht an Wasser- und Schmutzteilchen reflektiert wird, ist eine grundlegende physikalische Erkenntnis zur Entstehung der Lichtverschmutzung. Dies ist auch der Kern des Beispiels „Lasershow“ und hier gaben sowohl die Mädchen als auch die Buben beim Post-Test mehr richtige Antworten (Abbildung 49, Mädchen: LS1a: 66%→84%, LS1b: 43%→60%; Buben: LS1a: 69%→82%).

Beim Beispiel „Schattenwurf einer Straßenleuchte“ zeigten wiederum die Mädchen, dass sie nun das Prinzip der geradlinigen Ausbreitung des Lichts besser anwenden können (Abbildung 50, SWL1a: 61%→77%).

| | |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Pappe und Spiegel | (Geradlinige) Ausbreitung des Lichts, Reflexion und Streuung |
| Lagerfeuer | Ausbreitung des Lichts |
| Emmas Geburtstag | Sender-Empfänger-Vorstellung |
| Straßenlaterne | Sender-Empfänger-Vorstellung, (Geradlinige) Ausbreitung des Lichts |
| Lasershow | Reflexion und Streuung, Sender-Empfänger-Vorstellung |
| Schattenwurf der Straßenlaterne | Geradlinige Ausbreitung des Lichts |

Tabelle 11: Mit den jeweiligen Testitems überprüfte Vorstellungen zur Optik

In Tabelle 11 sind die jeweiligen Konzepte, die durch die Fragestellungen überprüft werden können, ersichtlich. Explizit wurden im Unterricht Reflexion und Streuung besprochen und mit einem Versuch gezeigt. Dies würde also die beiden Beispiele Pappe und Spiegel und „Lasershow“ betreffen. Auch die geradlinige Ausbreitung des Lichts kam in einem Experiment zur Sprache, als die Lichtausbreitung anhand verschiedener Lampentypen erforscht wurde. Dies würde die Beispiele „Pappe und Spiegel“, „Straßenlaterne“ und „Schattenwurf einer Straßenlaterne“ betreffen. Alle anderen Key Ideas kamen nur implizit bei der Erläuterung der Entstehung von Lichtverschmutzung vor.

Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen wieder: Beim Beispiel „Pappe und Spiegel“ konnten 13% mehr Mädchen Streuung richtig zuordnen, bei den Burschen waren es nur 3%. Im Beispiel Lasershow gaben sogar 18% mehr Mädchen und 13% mehr Burschen an, dass man ohne den Nebel die Laserstrahlen nicht sehen kann. Eine deutliche Steigerung zeigt sich auch bei der Anzahl der richtigen Antworten zur Begründung. 17% mehr Mädchen nannten die Streuung als Ursache dafür.

Bei den Beispielen zur geradlinigen Ausbreitung des Lichts zeigte sich, dass die Lernenden nur in jenem Beispiel deutliche Verbesserungen zeigten, das dem im Unterricht behandelten Experimentieraufbau ähnelte. Denn nur bei „Schattenwurf der Straßenlaterne“ konnten sie dieses Konzept anwenden, was bei den Mädchen zu einer Steigerung von 16% führte.

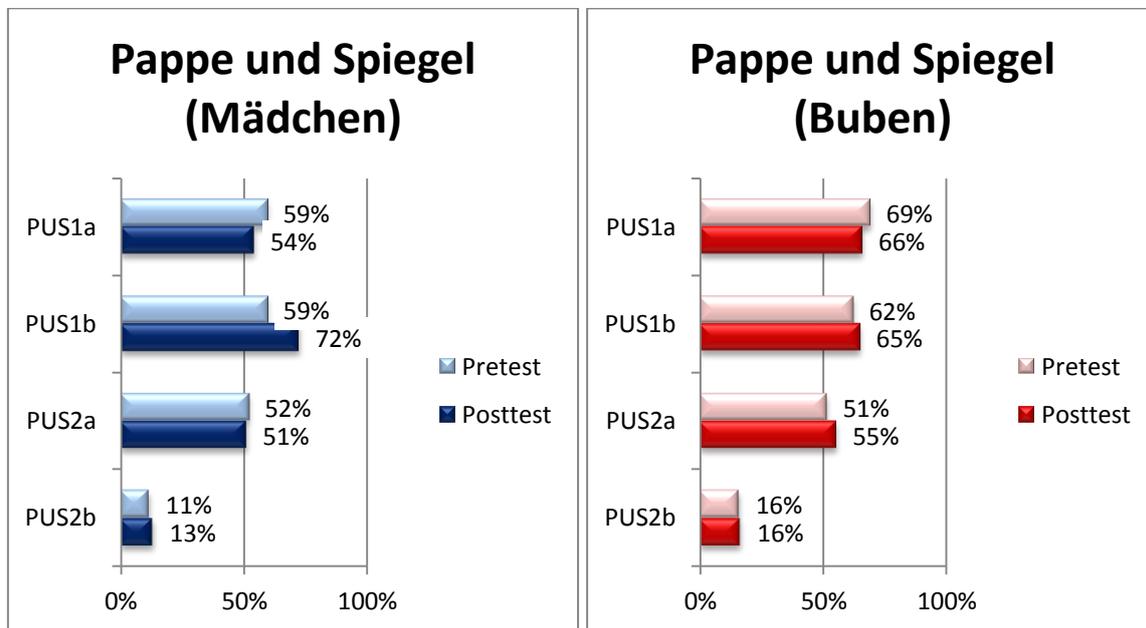


Abbildung 45: Anzahl der richtigen Beantwortung der Fragen zum Beispiel „Pappe und Spiegel“ in Prozent

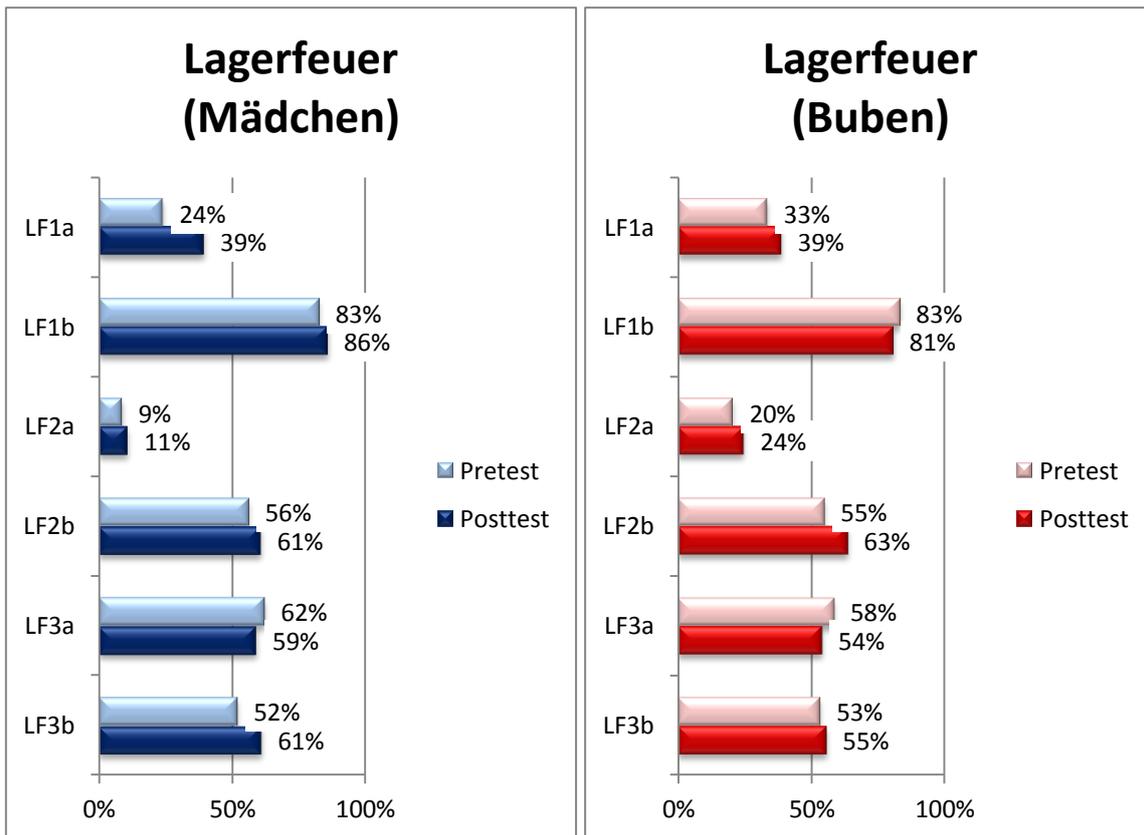


Abbildung 46: Anzahl der richtigen Beantwortung der Fragen zum Beispiel „Lagerfeuer“ in Prozent

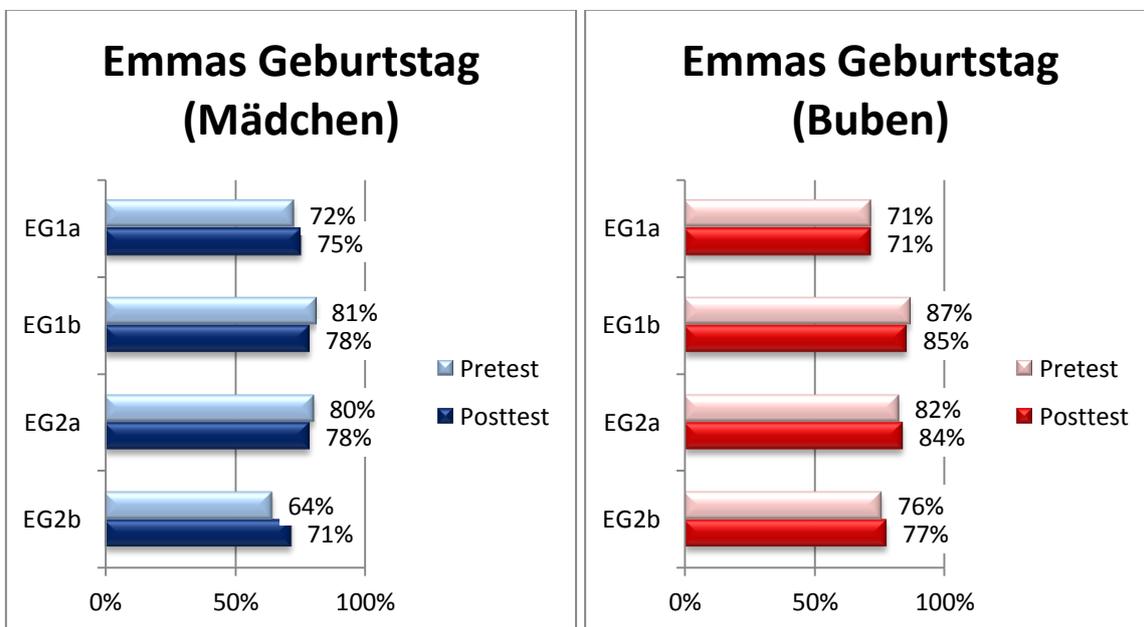


Abbildung 47: Anzahl der richtigen Beantwortung der Fragen zum Beispiel „Emmas Geburtstag“ in Prozent

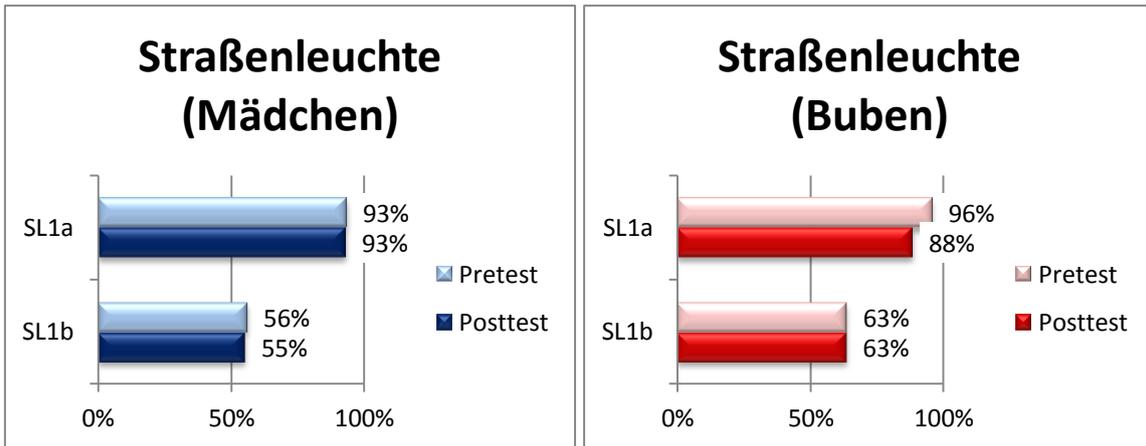


Abbildung 48: Anzahl der richtigen Beantwortung der Fragen zum Beispiel „Straßenleuchte“ in Prozent

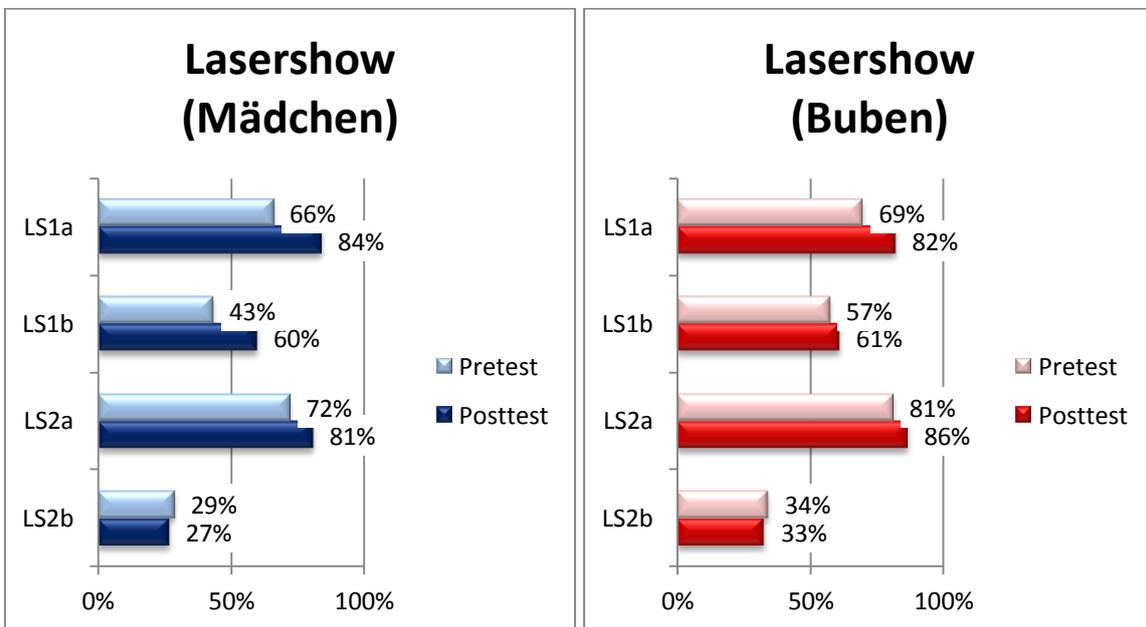


Abbildung 49: Anzahl der richtigen Beantwortung der Fragen zum Beispiel „Lasershow“ in Prozent

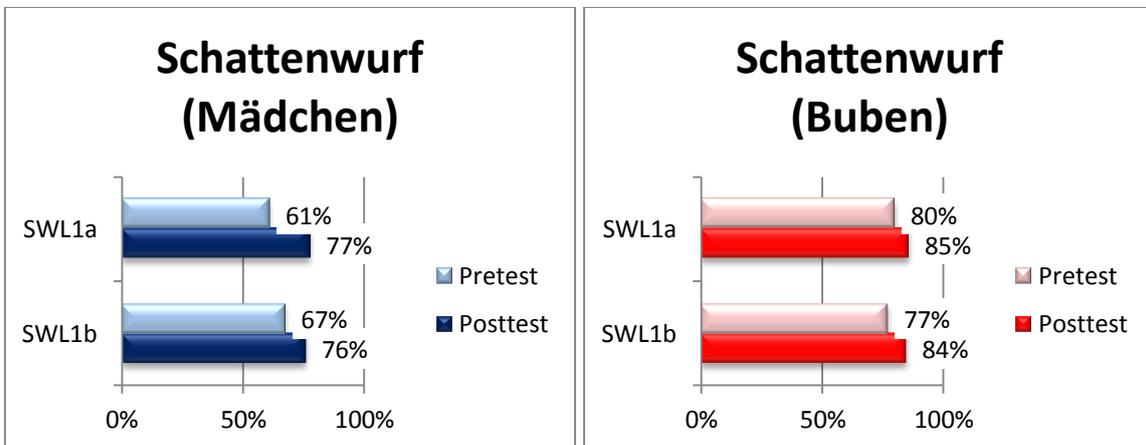


Abbildung 50: Anzahl der richtigen Beantwortung der Fragen zum Beispiel „Schattenwurf der Straßenlaterne“ in Prozent

5.2.3 Offene Fragen zur Lichtverschmutzung

Im Anschluss an die Unterrichtseinheit wurde erfasst, was die Schüler und Schülerinnen von den Inhalten der Stunde behalten haben, wozu sie vier offen gestellte Fragen beantworten sollten. Wie in Abbildung 51 ersichtlich, konnten alle Lernenden erklären, was der *Begriff Lichtverschmutzung bedeutet* (einer machte hierzu keine Angabe). Mehr als die Hälfte (62) beschrieb ihn einfach damit, dass Licht in der Nacht in den Himmel gestrahlt wird. 40% fügten noch dazu, dass dieses Licht „unnötig“ erzeugt bzw. abgestrahlt wird. Eine Schülerin verwendete als Beschreibung das Wort Umweltverschmutzung.

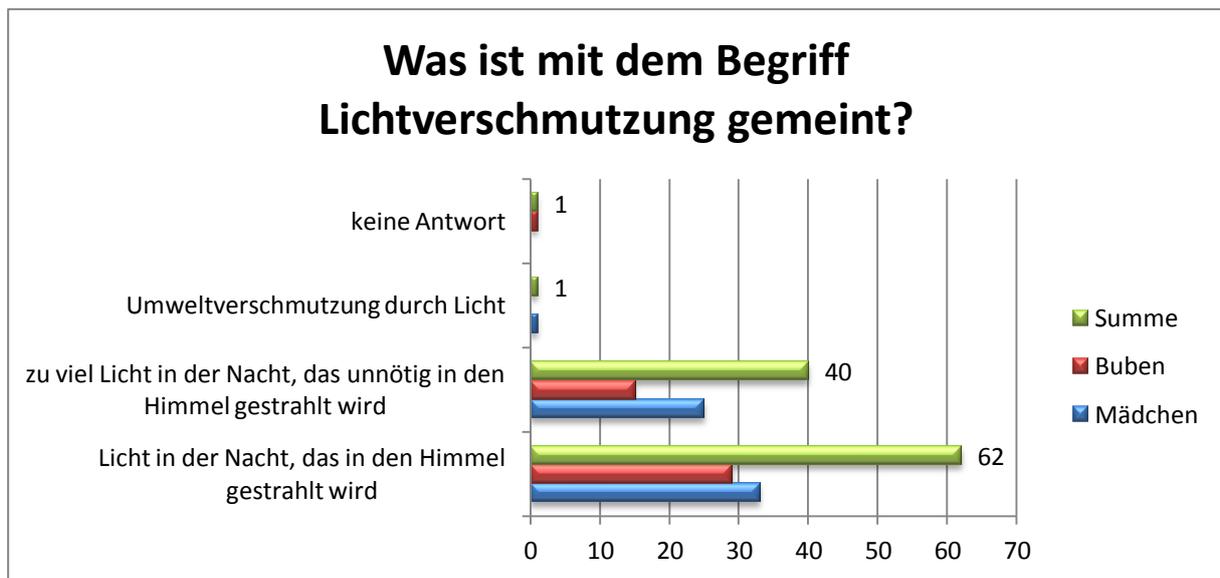
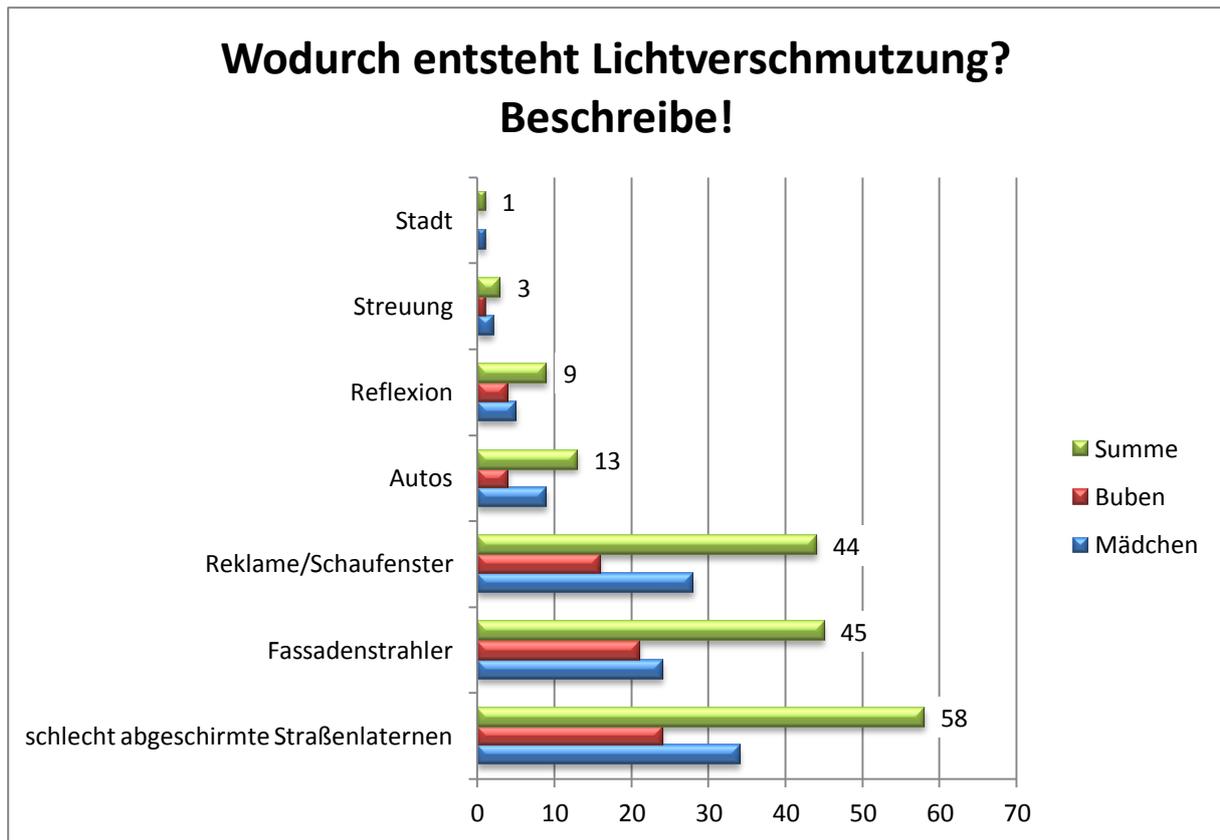


Abbildung 51: Was ist mit dem Begriff Lichtverschmutzung gemeint? (N=104)
Ein Schüler machte dazu keine Angabe, der Rest konnte erklären, was der Begriff bedeutet.
(Offene Fragestellung – x-Achse: Anzahl der Nennungen)

Als nächstes sollten die Schüler und Schülerinnen erklären, *wodurch Lichtverschmutzung entsteht*. Dabei wurden wiederum alle genannten Begriffe der einzelnen Lernenden gezählt, wodurch sich bei 104 Lernenden 176 Nennungen ergeben. Fast genau ein Drittel aller Nennungen bezogen sich auf schlecht abgeschirmte Straßenleuchten als Quelle der Lichtverschmutzung (58 Nennungen) (siehe Abbildung 52). Ein Viertel erkannten schlecht eingestellte und montierte Fassadenstrahler als die Verursacher (45), fast genauso viele Reklametafeln und Schaufensterbeleuchtungen (44). 13mal wurden Autos genannt und einmal eine Stadt. Die restlichen Nennungen betrafen die physikalischen Phänomene, die dahinter stecken: Reflexion (9) und Streuung (3).



*Abbildung 52: Wodurch entsteht Lichtverschmutzung?
(Offene Fragestellung – x-Achse: Anzahl der Nennungen (insgesamt 176))*

Auf die Frage, *welche Probleme Lichtverschmutzung verursacht*, bei der wiederum jede einzelne Nennung gezählt wurde, waren insgesamt die meisten Nennungen pro Frage zu verzeichnen, nämlich 245. Mit 62 Erwähnungen, einem Viertel aller Stimmen, führen die Insekten die Aufzählung an. Knapp dahinter folgen die gesundheitlichen Probleme für Menschen (51), die Astronomen, die die Sterne nicht mehr gut sehen können (45) und Zugvögel, die die Orientierung verlieren (44). Der Rest der Nennungen verteilt sich auf allgemein nachtaktive Tiere (26), Pflanzen, deren Wachstumsrhythmus gestört wird (11), die unnötig genutzte Energie (5) und die Umwelt allgemein (1).

Wiederum zeigt sich bei dieser Frage, dass alle im Unterricht erwähnten Problemfelder von den Schülern und Schülerinnen wiedergegeben wurden. Am wenigsten „beeindruckt“ hat sie das Energieproblem. Dass Menschen und vor allem Tiere gefährdet sind, hatten sich die meisten gemerkt.

Auffällig ist, dass bei allen Kategorien etwas mehr Nennungen von Mädchen kamen, als von den Burschen. Beim Post-Test nahmen 45 Buben (43,27%) und 59 Mädchen (56,73%) teil. Bei der Frage, *wodurch Lichtverschmutzung entsteht*, nannten die Mädchen allerdings 59,54% aller Begriffe und bei der Frage, *welche Probleme Lichtverschmutzung verursacht*,

57,14%. Dies bestätigt die beiden oben genannten Erkenntnisse, dass die befragten Mädchen etwas lieber Fragebögen ausfüllen und sich auch mehr bemüht haben (siehe Abbildung 32), und dass ihnen die Inhalte der Stunde prinzipiell etwas besser gefallen haben als den Burschen (siehe Abbildung 44).

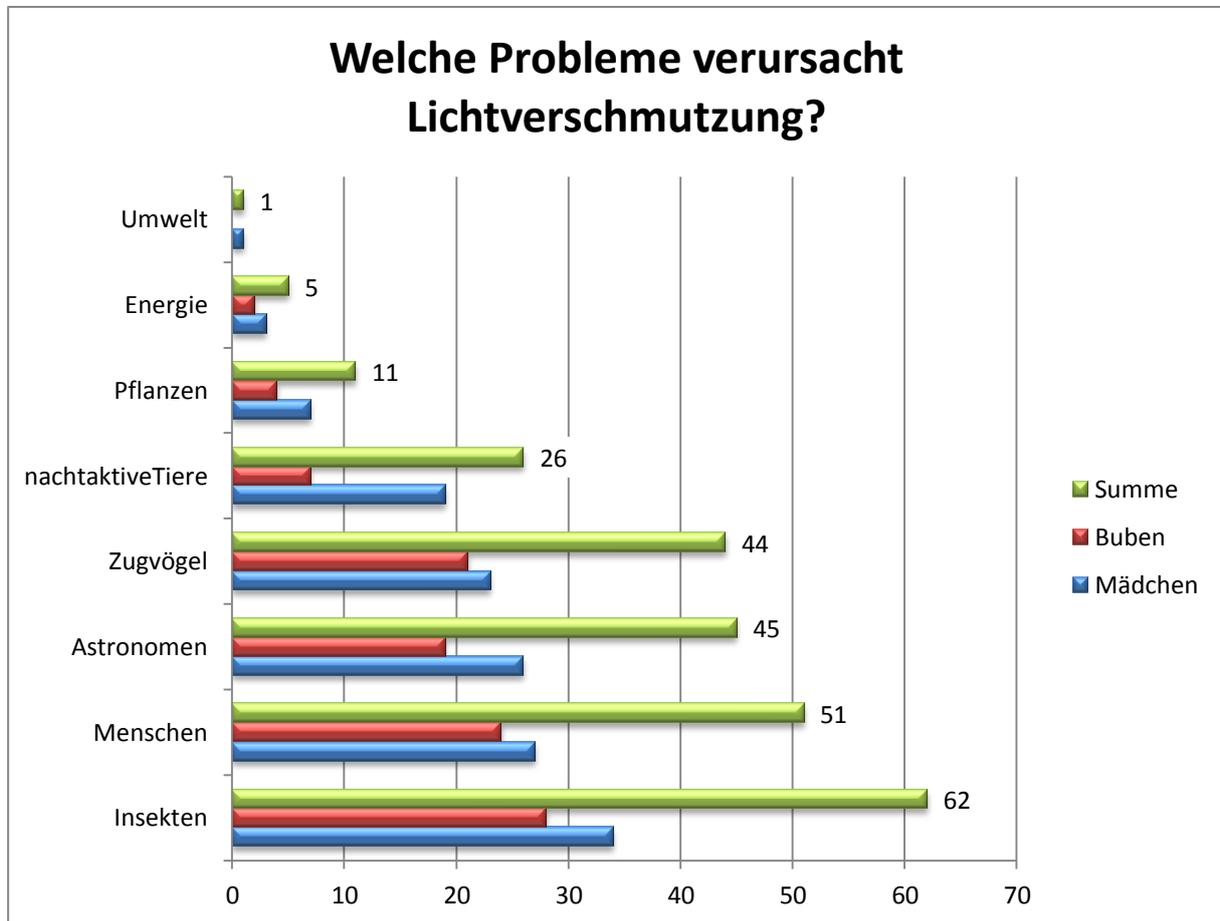


Abbildung 53: Welche Probleme verursacht Lichtverschmutzung?
 (Offene Fragestellung – x-Achse: Anzahl der Nennungen (insgesamt 245))

Die Schlüsselfrage zur Unterrichtseinheit ist, ob die Schüler und Schülerinnen auch *im Alltag ihr neu gewonnenes Wissen über Lichtverschmutzung einfließen lassen* werden. Abbildung 55 zeigt, 76% aller Schüler und Schülerinnen geben an, dass das Thema Lichtverschmutzung auch nach der Unterrichtseinheit noch eine Rolle spielen soll. Von den 78 „Ja“-Antworten wollen 37 versuchen, weniger Licht in der Nacht zu machen, 17 begründen ihre Antwort nur damit, dass es uns alle betrifft, 10 wollen ihr Wissen nun weiter erzählen, sieben wollen ihre Vorhänge in der Nacht zuziehen, damit während des Schlafens kein Licht von der Straße durchs Fenster in den Raum strahlen kann, fünf meinten nur „eher ja“ und zwei wünschen sich, ungestört die Sterne sehen zu können. 15 Lernende sind sich sicher, dass für sie die

Lichtverschmutzung für das zukünftige Leben keine Rolle spielen wird, und zehn meinen „eher nein“.

Einige Lernende, die mit „Nein“ geantwortet haben, schrieben auch eine Begründung dazu (siehe Abbildung 54).

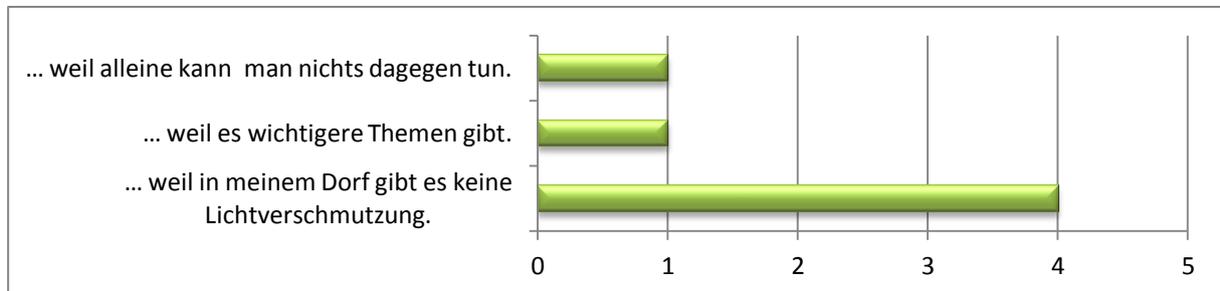


Abbildung 54: Begründungen der Lernenden (N=6), warum das Thema Lichtverschmutzung für sie im zukünftigen Leben keine Rolle mehr spielen wird. (Offene Fragestellung – x-Achse: Anzahl der Nennungen)

Betrachtet man die Unterschiede zwischen Mädchen und Burschen, so erkennt man, dass Mädchen eher davon ausgehen, dass Lichtverschmutzung für sie im täglichen Leben noch eine Rolle spielen wird. Bei ihnen ergibt sich ein Ja-Nein-Verhältnis von ca. 5:1, bei den Burschen von ca. 2:1. Julia Hostenbach befragte 734 Gymnasiastinnen und Gymnasiasten (40,7 % Buben, 42,9 % Mädchen) nach ihrer Einstellung zu bestimmten Umweltmaßnahmen. Diese Untersuchung ergab, dass Mädchen den vorgegebenen Maßnahmen eher zustimmten als Buben. Zwei Beispiele: „Es stört mich, wenn Energie durch den unnötigen Gebrauch von elektrischen Geräten verschwendet wird.“ (Mittelwert der Zustimmung bei den Mädchen um ca. 13 % höher als bei den Burschen) und „Ich bin für Gesetze, die den Lebensraum gefährdeter Arten schützen.“ (Mittelwert der Zustimmung bei den Mädchen um ca. 14 % höher).¹⁶¹ Wie in Kapitel 5.1.4 dargestellt wurde, gaben beim Pre-Test dieser Untersuchung auch mehr Mädchen an, mehr über Umweltschutz im Unterricht erfahren zu wollen (Mittelwert der Zustimmung bei den Mädchen um ~14 % höher). Vergleicht man diese Ergebnisse mit jenen der ROSE-Studie, in der untersucht wurde, in welchen Kontexten naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant sind (siehe Kapitel 2.2.3), so decken sie sich beim Thema Umweltschutz nicht. Hier gaben mehr Burschen als Mädchen ein Interesse für Umweltschutz an. Allerdings zeigten sich die Mädchen beim Kontext Gesundheit – der einen zentralen Aspekt beim Thema Lichtverschmutzung darstellt – interessierter als die Burschen.

¹⁶¹ Julia Hostenbach, Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht, Dissertation an der Fakultät für Chemie der Universität Duisburg-Essen, August 2011, S. 92.

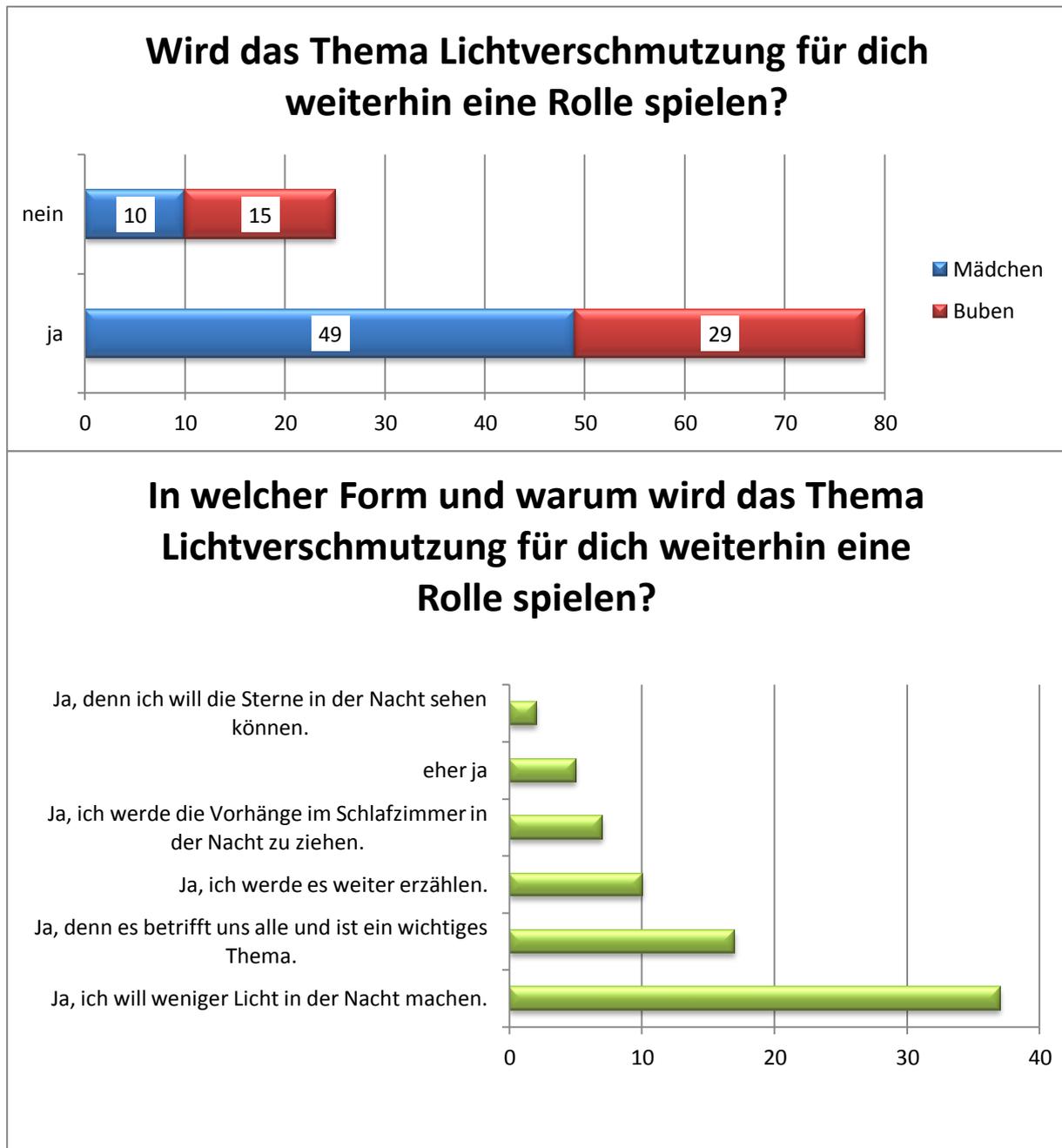


Abbildung 55: Wird das Thema Lichtverschmutzung für dich weiterhin eine Rolle spielen?
 – Offene Fragestellung – x-Achse: Anzahl der Nennungen (N=103)
 oben: Antwort „Ja“ (78) und „Nein“ (25) aufgeschlüsselt nach Geschlechtern
 unten: Begründungen der Schüler, warum Lichtverschmutzung für sie weiterhin eine Rolle spielen wird und in welcher Form das passieren wird. (Ein Schüler machte keine Angabe.)

6. Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Abschnitte dieser Studie chronologisch betrachtet. Zuerst werden markante Bereiche des Pre-Tests zur Interpretation herangezogen um dann auf den Ablauf der Unterrichtseinheiten näher einzugehen. Anhand des Post-Tests werden Rückschlüsse darauf gezogen, ob die Ziele der Intervention erreicht werden konnten. Schließlich werden Fragen erläutert, die mit dieser Studie nicht beantwortet werden konnten und in welche Richtung die nächsten Forschungen gehen sollen.

Der Pre-Test ergab, dass das Thema Lichtverschmutzung für die meisten Schüler und Schülerinnen unbekannt war. Die Schüler und Schülerinnen interessieren sich sehr für Umweltschutzthemen und es ist ihnen auch wichtig, dass die Umwelt geschützt wird. Die meisten gaben an, dass sie mehr über Umweltschutz lernen möchten. Die Liste der Begriffe (siehe Abbildung 41, Seite 114), die die Lernenden mit Umweltverschmutzung verbinden, zeigt, dass Umweltschutz in den teilnehmenden vierten Klassen zwar stark verankert ist, aber nicht mit dem Thema Licht assoziiert wird.

Die Schüler und Schülerinnen wurden im Pre-Test gebeten, eine „physikalische Erklärung“ dafür zu geben, warum die Wolken auf dem Bild (siehe Anhang 1: Pre-Test, Seite 157) erleuchtet sind. Diese Aufgabe wurde aber nur von sehr wenigen Lernenden erfüllt. Ob die Schüler und Schülerinnen nicht physikalisch erklären *können*, warum die Wolken erleuchtet sind, kann man daraus aber nicht ablesen. Es ist durchaus möglich, dass die Schüler und Schülerinnen nie gelernt haben, welche Art von Antwort auf die Frage nach einer „physikalischen Erklärung“ erwartet wird. Die von ihnen genannten Begriffe (z.B. Mond oder Polarlichter) könnten für sie typische Fachwörter aus dem Physikunterricht sein und daher als zufriedenstellende „physikalische Antworten“ gelten. Dabei ist zu beachten, dass diese Untersuchung an Schulen in ländlichen Gegenden und nur in vierten Klassen AHS durchgeführt wurde. Darüber, wie sich dieser Sachverhalt in städtischen Schulen, anderen Schultypen und Altersstufen verhält, kann keine Aussage getroffen werden. Dies gilt natürlich auch für alle anderen Untersuchungsergebnisse.

Das Thema Lichtverschmutzung war den meisten Schülern und Schülerinnen zwar nicht bekannt, doch haben sie es in der Intervention schnell als Umweltthema erkannt, wodurch es bei den meisten auf offene Ohren stieß. Dies zeigte sich auch an der hohen inhaltsbezogenen Beteiligung der Lernenden im Unterricht.

Sowohl der erste Teil, in dem die Vermittlung von Arbeitswissen im Vordergrund stand, als auch die praktischen Abschnitte der gehaltenen Unterrichtseinheiten, konnten der Planung

entsprechend durchgeführt werden. Die Schüler und Schülerinnen lieferten auch die erhofften Ergebnisse. Bei der erst theoretischen und dann praktischen Konstruktion der Straßenleuchte sowie der Auswertung der Messungen zeigte sich in allen Klassen bereits ein Verständnis dafür, wie Beleuchtung sinnvoll eingesetzt werden sollte.

Bei der anschließenden schriftlichen Aufgabe zur Nutzung eines Hanges oder der Auswahl einer Hofbeleuchtung wendeten die meisten Lernenden ihr erlangtes Wissen bereits an und argumentierten für die Lösung, die am ehesten dem Schutz vor Lichtverschmutzung diene. Die meisten Schüler und Schülerinnen lieferten zwar sehr ausführliche Argumente, kamen aber nicht über das Kompetenzniveau 3 des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz hinaus. Es fehlte ihnen auch auf Niveau 3 die Reflexion normativer Entscheidungen im Bewertungsprozess und das Erkennen der Grenzen in der Anwendung von Entscheidungsstrategien, was zum Erreichen von Niveau 4 nötig gewesen wäre. Allerdings wurden diese Inhalte auch nicht explizit verlangt. Es kann also durchaus sein, dass die Lernenden den Bewertungsprozess reflektiert durchdachten, aber nicht schriftlich dokumentierten.

Etwas mehr Mädchen (18%) als Burschen (15%) erreichten (das für diese Analyse eingeschränkt definierte) Niveau 3. Bei den Untersuchungen von Sander¹⁶² zu Bewertungskompetenz von Schülern und Schülerinnen, wurde in den Pre- und Post-Tests zwar das Geschlecht der Lernenden erhoben, doch etwaige Unterschiede wurden nicht veröffentlicht. Auch in anderen Erhebungen zum Göttinger Modell wurde der Genderaspekt nicht betrachtet. Somit können hier keine Vergleiche gezogen werden. Bei Sander erreichten einige Jugendliche aber das höchste Niveau der Bewertungskompetenz. In diesen Klassen wurde allerdings in einer Interventionsstunde explizit Bewertungsstrukturwissen thematisiert, wodurch sie das für Niveau 4 nötige Meta-Wissen über Bewertungsprozesse erlangten.

Hierbei ist entscheidend, die Schüler und Schülerinnen mit ihren ersten Erfahrungen in Bezug auf Bewertungskompetenz nicht allein zu lassen. Wie bei anderen Kompetenzen muss auch die Bewertungskompetenz geübt werden und es reicht nicht, diese beiden Beispiele gemeinsam zu erarbeiten. Die Lernenden sollten in vielen Fächern aufgefordert werden, Entscheidungs- und Handlungsmöglichkeiten gegeneinander abzuwägen und Entscheidungen infolge einer persönlichen Gewichtung vorzunehmen. „Schüler erwerben die Kompetenz, [...] indem man sie es tun lässt.“¹⁶³ Zudem wurden in der Kürze der Intervention Bewertungskompetenz

¹⁶² Hannes Sebastian Sander, Der Einfluss von Bewertungsstrukturwissen auf Bewertungskompetenz bei Schüler/innen – Instrumententwicklung und –erprobung, Masterarbeit, Universität Hamburg 2012.

¹⁶³ Jürgen Rost, Umweltbildung - Bildung für nachhaltige Entwicklung. Was macht den Unterschied? In: Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik, 25/2002/1, 7-12, S. 11.

bzw. Entscheidungsfindungsprozesse mit den Schülerinnen und Schülern weder explizit thematisiert noch auf einer Metaebene besprochen.

Das den Unterricht abschließende MindMap zeigte in allen Klassen, dass sie gelernt hatten, welche Maßnahmen gegen Lichtverschmutzung ergriffen werden können. Alle der auf der Skizze (Abbildung 29, Seite 86) enthaltenen Punkte wurden von den Schülern und Schülerinnen mindestens einmal in einer der sechs Klassen genannt, ohne einen Hinweis vonseiten der Lehrperson. Das zeigt, dass dieses MindMap durchaus ihren Gedankengängen entspricht.

Vor allem die Mädchen profitierten in Bezug auf das Verständnis optischer Phänomene von der Unterrichtsstunde. Auch die Burschen hatten in diesen Bereichen ein besseres Verständnis erworben, doch bei den Mädchen zeigte sich beim Post-Test im Vergleich zum Pre-Test diese Verbesserung deutlicher. Diese Veränderungen ergaben sich vor allem in den Bereichen geradlinige Ausbreitung des Lichts und Reflexion, also jenen, die zum besseren Verständnis der Lichtverschmutzung erklärt und bearbeitet wurden. Bei den Burschen zeigten sich bei einigen Fragen, die die Mädchen im Post-Test „richtiger“ beantworteten, keine Veränderungen. Sie befanden sich schon vor der Unterrichtseinheit auf jenem Niveau, das die Mädchen im Anschluss erreichten. In allen Klassen wurde in den Monaten vor den beiden Unterrichtsstunden vom Klassenlehrer bzw. der Klassenlehrerin der Unterricht zum Thema Optik abgeschlossen, wobei alle in der Testung enthaltenen Themengebiete Erwähnung fanden. Nur die Streuung wurde in zwei Klassen nicht im Unterricht behandelt. Die Intervention gibt also vor allem den Mädchen die Chance, zu den Burschen aufzuholen. Die Inhalte, die sie durch herkömmliche Unterrichtsmethoden nicht verstanden oder erfasst haben, wurden nun in einem neuen Blickwinkel betrachtet und die Theorie in einem neuen Kontext wiederholt, was zu einem besseren Verständnis führte.

Allgemein ergaben die Daten des Post-Tests, dass die Unterrichtsstunde den Mädchen etwas besser gefallen hat, als den Burschen. Doch auch diese gaben zum größten Teil an, dass ihnen die Inhalte der beiden Einheiten zugesagt hätten. Viele klassische Unterrichtsinhalte des Physikunterrichts sagen eher Burschen zu als Mädchen. Mit der Lichtverschmutzung konnte also ein Thema gefunden werden, das für beide Geschlechter interessant ist - für die Mädchen der betrachteten Stichprobe sogar etwas ansprechender.

Der Post-Test zeigte, dass die meisten Schüler und Schülerinnen (75%) bereit sind, sich im Alltag für ökologischere und ökonomischere Beleuchtung einzusetzen, wobei sich bei den Mädchen eine höhere Bereitschaft dazu zeigte. Interessant ist die häufigste Begründung jener Lernenden, für die Lichtverschmutzung keine Rolle mehr spielen wird: Lichtverschmutzung

spielt an ihrem Wohnort demnach keine Rolle, da es dort ausreichend dunkel ist. Die Schüler und Schülerinnen stammen zum Großteil aus Dörfern oder kleineren Städten. Lichtverschmutzung ist für sie nach ihren Angaben also ein eher untergeordnetes Problem.

Bezüglich der Verfestigung der Lerninhalte war die Unterrichtsstunde ein voller Erfolg. Alle Schüler und Schülerinnen konnten im Anschluss den Begriff Lichtverschmutzung erklären und ihre Quellen nennen. Bei der Frage, wodurch Lichtverschmutzung entsteht, wurden Straßenleuchten am häufigsten genannt. Dies ist wohl darauf zurück zu führen, dass die Schüler und Schülerinnen dazu selbst ein Experiment durchführten - was besser in Erinnerung bleibt. Bei den Post-Tests wurden die meisten Inhalte, die in der ersten Unterrichtseinheit erarbeitet wurden, wenigstens ein paar Mal erwähnt, die Kernelemente sogar sehr häufig. Zusammen mit der bereits genannten Bereitschaft, sich auch für den Schutz der Nacht einzusetzen, können die Ziele der Unterrichtsstunden im Wesentlichen als erfüllt angesehen werden.

Die Intervention könnte verbessert werden, indem man sich in größerem Maße der Bewertungskompetenz widmet. Wenn man im Unterricht bereits den Grundstein für Bewertungswissen legt, könnten auch höhere Bewertungsniveaus erreicht werden. Auch das Thema Messgenauigkeit könnte tiefergehend betrachtet werden: Bei der Messung per Handy-App könnte mit den Lernenden darüber diskutiert werden, wann ein Handy das misst, was es messen soll. Schließlich könnte die Fachkonzepte noch deutlicher herausgestrichen werden. Die beiden Unterrichtseinheiten bieten also durchaus Potenzial zur Erweiterung.

Eine Schwäche der Untersuchung ist, dass keine Follow-up Befragung nach einigen Wochen erfolgt ist. Es ist also nicht bekannt, wie viel vom Wissen über Lichtverschmutzung oder Optik bleibt, oder ob die Einstellung zum Thema sich verändert. Eine derartige Befragung konnte aus organisatorischen Gründen nicht durchgeführt werden. (Die Untersuchung fand unmittelbar vor den Sommerferien statt und da es sich um vierte Klassen handelte, verließen viele Schüler und Schülerinnen die Schulen. Die Follow-up Befragung konnte also auch nicht nach den Ferien stattfinden.)

Weitere Untersuchungen sollten dahingehend erfolgen, ob die Unterrichtseinheiten auch im städtischen Bereich bzw. anderen Regionen ähnlich gut ankommen. Die Frage lautet also, ob auch bei diesen Lernenden sowohl das Interesse am Thema geweckt als auch ein Wissenszuwachs und eine positive Einstellung zum Schutz der Nacht erreicht werden kann.

Sowohl das Fachwissen in Optik und Lichtverschmutzung als auch die Einstellung zu einem sensibleren Umgang mit Beleuchtung konnte bei den Lernenden der Stichprobe verbessert

werden. Nun müssten diese Unterrichtseinheiten nur noch in möglichst vielen Schulklassen abgehalten werden ...

7. Literatur und Quellenverzeichnis

- Abelson Robert P. / Levi Ariel*, Decision making and decision theory. In: *Lindzey Gardner / Aronson Elliott* [Hg.], *Handbook of Social Psychology*, New York 1985, 231-309.
- Altrichter Herbert / Posch Peter*, *Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht: Unterrichtsentwicklung und Unterrichtsevaluation durch Aktionsforschung*, Bad Heilbrunn 2007.
- Amt der Oö. Landesregierung Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz* [Hg.], *Besseres Licht – Alternativen zum Lichtsmog*, Linz 2013. (Folder)
- Amt der Oö. Landesregierung. Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz* [Hg.], *Leitfaden Besseres Licht. Alternativen zum Lichtsmog*, Linz 2013.
- Amt der Oö. Landesregierung. Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz* [Hg.], *Besseres Licht – Alternativen zum Lichtsmog*, Linz 2013.
- Bader Franz / Walz Adolf*, *Blickpunkt Physik 4*, Wien 1998.
- Bergmann Ludwig / Schaefer Clemens*, *Lehrbuch der Experimentalphysik Band 5: Gase, Nanosysteme, Flüssigkeiten*, Berlin 2006.
- Betsch Tilmann / Haberstroh Susanne / Höhle Connie*, Explaining Routinized Decision Making. A Review of Theories and Models. In: *Theory & Psychology*, 12(4)/2002, 453-488.
- BIFIE Wien*, *Kompetenzmodell Naturwissenschaften. 8. Schulstufe. Vorläufige Endversion* Oktober 2011, https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf, Stand: 24.03.2014.
- BIFIE*, *Die Kernaufgaben 2011-2014*, <https://www.bifie.at/bifie/kernaufgaben>, Stand: 09.04.2014.
- Blumör Rüdiger*, *Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik. Ein Beitrag zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts in der Grundschule*, Magdeburg 1993.
- BMUKK.*, *Lehrplan AHS Unterstufe. Allgemeiner Teil*, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11668/11668.pdf>, Stand: 02.05.2014.
- BMUKK.*, *Lehrplan Physik AHS Unterstufe. Physik*, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf>, Stand: 02.05.2014.
- Boxhofer Emmerich / Stütz Engelbert / Urban-Woldron Hildegard*, *Physik Stunde 4*, Linz 2002.
- Braun Juliane*, *Ist Licht Droge oder Arznei*. In: *Licht*, 11-12/2014, 88-92.
- Briggs Winslow R.*, *Plant photoreceptors: proteins that perceive information vital for plant development from the light environment*. In: *The Urban Wildlands Group and UCLA Institute of the Environment*, *Ecological Consequences of Artificial Lighting*, Los Angeles 2002, 10.

- Brocke Michaela / Holling Heinz*, Entscheidungstheorien. In: *Schuler Heinz / Sonntag Karlheinz* [Hg.], Handbuch der Arbeits- und Organisationspsychologie, Göttingen 2007, 59-65.
- Bromundt Vivien*, Licht stellt unsere innere Uhr - Zeitgeber und Grundlagen der Chronobiologie. In: *Held Martin / Hölker Franz / Jessel Beate* [Hg.], Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn/Bad Godesberg 2013, 27-30.
- Brüning Anika / Hölker Franz*, Lichtverschmutzung und die Folgen für Fische. In: *Held Martin / Hölker Franz / Jessel Beate* [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 69-72.
- Busch Christian*, Gute Laune, viel Zeit und ein Zahnbürstl, am 31.01.2014, <http://newsroom-de.austria.info/2014/01/31/gute-laune-viel-zeit-und-ein-zahnbuerstl/>, Stand: 10.04.2014.
- Bybee Rodger W.*, Achieving Scientific Literacy. Modelle in der Biologiedidaktik. In: *ZfDN*, 10/1997, 89-115.
- Bybee Roger W.*, The BSCS Instructional Model and 21st Century Skills, Paper prepared for the Workshop on Exploring the Intersection of Science Education and the Development of 21st Century Skills, 2009, http://itsisu.concord.org/share/Bybee_21st_Century_Paper.pdf, Stand: 26.08.2014.
- Casagrande Roberta / Giolini Patrizio*, City Lights and the Urban Green. In: *Cinzano Pierantonio* [Hg.], Measuring and modelling light pollution, *Memorie della Societa Astronomica Italiana (Journal of the Italian Astronomical Society)*, 71(1)/2000, 55-58.
- Cinzano Pierantonio*, The Growth of the Artificial Night Sky Brightness over North America in the Period 1947-2000. A preliminary Picture. In: *Schwarz Hugo E.* [Hg.], *Light Pollution: The Global View*, Dordrecht 2003, 39-47.
- Comenius Amos*, *Didactica magna*, caput XI, Sp. 49.
- Dobrinski Paul / Krakau Gunter / Vogel Anselm*, *Physik für Ingenieure*, Wiesbaden ¹⁰2003.
- Duenbostl Theodor / Mathelitsch Leopold / Oudin Theresia* unter Beratung von *Brezina Thomas*, *Physik erleben 4*, Wien 2000.
- Duenbostl Theodor / Oudin Theresia / Wandaller Kurt*, *Physik im Blick 4*, Wien 1985.
- Duit Reinders*, Alltagsvorstellungen berücksichtigen! In: *Müller Rainer / Wodzinski Rita / Hopf Martin* [Hg.], *Schülervorstellungen in der Physik*, Köln ³2011, 3-7.
- Duit Reinders*, Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In: *Müller Rainer / Wodzinski Rita / Hopf Martin* [Hg.], *Schülervorstellungen in der Physik*, Köln ³2011, 8-14.
- Eggert Sabina / Bögeholz Susanne*, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12/2006, 177-197.
- Eichler Jürgen*, *Physik für das Ingenieurstudium*, Wiesbaden ⁴2011.

- Eilks Ingo / Feierabend Timo / Höttecke Dietmar / Hössele Corinna / Menthe Jürgen / Mrochen Maria / Oelgeklaus Helen*, Bewerten Lernen und Klimawandel in vier Fächern – Erste Einblicke in das Projekt „Der Klimawandel vor Gericht“. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 64(1)/2011, 7-11.
- Eisenbeis Gerhard*, Insekten und künstliches Licht. In: *Posch Thomas / Freyhoff Anja / Uhlmann Thomas*, Das Ende der Nacht, Weinheim 2010, 61-79.
- Eisenbeis Gerhard*, Lichtverschmutzung und ihre Folgen für Nachtaktive Insekten. In: *Held Martin / Hölker Franz / Jessel Beate* [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 53-56.
- Elster Doris*, In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. In: *Plus Lucis* 3/2007, http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/073/s2_8.pdf, Stand: 15.04.2014, 2-8.
- Endlicher Wilfried*, Einführung in die Stadtökologie. Grundzüge des urbanen Mensch-Umwelt-Systems, Stuttgart 2012.
- Feierabend Timo / Eilks Ingo*, Teaching the societal dimension of chemistry along a socio-critical and problem-oriented lesson plan on the use of bioethanol. In: *Journal of Chemical Education*, 88/2011, 1250–1256.
- Feierabend Timo / Eilks Ingo*, Der Klimawandel vor Gericht. Bewerten lernen als Kern allgemeiner Bildung end essentielle Voraussetzung für gesellschaftliche Teilhabe. In: *Plus Lucis* 1-2/2011, 2-10.
- Fürnstahl Horst / Wolfbauer Michael*, Physik heute 4 für die Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen und der Hauptschulen, Linz 2000.
- Fürnstahl Horst / Wolfbauer Michael*, Physik heute 4 für die Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen und der Hauptschulen, Linz 2011.
- Gollenz Franz / Breyer Gustav / Tentschert Hans-Haimer / Reichel Erich*, Lehrbuch der Physik 4. Klasse, Wien 2013.
- Gollenz Franz / Stuzka Walther M. / Eder Josef / Tentschert Hans-Haimo*, Lehrbuch der Physik 4. Klasse, Wien 2005.
- Gruber Werner / Rupp Christian*, ganz klar. Physik 4, Wien 2006.
- Haagen-Schützenhöfer Claudia / Hopf Martin*, Testing students' conceptual understanding in geometrical optics with a two-tier instrument. In: *Taşar Mehmet Fatih*. [Hg.], Proceedings of World Conference of Physics Education 2012 in Istanbul: Book of Proceedings, Ankara 2014, 1327-1336.
- Hager Dietmar*, Macht uns künstliches Licht bei Nacht krank? In: *Streitt Ute / Schiller Elisabeth* [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 129-132.
- Haider Rosina / Nest Walter / Petek Karl*, Du und die Physik. 4. Klasse NMS und AHS, Salzburg 2014.

- Hammann* Marcus, Kompetenzentwicklungsmodelle. In: MNU, 57/2004, 196-203.
- Hänel* Andreas, Licht-Monitoring – Nachtschutz ist messbar. In: *Held* Martin / *Hölker* Franz / *Jessel* Beate [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 113-116.
- Hänel* Andreas, Lichtverschmutzung in Mitteleuropa. In: *Posch* Thomas / *Freiyhoff* Anja / *Uhlmann* Thomas [Hg.], Das Ende der Nacht. Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen, Weinheim 2010.
- Hänel* Andreas, Lichtverschmutzung und Ökologie, <http://www.lichtverschmutzung.de>, Stand: 29.05.2014.
- Hansen* Johnni, Light at Night, Shiftwork, and Breast Cancer Risk. In: Journal of the National Cancer Institute, 93(20)/2001, 1513-1515.
- Harten* Ulrich, Physik. Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Berlin / Heidelberg 2014.
- Hatzfeld* Ulrich, Stadt–Licht–Kultur. Stadtbaukultur bei dem Versuch, das Immaterielle etwas zu materialisieren“. In: *Brockhaus* Christoph, [Hg.], Stadtlicht Lichtkunst, Katalog zur Ausstellung in der Stiftung Wilhelm Lehmbruck Museum – Zentrum Internationaler Skulptur, Duisburg, (17.10.2004 – 30.01.2006), Köln 2004.
- Haupt* Heiko, Der Letzte macht das Licht an! – Zu den Auswirkungen leuchtender Hochhäuser auf den nächtlichen Vogelzug am Beispiel des „Post-Towers“ in Bonn. In: *Charadrius* 45(1)/2009, 1-19.
- Haupt* Heiko, Lichtverschmutzung und die Folgen für die Zugvögel. In: *Held* Martin / *Hölker* Franz / *Jessel* Beate [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 61-64.
- Heilig* Peter / *Rieger* Gebhard, Künstliches Licht. Unerwünschte Nebenwirkungen auf Natur und Gesundheit - Lichthygiene und Prophylaxe. In: *Arzneimittel-, Therapie-Kritik & Medizin und Umwelt*, 1/2012, 1-15.
- Heilig* Peter, Blendung aus dem Blickwinkel des Augenarztes. In: *Streitt* Ute / *Schiller* Elisabeth [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 121-128.
- Heilig* Peter, Überdosis Licht. In: *Concept Ophthalmologie* 2/2015, 24-26.
- Heitmann* Patricia, Bewertungskompetenz im Rahmen Naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie. In: *Niedderer* Hans / *Fischler* Helmut / *Sumfleth* Elke [Hrsg.], Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 142, Berlin 2013.
- Helm* Barbara / *Partecke* Jesko, Lichtverschmutzung und die Folgen für Singvögel. In: *Held* Martin / *Hölker* Franz / *Jessel* Beate [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 57-60.
- Herrmann* Dieter B., Die Milchstraße. Sterne, Nebel, Sternsysteme, Stuttgart 2003.

- Hölker Franz*, Lichtverschmutzung und die Folgen für Ökosysteme und Biodiversität. In: *Held Martin / Hölker Franz / Jessel Beate* [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 73-76.
- Hostenbach Julia*, Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht, Dissertation an der Fakultät für Chemie der Universität Duisburg-Essen, August 2011.
- Huemer Peter / Kühnreiter Hannes / Tarmann Gerhard M.*, Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten – Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol (Österreich). In: *Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen*, 12(4)/2011 , 110-135.
- Huemer Peter*, Kunstlicht als Gefährdungsfaktor für nachtaktive Insekten, besonders für Schmetterlinge. In: *Streitt Ute / Schiller Elisabeth* [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 89-97.
- Jaritz Heinz / Jezik Stefan*, Welt der Physik, Wien 1991.
- Jung Walter*, Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: *Müller Rainer / Wodzinski Rita / Hopf Martin* [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 15-19.
- Karasek Christina*, Immaterielle Farbräume – Lichtkunst im musealen und urbanen Kontext in Europa seit 1900. Dissertation an der Karl-Franzens-Universität Graz am Institut für Kunstgeschichte 2009.
- Kattmann Ulrich / Duit Reinders / Gropengießer Harald / Komorek Michael*, Das Modell der didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *ZfDN* 3(3)/1997, 3-18.
- Kaufmann Erwin / Zöchling Adolf*, Physik in unserer Welt 4, Wien 1992.
- Kaufmann Erwin / Zöchling Adolf*, Physik verstehen 4. Klasse, Wien 2014.
- Klafki Wolfgang*, Didaktische Analyse, Hannover 1969.
- Knab Barbara*, Lichtverschmutzung und ihre Folgen für die menschliche Gesundheit. In: *Held Martin / Hölker Franz / Jessel Beate* [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 77-80.
- König Sabina*, „Zit neh füranandr“. Vorarlberg: Eltern-Kind-Zeit im Brandnertal, 11.03.2014, <http://newsroom.austria.info/2014/03/zit-neh-fueranandr/>, Stand: 10.04.2014.
- König Sabina*, Unterm Sternenhimmel. SalzburgerLand: exklusive Nächte im „Das Goldberg“, am 11.02.2014, <http://newsroom.austria.info/2014/02/unterm-sternenhimmel-2/>, Stand: 10.04.2014.
- König Sabina*, Unterm Sternenhimmel. Vorarlberg: ausspannen zu zweit in Bezau, am 11.12.2012, <http://newsroom.austria.info/2012/12/unterm-sternenhimmel/>, Stand: 10.04.2014.
- Kruisz Christian / Hitzenberger Regina*, Physik verstehen, Wien 2005.

- Lewanzik Daniel / Voigt Christain C.*, Lichtverschmutzung und die Folgen für Fledermäuse. In: *Held Martin / Hölker Franz / Jessel Beate* [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 65-68.
- Lichttechnische Gesellschaft Österreichs*, Arbeitskreis öffentliche Beleuchtung und Energieverbrauch, LED, Revolution in der Lichttechnik?, <http://www.ltg-aussenbeleuchtung.at/media/LED-2012.pdf>, Stand: 30.05.2014.
- Linhardt Felix / Kopper Manuela / Reithofer Markus / Wuchterl Günther*, Licht über Wien II, Kontinuierliche Messungen der nächtlichen Globalstrahlung und Energieaufwand für die Wiener Lichtglocke im Jahr 2012, Kuffner Sternwarte, Institut für Astronomie der Universität Wien, im Auftrag der WUA, Wien 2013, http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/licht_ueber_wien_allgemeiner_teil_2012.pdf und http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/licht_ueber_wien_anhang_2012.pdf, Stand: 01.04.2014.
- Linhardt Felix / Kopper Manuela / Reithofer Markus / Wuchterl Günther*, Licht über Wien III, Kontinuierliche Messungen der nächtlichen Globalstrahlung und Energieaufwand für die Wiener Lichtglocke im Jahr 2013, Kuffner Sternwarte, Institut für Astronomie der Universität Wien, im Auftrag der WUA, Wien 2014, <http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/licht-ueber-wien-2013.pdf>, Stand: 01.04.2014.
- Lohmeyer Gottfried C. O. / Bergmann Heinz / Post Matthias*, Praktische Bauphysik. Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen, Wiesbaden ⁵2005.
- Marks Ralf / Eilks Ingo*, Low Fat oder Low Carbs? – Kooperatives Lernen in einem gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterricht. In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie*, 16(88/89)/2005.
- Meschede Dieter*, Gerthsen Physik, Berlin / Heidelberg 2010.
- Mikelskis-Seifert Silke / Duit Reinders*, Schülervorstellungen und Lernen von Physik. In: *Duit Reinders / Mikelskis-Seifert Silke* [Hg.], Physik im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht, Seelze 2010.
- Mouritsen Henrik / Ritz Thorsten*, Magnetoreception and its use in bird navigation, *Current Opinion in Neurobiology*, 15/2005, 406-414.
- Muckenfuß Heinz*, Lernen im sinnstiftenden Kontext, Düsseldorf 1995.
- Narisada Kohei / Schreuder Duco*, Light Pollution Handbook, Dordrecht 2004.
- Parchmann Ilka / Demuth Reinhard / Ralle Bernd / Paschmann Hans / Huntemann Heike*, Chemie im Kontext – Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten. *PdN-ChiS*, 50(1) 2001.
- Payer Peter*, Urbanes Lichtermeer. Stadtimage und künstliche Beleuchtung. In: *Streitt Ute / Schiller Elisabeth* [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 55-64.

- Pfiffinger* Gerald, Unerwünschte Auswirkungen der künstlichen Beleuchtung auf die Vogelwelt. In: *Streitt* Ute / *Schiller* Elisabeth [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 99-104.
- Pikall* Holger / *Hron* Josef / *Netopil* Martin / *Posch* Thomas / *Wuchterl* Günther / *Zeitlinger* Norbert, How many Stars do we still see? First Results from a simple Light Pollution Experiment. In: *Schwarz* Hugo E. [Hg.], Light Pollution: The Global View, Dordrecht 2003, 287-292.
- Posch* Thomas / *Puschnig* Johannes, Geschichte und Gegenwart: Öffentliche Beleuchtung und Lichtverschmutzung im Großraum Wien. In: *Streitt* Ute / *Schiller* Elisabeth [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 75-88.
- Posch* Thomas, Besser beleuchten – Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing der Beleuchtung. In: *Held* Martin / *Hölker* Franz / *Jessel* Beate [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 43-46.
- Ratcliffe* Mary, Pupils' Decision making about socio-scientific issues within the science curriculum. In: International Journal of Science Education, 19/1997, 167-182.
- Reithofer* Markus / *Wuchterl* Günther / *Chwatal* Andreas / *Posch* Thomas / *Linhardt* Felix / *Kopper* Manuela, Exemplarischer Lichtkataster - Licht über Wien. Kuffner Sternwarte, Institut für Astronomie der Universität Wien, im Auftrag der WUA (Wiener Umweltanwaltschaft), Wien 2012, <http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/lichtverschmutzung-lichtkataster.pdf>, Stand: 01.04.2014.
- Rhöneck* Christoph von / *Niedderer* Hans, Schülervorstellungen und ihre Bedeutung beim Physiklernen. In: *Mikelskis* Helmut F. [Hg.], Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II, Berlin 2006.
- Roberts* Lily / *Wilson* Mark / *Draney* Karen, The SEPUP assessment system. An Overview, Berkley 1997.
- Roman* Andrea / *Cinzano* Pierantonio / *Giacometti* Giorgio M. / *Giulini* Patrizio, Light Pollution and Possible Effects on Higher Plants. In: *Cinzano* Pierantonio [Hg.], Measuring and modelling light pollution, Memorie della Societa Astronomica Italiana (Journal of the Italian Astronomical Society), 71(1)/2000, 59-70.
- Rost* Jürgen, Umweltbildung - Bildung für nachhaltige Entwicklung. Was macht den Unterschied? In: Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik, 25/2002/1, 7-12.
- Sander* Hannes Sebastian, Der Einfluss von Bewertungsstrukturwissen auf Bewertungskompetenz bei Schüler/innen – Instrumententwicklung und –erprobung, Masterarbeit, Universität Hamburg 2012.
- Sadler* Troy D., Situating Socio-scientific Issues in Classrooms as a Means of Achieving Goals of Science Education. In: *Sadler* Troy D. [Hg.], Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research, Dordrecht 2011, 1-9.

- Sadler Troy D.*, Socio-scientific Issues as Contexts for Learning and Practice in Science Education. In: *Höttecke Dietmar* [Hg.], Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie, Berlin 2011, 6-16.
- Santen Christa van*, Lichtraum Stadt. Lichtplanung im urbanen Kontext, Basel 2006.
- Scheibe Mark Andreas*, Quantitative Aspekte der Anziehungskraft von Straßenbeleuchtungen auf die Emergenz aus nahegelegenen Gewässern (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae, Chironomidae, Empididae) unter Berücksichtigung der spektralen Emission verschiedener Lichtquellen. Doktorarbeit im Fachbereich Biologie, Institut für Zoologie, Johannes Gutenberg Universität Mainz 2000.
- Schindler Jörg / Zittel Werner*, Energieverbrauch für Beleuchtung. In: *Held Martin / Hölker Franz / Jessel Beate* [Hg.], Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft, Bonn 2013, 47-50.
- Soneira Martin*, Auswirkungen auf die Insekten-Fauna durch die Umrüstung von Kugelleuchten auf LED-Beleuchtungen. Eine Auftragsstudie der Stadt Wien (MA 33 Wien Leuchtet) zu den quantitativen Auswirkungen auf nacht- und dämmerungsaktive Insekten (Insecta), im Zuge der Modernisierungsmaßnahmen der Leuchten auf der Donauinsel, Wien 2013.
- Steck Bernhard*, Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten, Berlin 1997.
- Tipler Paul A. / Mosca Gene*, Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, München 2004.
- Tiroler Umweltanwaltschaft*, Die Helle Not. Künstliche Lichtquellen – ein unterschätztes Umweltproblem, Innsbruck ³2009, <http://www.hellenot.org>, Stand: 12.07.2014.
- Tiroler Umweltanwaltschaft*, zu hell. Die Helle Not. Wenn Licht zum Problem wird, Innsbruck 2012.
- UNCED*, Agenda 21. Verabschiedet auf der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro 1992.
- UNEP / gef*, The Rapid Transition to Energy Efficient Lighting: An Integrated Policy Approach, 2013.
- Verkasalo Pia / Pukkala Eero / Stevens Richard / Ojamo Matti / Rudanko Sirkka-Liisa*, Inverse association between breast cancer incidence and degree of visual impairment in Finland. In: British Journal of Cancer, 80(9)/1999, 1459–1460.
- Verordnung der Bundesministerin für Bildung, Wissenschaft und Kultur, mit der die Verordnung über die Lehrpläne der allgemein bildenden höheren Schulen geändert wird; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht, Kundgemacht in: BGBl. II Nr. 133/2000, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11668/11668.pdf>, Stand: 24.03.2014.
- Weinert Franz E.*, Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: *Weinert Franz E.* [Hg.], Leistungsmessung in Schulen, Weiheim / Basel 2001, 17-31.

Wesselak Viktor / Schabbach Thomas / Link Thomas / Fischer Joachim, Regenerative Energietechnik, Berlin / Heidelberg ²2013.

Wiesner Hartmut, Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. In: Müller Rainer / Wodzinski Rita / Hopf Martin [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 155-159.

Wittig Rüdiger / Streit Bruno, Ökologie, Stuttgart 2004.

Wodzinski Rita, Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: Müller Rainer / Wodzinski Rita / Hopf Martin [Hg.], Schülervorstellungen in der Physik, Köln ³2011, 23-36.

Wuchterl Günther / Linhardt Felix, Lightmeter, <http://kuffner-sterne.wart.at/hms/wiki/index.php5?title=Lightmeter>, Stand: 02.09.2014.

Zwiorek Sigrid, Mädchen und Jungen im Physikunterricht. In: Mikelskis Helmut F. [Hg.], Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II, Berlin 2006, 73-85.

8. Bildquellenverzeichnis

Abbildung 1: erstellt nach Patricia *Heitmann*, Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie, Berlin 2013, S. 37.

Abbildung 2: erstellt nach Sabina *Eggert* / Susanne *Bögeholz*, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 12, 2006, 177-197, S. 177f.

Abbildung 3: Heinz *Muckenfuß*, Lernen im sinnstiftenden Kontext, Düsseldorf 1995, S. 81.

Abbildung 4 und **Abbildung 5:** Doris *Elster*, In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. In: Plus Lucis 3/2007, online http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/073/s2_8.pdf, Stand: 15.04.2014, 2-8, S. 5.

Abbildung 6: Horst *Frank* (CC-BY-SA-2.5 and GNU FDL), <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spektrum99.jpg>, Stand: 29.06.2014.

Abbildung 7 und **Abbildung 8:** *Amt der Oö. Landesregierung. Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz* [Hg.], Leitfaden Besseres Licht. Alternativen zum Lichtsmog (Linz 2013) 33.

Abbildung 9: *Amt der Oö. Landesregierung*, Leitfaden Besseres Licht, 36.

Abbildung 10: Paul A. *Tipler* / Gene *Mosca*, Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, München 2004, S. 995.

Abbildung 11: erstellt nach *Tipler*, Physik, S. 1006f.

Abbildung 12: Thomas *Posch* / Johannes *Puschnig*, Geschichte und Gegenwart: Öffentliche Beleuchtung und Lichtverschmutzung im Großraum Wien. In: Ute *Streitt* / Elisabeth *Schiller* [Hg.], Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung, Linz 2012, 75-88, hier 80.

Abbildung 13: Florian *Schweidler* (Public Domain), <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/LichtVerschmutzung1.jpg>, Stand: 30.11.2014.

Abbildung 14: NASA

Abbildung 15: dimm light, <http://www.dimmlight.de/home/dimmlight/funktion.html>, Stand: 30.05.2014.

Abbildung 16: erstellt nach den geschilderten Schülervorstellungen in Rüdiger *Blumör*, Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik. Ein Beitrag zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts in der Grundschule, Magdeburg 1993, S. 59.

Abbildung 17: erstellt nach den Inhalten von Ernst *Kircher* / Raimund *Girwidz* / Peter *Häußler*, Physikdidaktik. Theorie und Praxis, Heidelberg²2009, S. 116.

Abbildung 18: erstellt nach Roger W. *Bybee*, The BSCS Instructional Model and 21st Century Skills, Paper prepared for the Workshop on Exploring the Intersection of Science Education and the Development of 21st Century Skills, 2009. Online: http://itsisu.concord.org/share/Bybee_21st_Century_Paper.pdf, Stand: 26.08.2014.

deutsche Übersetzung: Lehrveranstaltung „Fachdidaktisches Praktikum Physik“ an der Uni Wien

Abbildung 19: Markus *Reithofer*

Abbildung 20 und **Abbildung 21:** Felix *Linhardt*

Abbildung 22: alle Fotos Felix *Linhardt* und Markus *Reithofer*

Abbildung 23:

Nachfalter: Olaf *Leillinger* (CC-BY-SA-2.5 and GNU FDL),
<http://de.wikipedia.org/wiki/Gammaeule#mediaviewer/Datei:Autographa.gamma.6902.jpg>, Stand: 09.06.2014.

Blatt: Thomas *Netsch* (CC BY-SA 3.0 AT),
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Ahorn-Blatt-2005-10-05.jpg>, Stand: 09.06.2014.

Gänse: *sipa* (CC0 Public Domain), <http://pixabay.com/de/wildg%C3%A4nse-gans-wildgans-278987/>, Stand: 09.06.2014.

Stetoskop: Kai *Stachowiak* (CC0 Public Domain), <https://pixabay.com/de/stethoskope-gesundheit-krankenhaus-250356/>, Stand: 07.07.2015.

Teleskop: *ClkerFreeVectorImages* (CC0 Public Domain),
<https://pixabay.com/de/users/ClkerFreeVectorImages-3736/>, Stand: 07.07.2015.

Blitz: *ClkerFreeVectorImages* (CC0 Public Domain), <https://pixabay.com/de/blitz-energie-bolzen-gr%C3%BCn-kreis-305038/>, Stand: 07.07.2015.

Abbildung 24:

Lightmeter: Günther *Wuchterl*, http://kuffner-sternwarte.at/hms/wiki/index.php5?title=Bild:Lightmeter_1Euro_persp.png, Stand: 09.06.2014.

Chile: André *Müller*, http://kuffner-sternwarte.at/hms/wiki/index.php5?title=Bild:Armazones_Lightmeter_preinstall.JPG, Stand: 09.06.2014.

Teneriffa: Hans *Deeg*, http://kuffner-sternwarte.at/hms/wiki/index.php5?title=Bild:Lightmeter_Teide_observatory.jpeg, Stand: 09.06.2014.

Dürrenstein: Günther *Wuchterl*

Abbildung 25:

erste Straßenbeleuchtung (Kugelleuchte): Markus *Reithofer*

zweite Straßenbeleuchtung: Manuela *Kopper*

dritte Straßenbeleuchtung, alle Geschäftsbeleuchtungen: Markus *Reithofer* / Günther *Wuchterl* / Andreas *Chwatal* / Thomas *Posch* / Felix *Linhardt* / Manuela *Kopper*, Exemplarischer Lichtkataster - Licht über Wien. Kuffner Sternwarte, Institut für Astronomie der Universität Wien, im Auftrag der WUA (Wiener Umwelthanwaltschaft), Wien 2012, online: <http://wua-wien.at/home/images/stories/publikationen/lichtverschmutzung-lichtkataster.pdf>, Stand: 01.04.2014, S. 19f.

Kirche in Niederleis (blaue Strahler): Walter *Koprolin*,
http://www.nightsky.at/Obs/LP/LP_Gallery/Kirchen_und_Hist/Kirchenbeleuchtung_Niederleis.html, Stand 17.02.2014.

Stephansdom: Norbert *Fiala* und Günther *Wuchterl*, veröffentlicht in *Reithofer*, Licht über Wien, Titelbild.

dritte Gebäudebeleuchtung (Kirche): Markus Reithofer

Abbildung 26: Felix Linhardt

Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29: Manuela Kopper

Abbildung 32 bis Abbildung 55: erstellt aus den Daten der Pre- und Post-Tests sowie der abgegebenen Arbeitsblätter der Schüler und Schülerinnen

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und das Urheberrecht bei allen verwendeten Bildern und Grafiken zu wahren. Sollten Sie dennoch einen Verstoß gegen ein Urheberrecht feststellen, so bitte ich Sie, mich darüber zu informieren.

9. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 1: Formen des reasoning bei scientific issues und socio-scientific issues | 22 |
| Abbildung 2: Göttinger Modell der Bewertungskompetenz | 25 |
| Abbildung 3: Sachinteresse von Schülern und Schülerinnen an physikalischen Themen | 28 |
| Abbildung 4: Interesse von Mädchen und Buben an naturwissenschaftlichen Inhalten. | 30 |
| Abbildung 5: Interesse von Mädchen und Buben an naturwissenschaftlichen Kontexten. | 30 |
| Abbildung 6: Das für den Menschen sichtbare Spektrum des Lichts | 32 |
| Abbildung 7: Spektrum einer kalt-weißen LED | 33 |
| Abbildung 8: Spektrum einer warm-weißen LED | 34 |
| Abbildung 9: Spektrum einer Glühlampe..... | 34 |
| Abbildung 10: Photon-Atom Wechselwirkungen..... | 37 |
| Abbildung 11: Reflexion und Brechung | 38 |
| Abbildung 12: Entwicklung der Zahl der Lampen für die öffentliche Beleuchtung Wiens ... | 43 |
| Abbildung 13: Lichtstrahlen verschiedener Straßenleuchten..... | 45 |
| Abbildung 14: Satellitenaufnahme – Europa bei Nacht | 50 |
| Abbildung 15: Einsparungspotential mittels Dimmer von KD Elektroniksysteme | 56 |
| Abbildung 16: Schülervorstellungen von Licht..... | 59 |
| Abbildung 17: Elementarisierung und Didaktische Rekonstruktion | 62 |
| Abbildung 18: Aufbau einer Unterrichtseinheit nach dem Prinzip der fünf E's | 67 |
| Abbildung 19: Das Sternbild Orion: links ohne, rechts mit Lichtverschmutzung..... | 71 |
| Abbildung 20: Quellen von Licht in der Nacht | 72 |
| Abbildung 21: Bildliche Darstellung der Entstehung von Lichtverschmutzung | 73 |
| Abbildung 22: Beispiele für Lichtverschmutzung | 75 |
| Abbildung 23: Folien zu den negativen Auswirkungen von Lichtverschmutzung..... | 76 |
| Abbildung 24: Das Lightmeter als spezielles Gerät zur Messung | 77 |
| Abbildung 25: Beispiele für Quellen der Lichtverschmutzung | 78 |
| Abbildung 26: Bildliche Darstellung - physikalische Entstehung von Lichtverschmutzung.. | 80 |
| Abbildung 27: Versuch Straßenleuchte..... | 81 |
| Abbildung 28: Vermessung Straßenleuchte. | 82 |
| Abbildung 29: MindMap zur Frage „Was kann man gegen Lichtverschmutzung tun?“ | 86 |
| Abbildung 41: Von den Schülern und Schülerinnen entworfenen Straßenleuchten..... | 99 |
| Abbildung 31: Einteilung der Schülertexte in die Kompetenzniveaus | 101 |
| Abbildung 32: Errechnete Mittelwerte aus den Bewertungen des Pre-Tests | 106 |
| Abbildung 33: Beschreibe, was du auf dem Bild siehst! | 107 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 34: Zu welcher Jahreszeit ist dieses Bild aufgenommen worden? | 108 |
| Abbildung 35: Zu welcher Tageszeit ist dieses Bild aufgenommen worden? | 108 |
| Abbildung 36: Woher kommt das Licht, das auf diesem Bild sichtbar ist? | 109 |
| Abbildung 37: Wieso sind die Wolken und der darunter sichtbare Himmel erleuchtet?..... | 109 |
| Abbildung 38: Stellt das auf dem Bild sichtbare Licht für jemanden ein Problem dar? | 110 |
| Abbildung 39: Kennen Lernende der 8. Schulstufe den Begriff „Lichtverschmutzung? | 112 |
| Abbildung 40: Themenbereiche zu Umweltschutz und Umweltverschmutzung | 113 |
| Abbildung 41: Themenbereiche zu Umweltschutz und Umweltverschmutzung im Detail .. | 114 |
| Abbildung 42: Einstellung zu Themen des Umweltschutzes | 117 |
| Abbildung 43: Einstellung zum Thema Lichtverschmutzung nach den | 119 |
| Abbildung 44: Einstellung zu den beiden Unterrichtseinheiten | 119 |
| Abbildung 45: Beantwortung Beispiel „Pappe und Spiegel“ in Prozent | 122 |
| Abbildung 46: Beantwortung Beispiel „Lagerfeuer“ in Prozent | 123 |
| Abbildung 47: Beantwortung Beispiel „Emmas Geburtstag“ in Prozent..... | 123 |
| Abbildung 48: Beantwortung Beispiel „Straßenleuchte“ in Prozent | 124 |
| Abbildung 49: Beantwortung Beispiel „Lasershow“ in Prozent | 124 |
| Abbildung 50: Beantwortung Beispiel „Schattenwurf der Straßenlaterne“ | 124 |
| Abbildung 51: Was ist mit dem Begriff Lichtverschmutzung gemeint? | 125 |
| Abbildung 52: Wodurch entsteht Lichtverschmutzung?..... | 126 |
| Abbildung 53: Welche Probleme verursacht Lichtverschmutzung?..... | 127 |
| Abbildung 54: Warum das Thema Lichtverschmutzung keine Rolle mehr spielen wird | 128 |
| Abbildung 55: Wird das Thema Lichtverschmutzung weiterhin eine Rolle spielen? | 129 |

10. Tabellenverzeichnis

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 1: Teilkompetenzen Handlungskompetenz - Kompetenzmodell NAWI des bifie | 18 |
| Tabelle 2: Kompetenzniveaus Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ ... | 26 |
| Tabelle 3: Fachbegriffe zur Beleuchtungstechnik | 39 |
| Tabelle 4: Charakteristische Werte für Leuchtdichten, Himmelselligkeiten | 40 |
| Tabelle 5: Bewertungsgrößen zur Beurteilung der Nachthimmelsqualität | 41 |
| Tabelle 6: Mögliche Antworten zur Wiederholung der Inhalte | 84 |
| Tabelle 7: Fragestellungen im Pre-Test zu bestimmten Key Ideas der Optik | 88 |
| Tabelle 8: Beobachtungsschwerpunkte für die teilnehmenden Beobachtung | 93 |
| Tabelle 9: Anzahl der Lernenden in den jeweiligen Klassen, | 96 |
| Tabelle 10: Zeitlicher Ablauf der Testungen sowie der Unterrichtseinheiten (UE) | 96 |
| Tabelle 11: Zusammenhang: Bestimmung der Lichtquelle und verursachte Probleme | 110 |
| Tabelle 12: Mit den jeweiligen Testitems überprüfte Vorstellungen zur Optik | 121 |

11. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [...] | Auslassung |
| AHS | Allgemeinbildende Höhere Schule |
| App | Application Software – für internetfähige Mobilgeräte |
| bifie | Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung des österreichischen Schulwesens |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| ebd. | ebenda |
| gef | Global Environment Facility |
| GWh | Gigawatt Stunden |
| NMS | Neue Mittelschule |
| SEPUP | Science Education for Public Understanding Program |
| SSI | social-scientific issue |
| SuS | Schüler und Schülerinnen |
| UNCED | United Nations Conference on Environment and Development |
| UNEP | United Nations Environment Programme |
| UTC | Weltzeit (Universal Time Coordinated) |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| WUA | Wiener Umweltschutzanstalt |
| σ | Standardabweichung Sigma |
| \bar{x} | Mittelwert |

Zeitschriften

| | |
|----------|---------------------------------------------------------|
| PdN-ChiS | Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule |
| ZfDN | Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft |
| MNU | Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht |

Anhang

Anhang 1: Pre-Test

Lieber Schüler, liebe Schülerin!

Danke für deine Bereitschaft, Auskunft über dein Wissen zu geben. Du hilfst mir dabei, meine Unterrichtsmaterialien weiter zu entwickeln. Deine Daten bleiben selbstverständlich anonym. Bitte versuche bei jeder Frage eine Antwort anzukreuzen bzw. etwas hin zu schreiben, auch wenn du dir nicht ganz sicher bist, was bzw. ob es stimmt.

CODE:

| | | | |
|----------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| <input type="text"/> | erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter | <input type="text"/> | Erste Ziffer deiner Hausnummer |
| <input type="text"/> | erster Buchstabe des Monats, in dem du Geburtstag hast | <input type="text"/> | erster Buchstabe deines Vornamens |

Ein paar Angaben für die Statistik:

Geschlecht: weiblich männlich

Ich bin ____ Jahre alt.

Meine letzte Note in Physik war (Schulnachricht 1. Semester): _____

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

_____.

| Bitte kreuze an! | trifft völlig 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"/> |

1. Teil: Zum Bild



- a) Beschreibe, was du auf dem Bild siehst! Was alles könnte das sein?

- b) Zu welcher Jahreszeit ist dieses Bild aufgenommen worden?

- c) Zu welcher Tageszeit ist dieses Bild aufgenommen worden?

- d) Woher kommt das Licht, das auf diesem Bild sichtbar ist?

- e) Wieso sind die Wolke und der darunter sichtbare Himmel erleuchtet? Bitte gib eine physikalische Erklärung. Antworte in ganzen Sätzen.

- f) Stellt das auf diesem Bild sichtbare Licht für jemanden ein Problem dar? Wenn ja, für wen könnte das Licht zum Problem werden? Warum?

CODE:

| | |
|--|--------------------------------------------------------|
| | erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter |
| | erster Buchstabe des Monats, in dem du Geburtstag hast |

| | |
|--|-----------------------------------|
| | Erste Ziffer deiner Hausnummer |
| | erster Buchstabe deines Vornamens |

Weitere Fragen:

a) Hast du schon etwas von „Lichtverschmutzung“ gehört?

b) Wenn ja:

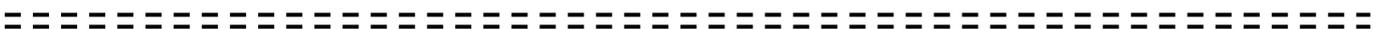
a. Von wem hast du den Begriff gehört?

b. Wo hast du den Begriff gehört?

c. Erkläre was mit diesem Begriff gemeint ist.

c) Wenn nein:

a. Auch wenn du noch nichts über Lichtverschmutzung gehört hast. Hast du eine Vermutung, was dieser Begriff bedeuten könnte?



2. Teil: Optik

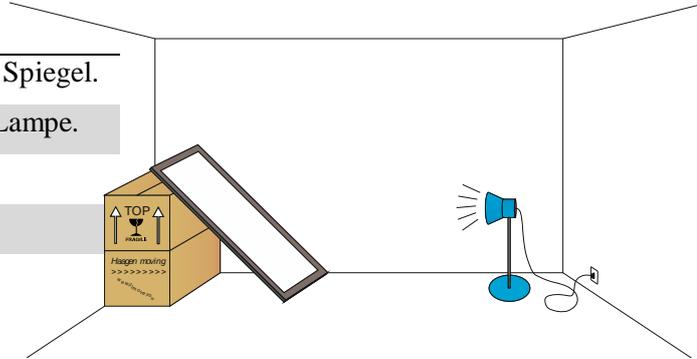
Kreuze an – es können auch mehrere Antworten richtig sein.

Pappe und Spiegel

PUS1) Im Zimmer ist es dunkel. Die Lampe leuchtet gegen den Spiegel.

a) Was siehst du?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 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. |



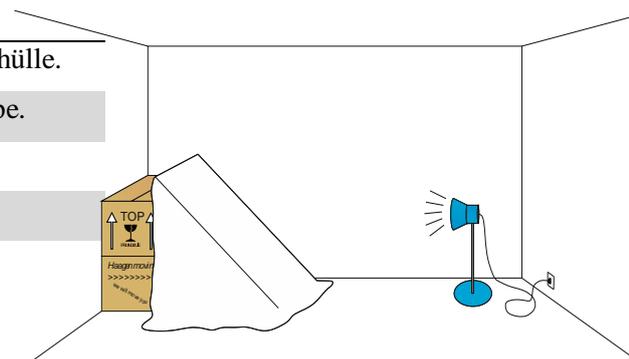
b) Warum siehst du das?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 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"/> | Der Spiegel verteilt das Licht in alle Richtungen. |
| <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. |

PUS2) Im Zimmer ist es dunkel. Der Spiegel wurde mit einer weißen Stoffhülle abgedeckt.

a) Was siehst du im Zimmer?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Einen hellen Fleck an der Decke über der Stoffhülle. |
| <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 auf dem Tuch. |



b) Warum siehst du das?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht von der Lampe bleibt auf der Stoffhülle liegen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht von der Lampe wird von der Stoffhülle an die Decke reflektiert. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Stoffhülle verteilt das Licht in alle Richtungen. |
| <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. |

Lagerfeuer

LF1) Kinder sitzen in der Nacht um ein Lagerfeuer.



a) Was trifft zu?

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?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> 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 (Intensität) von Licht nimmt mit der Entfernung ab. |

LF2) Kinder sitzen bei Tag um ein Lagerfeuer.



a) Was trifft zu?

Licht des Lagerfeuers:

- 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 Tag?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> 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 vom Licht nimmt mit der Entfernung ab. |

LF3) a) Was ist hier richtig und falsch?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht breitet sich in der Nacht weiter aus als am Tag. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht breitet sich am Tag und in der Nacht gleich weit aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht breitet sich am Tag weiter aus als in der Nacht. |

b) Wie erklärst du deine Antwort oben?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht braucht Dunkelheit, damit es sich ausbreiten kann. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Das Licht vom Lagerfeuer ist zu schwach um das Tageslicht zu verdrängen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Das Licht vom Lagerfeuer und das Tageslicht vermischen sich. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht kann nur von materiellen Teilchen abgelenkt werden. |

Emmas Geburtstag

EG1) Emma hat Geburtstag. Als Überraschung gibt es eine Geburtstagstorte mit Kerze. Emmas Augen sind fest und gut mit einer Augenbinde verbunden.

a) Was kann Emma sehen? Gib an, was richtig und was falsch ist!



| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|---------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kerzenflamme. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Torte. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Nichts. |

b) Welche Begründungen sind richtig, welche falsch?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Wir sehen nur Gegenstände, von denen Licht in unsere Augen fällt. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Wir sehen nur Gegenstände, die selbst leuchten. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Es ist hell im Raum. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Augenbinde versperrt die Sicht. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Das Bild der Kerze kann wegen der Augenbinde nicht in die Augen gelangen. |

EG2) Die Augenbinde ist nun weg. Emma sieht die Torte und die Kerzenflamme.

a) Was ist notwendig, damit Emma die **Kerzenflamme** sehen kann?

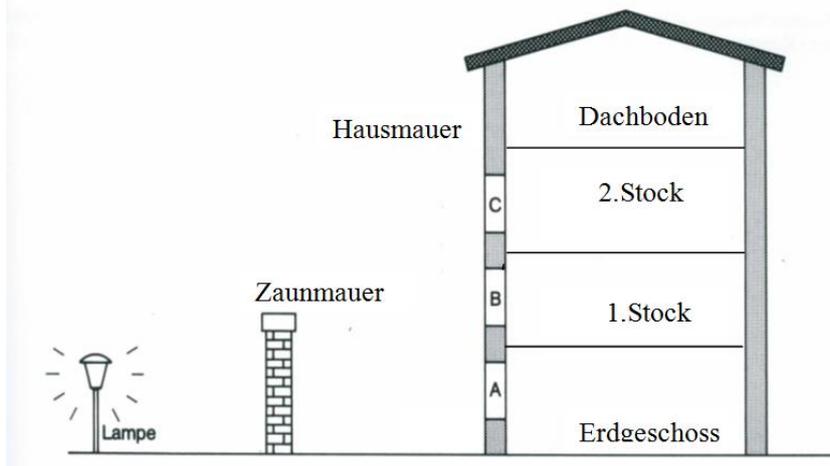
| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Flamme sendet Licht aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht von der Flamme fällt in Emmas Augen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Flamme macht den Raum hell. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Emma schaut auf die Flamme hin. |



b) Warum kann Emma die **Torte** sehen?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Torte sendet Licht aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht von der Torte fällt in Emmas Augen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Es ist hell im Raum. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Emma schaut auf die Torte hin. |

Straßenlaterne



SL1) Betrachte die Abbildung. Es ist **Tag**.

a) Die Lampe ist **ausgeschaltet**. Von wo aus kannst du die Lampe sehen?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Von Fenster A aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Von Fenster B aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Von Fenster C aus. |

b) Wie erklärst du deine Entscheidung in der Frage oben?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Ich schaue Richtung Lampe. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Nichts versperrt die Sicht auf die Lampe. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht von der Lampe fällt in meine Augen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Es ist draußen hell. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Lampe reflektiert das Sonnenlicht. |

Lasershow

LS1) Vor jeder Lasershow wird Nebel in den Saal eingeblasen.



a) Wozu ist der Nebel gut?

- 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 oben?

- 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.

LS2) Die Nebelmaschine ist kaputt. Die Lasershow wurde trotzdem gestartet.

a) Was passiert ohne Nebel?

- Die Laserstrahlen sind weiß und nicht mehr bunt.
- Die Laserstrahlen heizen den Saal auf.
- Das Gleiche wie mit Nebel.
- Man sieht keine Laserstrahlen nur Punkte an den Wänden.

b) Wähle die beste physikalische Begründung für deine vorherige Antwort!

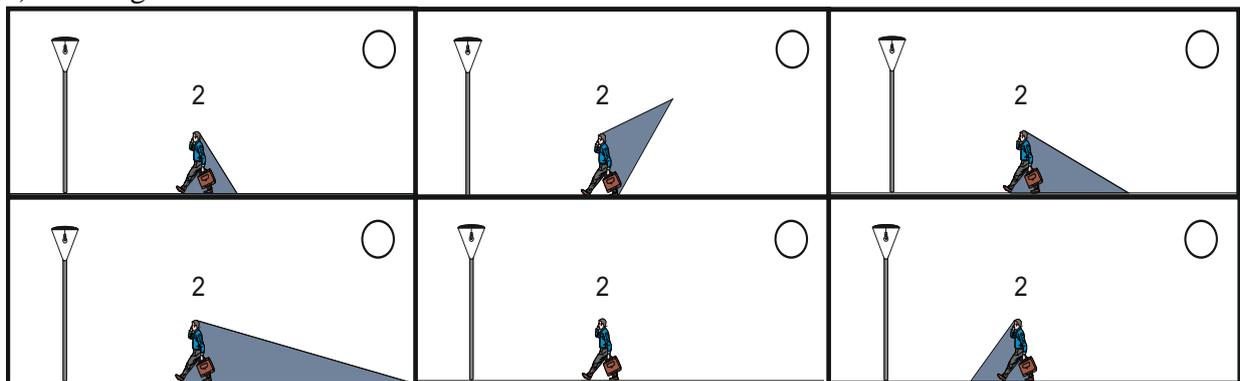
- Nebeltropfen lenken das Licht in alle Richtungen ab.
- Nebeltropfen stoppen den Laserstrahl ab.
- Die Nebeltropfen spalten die verschiedenen Laserstrahlen in alle Regenbogenfarben auf.
- Laserlicht bleibt auf der Wand liegen.

Schattenwurf der Straßenlaterne

SWL1) Es ist Nacht und zwei Männer stehen unter einer Straßenlaterne. Der Schatten von Mann 1 ist eingezeichnet.



a) Wie lang ist der Schatten von Mann 2?



b) Warum ergeben sich diese Schattenlängen?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Beide Männer haben die gleiche Form. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Kraft des Lichts nimmt mit der Entfernung ab. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht breitet sich gerade aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Das Licht trifft unterschiedlich steil auf die Männer. |

3. Teil: Umwelt

a) Umweltschutz:

a. Was verstehst du unter dem Begriff Umweltschutz?

b. Nenne Beispiele für Umweltschutz!

b) Umweltverschmutzung:

a. Was verstehst du unter dem Begriff Umweltverschmutzung?

b. Nenne Beispiele für Umweltverschmutzung!

c) Kreuze an, wie sehr du folgenden Aussagen zustimmst!

| | Ich stimme sehr zu. | Ich stimme zu. | Ich stimme nicht zu. | Ich stimme gar nicht zu. | weiß nicht |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|--------------------------|------------|
| Energiesparen sollte das oberste Ziel der Menschen sein. | | | | | |
| Umweltverschmutzung hat keinen Einfluss auf unser Klima. | | | | | |
| Ich bin bereit, für Umweltschutz persönliche Opfer zu bringen. | | | | | |
| Die Umweltverschmutzung schadet Menschen. | | | | | |
| Oberstes Ziel aller Regierungen sollte Energiesparen sein. | | | | | |
| Mülltrennung ist unnötig. | | | | | |
| Zuhause schalten wir unsere Elektronikgeräte ganz ab, anstatt sie auf Standby zu belassen. | | | | | |
| Die Vermeidung von Umweltverschmutzung darf die Gesellschaft viel Geld kosten. | | | | | |
| Regierungen sollten für Umweltschutz mehr Geld ausgeben. | | | | | |

| | Ich stimme sehr zu. | Ich stimme zu. | Ich stimme nicht zu. | Ich stimme gar nicht zu. | weiß nicht |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Bei uns zuhause wird der Müll getrennt (Papier, Verpackung, Restmüll, ...). | | | | | |
| Die Umweltverschmutzung schadet Tieren. | | | | | |
| Jeder Einzelne kann einen Beitrag zum Umweltschutz leisten. | | | | | |
| Ich glaube, dass es eine von Menschen verursachte Klimaerwärmung gibt. | | | | | |
| Ich persönlich kann dazu beitragen, die Umweltprobleme auf der Welt zu verringern. | | | | | |
| Die globale Erderwärmung beunruhigt mich. | | | | | |
| Ich möchte im Unterricht mehr über Umweltschutz erfahren. | | | | | |
| Ich möchte, dass die Umwelt auch dann noch intakt ist, wenn ich nicht mehr lebe. | | | | | |
| Es ist sehr schwierig etwas für den Umweltschutz zu tun. | | | | | |
| Ich würde gerne mehr darüber wissen, wie ich die Umwelt schützen kann. | | | | | |

Wie war der Fragebogen? Bitte kreuze an!

| | trifft völlig zu | trifft eher zu | trifft eher nicht zu | trifft gar nicht zu |
|----------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Die Sätze waren leicht verständlich. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ich habe alle Wörter verstanden. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ich fülle gerne Fragebögen aus. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ich habe mich beim Ausfüllen bemüht. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ich hatte genügend Zeit zum Ausfüllen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Anmerkungen:

Anhang 2: Post-Test

CODE:

| | | | |
|--|--------------------------------------------------------|--|-----------------------------------|
| | erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter | | Erste Ziffer deiner Hausnummer |
| | erster Buchstabe des Monats, in dem du Geburtstag hast | | erster Buchstabe deines Vornamens |

1. Kreuze an:

| | |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | Ich war in beiden Unterrichtsstunden zur Lichtverschmutzung anwesend. |
| | Ich war nur in der ersten Unterrichtsstunde zur Lichtverschmutzung anwesend. |
| | Ich war nur in der zweiten Unterrichtsstunde zur Lichtverschmutzung anwesend. |

| | Ich stimme sehr zu | Ich stimme zu | Ich stimme eher nicht zu | Ich stimme gar nicht zu |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Die Unterrichtseinheit hat mich nachdenklich über die Probleme mit zu viel künstlichem Licht in der Nacht gemacht. | | | | |
| Ich habe vor der Unterrichtsstunde nicht gewusst, dass zu viel Licht in der Nacht Probleme bereiten kann. | | | | |
| Mir hat die Unterrichtsstunde nicht gefallen, da sie zu wenige physikalische Inhalte beinhaltet hat. | | | | |
| Mir hat die Unterrichtsstunde nicht gefallen, da sie zu wenige Experimente beinhaltet hat. | | | | |
| Mir hat die Lösung der „Problemaufgaben“ nicht gefallen, da ich dadurch nichts gelernt habe. | | | | |
| Mir hat die Unterrichtsstunde gefallen, da es um ein Thema gegangen ist, das mich auch im Alltag betreffen kann. | | | | |
| Ich werde mich bemühen möglichst wenig unnötiges Licht in der Nacht zu verursachen. | | | | |

3. Optik

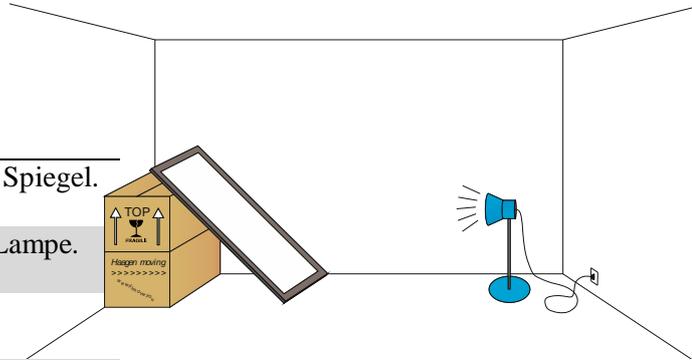
Kreuze an – es können auch mehrere Antworten richtig sein.

Pappe und Spiegel

PUS1) Im Zimmer ist es dunkel. Die Lampe leuchtet gegen den Spiegel.

a) Was siehst du?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 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. |



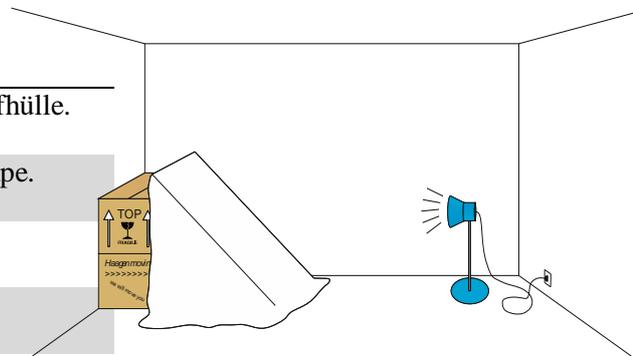
b) Warum siehst du das?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 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"/> | Der Spiegel verteilt das Licht in alle Richtungen. |
| <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. |

PUS2) Im Zimmer ist es dunkel. Der Spiegel wurde mit einer weißen Stoffhülle abgedeckt.

a) Was siehst du im Zimmer?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Einen hellen Fleck an der Decke über der Stoffhülle. |
| <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 auf dem Tuch. |



b) Warum siehst du das?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht von der Lampe bleibt auf der Stoffhülle liegen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht von der Lampe wird von der Stoffhülle an die Decke reflektiert. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Die Stoffhülle verteilt das Licht in alle Richtungen. |
| <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. |

Lagerfeuer

LF1) Kinder sitzen in der Nacht um ein Lagerfeuer.



a) Was trifft zu?

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?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> 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 (Intensität) von Licht nimmt mit der Entfernung ab. |

LF2) Kinder sitzen bei Tag um ein Lagerfeuer.



a) Was trifft zu?

Licht des Lagerfeuers:

- 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 Tag?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> 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 vom Licht nimmt mit der Entfernung ab. |

LF3) a) Was ist hier richtig und falsch?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht breitet sich in der Nacht weiter aus als am Tag. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht breitet sich am Tag und in der Nacht gleich weit aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht breitet sich am Tag weiter aus als in der Nacht. |

b) Wie erklärst du deine Antwort oben?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht braucht Dunkelheit, damit es sich ausbreiten kann. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Das Licht vom Lagerfeuer ist zu schwach um das Tageslicht zu verdrängen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Das Licht vom Lagerfeuer und das Tageslicht vermischen sich. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht kann nur von materiellen Teilchen abgelenkt werden. |

Emmas Geburtstag

EG1) Emma hat Geburtstag. Als Überraschung gibt es eine Geburtstagstorte mit Kerze. Emmas Augen sind fest und gut mit einer Augenbinde verbunden.

a) Was kann Emma sehen? Gib an, was richtig und was falsch ist!



| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Kerzenflamme. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Torte. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Nichts. |

b) Welche Begründungen sind richtig, welche falsch?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Wir sehen nur Gegenstände, von denen Licht in unsere Augen fällt. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Wir sehen nur Gegenstände, die selbst leuchten. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Es ist hell im Raum. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Die Augenbinde versperrt die Sicht. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Das Bild der Kerze kann wegen der Augenbinde nicht in die Augen gelangen. |

EG2) Die Augenbinde ist nun weg. Emma sieht die Torte und die Kerzenflamme.

a) Was ist notwendig, damit Emma die **Kerzenflamme** sehen kann?

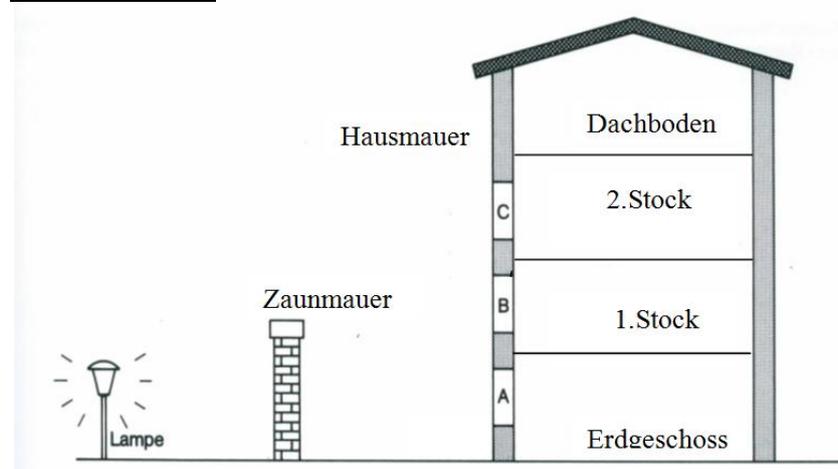


| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Die Flamme sendet Licht aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht von der Flamme fällt in Emmas Augen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Die Flamme macht den Raum hell. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Emma schaut auf die Flamme hin. |

b) Warum kann Emma die **Torte** sehen?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Die Torte sendet Licht aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht von der Torte fällt in Emmas Augen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Es ist hell im Raum. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Emma schaut auf die Torte hin. |

Straßenlaterne



SL1) Betrachte die Abbildung. Es ist **Tag**.

a) Die Lampe ist **ausgeschaltet**. Von wo aus kannst du die Lampe sehen?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Von Fenster A aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Von Fenster B aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Von Fenster C aus. |

b) Wie erklärst du deine Entscheidung in der Frage oben?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> | |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Ich schaue Richtung Lampe. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Nichts versperrt die Sicht auf die Lampe. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Licht von der Lampe fällt in meine Augen. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Es ist draußen hell. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Die Lampe reflektiert das Sonnenlicht. |

Lasershow

LS1) Vor jeder Lasershow wird Nebel in den Saal eingeblasen.



a) Wozu ist der Nebel gut?

- 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 oben?

- 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.

LS2) Die Nebelmaschine ist kaputt. Die Lasershow wurde trotzdem gestartet.

a) Was passiert ohne Nebel?

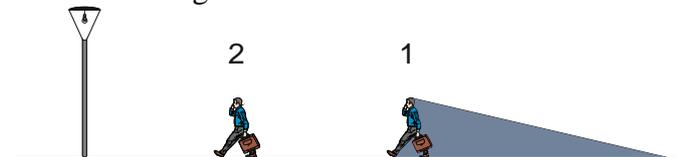
- Die Laserstrahlen sind weiß und nicht mehr bunt.
- Die Laserstrahlen heizen den Saal auf.
- Das Gleiche wie mit Nebel.
- Man sieht keine Laserstrahlen nur Punkte an den Wänden.

b) Wähle die beste physikalische Begründung für deine vorherige Antwort!

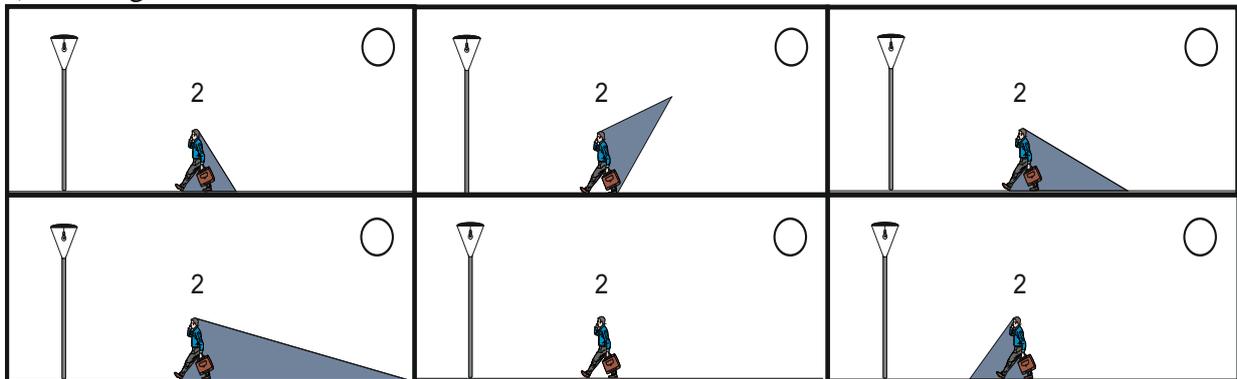
- Nebeltropfen lenken das Licht in alle Richtungen ab.
- Nebeltropfen stoppen den Laserstrahl ab.
- Die Nebeltropfen spalten die verschiedenen Laserstrahlen in alle Regenbogenfarben auf.
- Laserlicht bleibt auf der Wand liegen.

Schattenwurf der Straßenlaterne

SWL1) Es ist Nacht und zwei Männer stehen unter einer Straßenlaterne. Der Schatten von Mann 1 ist eingezeichnet.



a) Wie lang ist der Schatten von Mann 2?



b) Warum ergeben sich diese Schattenlängen?

| <i>richtig</i> | <i>falsch</i> |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Beide Männer haben die gleiche Form. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Die Kraft des Lichts nimmt mit der Entfernung ab. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Licht breitet sich gerade aus. |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> Das Licht trifft unterschiedlich steil auf die Männer. |

Das würde ich noch gerne sagen:

Anhang 3: Planungsraster

UNTERRICHTSPLANUNG zum Thema „Lichtverschmutzung“, 4. Klasse Unterstufe AHS

SCHLÜSSELBEGRIFFE der Unterrichtseinheiten:

Lichtverschmutzung, Umweltschutz, Energie, Energiesparen, optische Phänomene in der Atmosphäre, fächerübergreifendes Lernen, Bewertungskompetenz

Elementare GRUNDIDEEN (Key Ideas)

Sender-Empfänger-
Vorstellung für den Sehvor-
gang, geradlinige Ausbreitung
des Lichts, Reflexion und
Streuung, Umweltschutz

Was sollen Schüler/innen am Ende der Unterrichtseinheiten wissen/können? (GROBZIELE)

Die Schüler und Schülerinnen ...

... können das Phänomen der Lichtverschmutzung und die zugrundeliegende Problematik erklären.

... können Bewertungskompetenz an einer Beispielaufgabe zum Thema Lichtverschmutzung anwenden und diese Kompetenz auch in den Alltag übertragen.

... können ihre Vorstellungen über Licht(ausbreitung) auf physikalischer Grundlage weiter verfestigen.

WARUM sollen Schüler/innen das lernen?

Bedeutung für die Gegenwart: aktuelles Geschehen → man kann jetzt etwas dagegen tun

Bedeutung für die Zukunft: jetzt verringern → Einfluss auf die Zukunft (Energie, Menschen, Tiere, Pflanzen)

Bedeutung für die Schüler: überall wahrnehmbar; Lichtverschmutzung ist ein Umwelteinfluss, gegen den auch Schüler und Schülerinnen etwas unternehmen können

Bedeutung für die Wissenschaft: aktuell beforschtes Thema, aber noch sehr wenige konkrete Ergebnisse (relativ neuer Umwelteinfluss)

Bedeutung für die Gesellschaft: Rückgewinnung des Sternenhimmels, geringerer Energiebedarf = Geld sparen

Exemplarische Bedeutung des Themas:

- Lichtverschmutzung = Alltagserfahrung, die für das Verständnis der Ausbreitung von Licht, dessen Streuung und Reflexion hilfreich kann
- Lichtverschmutzung = physikalisches Phänomen, das auch eine politische, wirtschaftliche, rechtliche, soziale und ökologische Dimension aufweist

Einordnung im Lehrplan:

allgemeiner Teil (BMUKK., Lehrplan AHS Unterstufe. Allgemeiner Teil, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11668/11668.pdf>, Stand: 02.05.2014, S. 4f.):

- Leitvorstellungen
 - Der Bildungs- und Erziehungsprozess erfolgt vor dem Hintergrund rascher gesellschaftlicher Veränderungen insbesondere in den Bereichen Kultur, Wissenschaft, Wirtschaft, Technik, Umwelt und Recht.
- Bildungsbereich Natur und Technik
 - Die Natur als Grundlage des menschlichen Lebens tritt in vielfältiger, auch technisch veränderter Gestalt in Erscheinung. Die Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge der Natur sind als Voraussetzung für einen bewussten Umgang und die Nutzung mit Hilfe der modernen Technik darzustellen. Verständnis für Phänomene, Fragen und Problemstellungen aus den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaft und Technik bilden die Grundlage für die Orientierung in der modernen, von Technologien geprägten Gesellschaft. Der Unterricht hat daher grundlegendes Wissen, Entscheidungsfähigkeit und Handlungskompetenz zu vermitteln. Die Schülerinnen und Schüler sind zu befähigen, sich mit Wertvorstellungen und ethischen Fragen im Zusammenhang mit Natur und Technik sowie Mensch und Umwelt auseinander zu setzen. Als für die Analyse und Lösung von Problemen wesentliche Voraussetzungen sind Formalisierung, Modellbildung, Abstraktions- und Raumvorstellungsvermögen zu vermitteln.
- Bildungsbereich Mensch und Gesellschaft
 - Das Verständnis für gesellschaftliche (insbesondere politische, wirtschaftliche, rechtliche, soziale, ökologische, kulturelle) Zusammenhänge ist eine wichtige Voraussetzung für ein befriedigendes Leben und für eine konstruktive Mitarbeit an gesellschaftlichen Aufgaben.

Physik, 4. Klasse (BMUKK., Lehrplan Physik AHS Unterstufe. Physik, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf>, Stand: 02.05.2014, S. 4f.):

- Die Welt des Sichtbaren
 - Ausgehend von Alltagserfahrungen sollen die Schülerinnen und Schüler grundlegendes Verständnis über Entstehung und Ausbreitungsverhalten des Lichts erwerben und anwenden können.
 - Die Schüler und Schülerinnen sollen die Voraussetzungen für die Sichtbarkeit von Körpern erkennen und die Folgeerscheinungen der geradlinigen Lichtausbreitung verstehen;

Welche KOMPETENZEN sollen Schüler und Schülerinnen dadurch trainieren?

(Kompetenzmodell NaWi - https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf)

Handlungskompetenzen (H)

Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren - Ich kann einzeln oder im Team ...

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W 1 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen | SuS benennen und beschreiben das Phänomen der Lichtverschmutzung. |
| W 2 aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen | SuS entnehmen aus einem Folder des Landes Oberösterreich fachspezifische Informationen. |
| W 3 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren | SuS zeichnen eine „ideale“ Straßenleuchte und erklären, warum sie so konstruiert wurde. |
| W 4 die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben | SuS erfassen und beschreiben, wie sich Lichtverschmutzung auf Tiere, Pflanzen und den Menschen auswirkt. |

Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren - Ich kann einzeln oder im Team ...

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E 1 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben | SuS berichten von ihren Beobachtungen bezüglich Lichtverschmutzung, führen Messungen mit selbst gebastelten Straßenleuchten durch und beschreiben diese. |
| E 2 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen | SuS stellen Vermutungen dazu auf, was den Unterschied der beiden Bilder des Sternbildes Orion verursacht. |
| E 3 zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren | SuS entwerfen zur Fragestellung einer „idealen“ Straßenleuchte ein Modell, führen Lichtmessungen damit durch und protokollieren die Daten. |
| E 4 Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren | SuS analysieren und interpretieren die selbst mit einer Luxmeter-App auf dem Smartphone gemessenen Werte ihrer gebastelten Straßenleuchten. (Welche verursacht am wenigsten Lichtverschmutzung aber dennoch am meisten Licht am Boden?) |

Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln - Ich kann einzeln oder im Team ...

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S 1 Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen | SuS bewerten die Daten einer Beispielaufgabe zur Nutzung eines Hanges in den Ostalpen und zur Installation einer neuen Hofbeleuchtung und ziehen insofern ihre Schlüsse daraus, dass sie sich für eine Option entscheiden. |
| S 2 Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln | SuS erkennen die die Bedeutung und die Risiken die mit Lichtverschmutzung für sie persönlich und für die Gesellschaft verbunden sind. Sie erkennen somit auch die Chance, selbst verantwortungsbewusst zu handeln. |
| S 3 die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Bildungsweges zu verwenden | SuS erfassen die Bedeutung „richtiger“ Beleuchtung, die in verschiedenen Berufsfeldern begegnen kann (z.B.: Architektur (Gebäudebeleuchtung), Gewerbe (Geschäftsbeleuchtung, Werbebeleuchtung), Politik (Straßenbeleuchtung), Biologie (negative Beeinflussung von Tieren und Pflanzen), Astronomie (Sichtbarkeit des Nachthimmels), Medizin (Gesundheit des Menschen, Biorhythmus)) |
| S 4 fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden | SuS argumentieren fachlich korrekt und folgerichtig, was man gegen Lichtverschmutzung tun kann. |

Erweiterung zum Punkt Schlüsse ziehen: Bewertungskompetenz (nach Sabina Eggert/Susanne Bögeholz, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 12, 2006, 177-197, S. 188-191.)
mit den Teilkompetenzen

- a) Kennen und Verstehen des jeweiligen Themas
- b) Kennen und Verstehen von Werten und Normen
- c) Generieren und Reflektieren von Sachinformationen
- d) Bewerten, Entscheiden und Reflektieren von Sachinformation

Mit welchen SCHÜLERVORSTELLUNGEN ist bei diesem Thema zu rechnen?

Licht ...

... ist nicht gleich Licht. Es gibt drei verschiedene Arten von Licht.

Licht(1) ist ein heller Gegenstand (z.B. Lampe, Sonne).

Licht(2) ist die Helligkeit im Raum, an der Wand oder auf einem Gegenstand.

Licht(3) ist durchsichtig und farblos, macht aber andere Dinge hell.

... breitet sich vielleicht geradlinig aus, vielleicht aber auch nicht.

... ist eine strömende Substanz, die Gegenstände hell und damit sichtbar macht.

Streuung und Reflexion ...

... werden von den Schülern und Schülerinnen im Alltag, also vor dem Physikunterricht, nicht wahr genommen.

... werden nach dem Physikunterricht subsumiert unter Reflexion.

Sehen ...

... ist nur möglich, wenn man gesunde Augen hat.

... können wir weil Licht in unsere Augen fällt. Dies ist aber nur bei Lichtquellen mit hoher Intensität so.

Die Schülervorstellungen zur **Lichtverschmutzung** werden in einem Pre-Test erhoben, da es hierzu noch keine Erhebungen gibt.

Was sollen die Schüler und Schülerinnen am Ende dieser Sequenz (z.B. bei einem Test) können? (FEINZIELE)

Die Schüler und Schülerinnen können ...

... formulieren, welches Phänomen der Begriff Lichtverschmutzung bezeichnet.

... die physikalischen Vorgänge erklären, wie Lichtverschmutzung entsteht.

... Quellen der Lichtverschmutzung nennen.

... Beispiele nennen, wem Lichtverschmutzung schadet.

... Bewertungskompetenz auf zwei vorgegebene Beispiele („Nutzung eines Hangs in den Ostalpen“ und „Neue Hofbeleuchtung“) anwenden.

... Bewertungskompetenz auf ähnliche Beispiele anwenden wie die der Unterrichtseinheit.

... anhand der fachlichen Inhalte der Unterrichtsstunde zur Lichtverschmutzung und des Einübens von Bewertungskompetenz auch in Entscheidungssituationen des Alltages mehrere Optionen mit einander vergleichen und zu einem begründeten Urteil kommen.

... über Lichtverschmutzung auf fachlicher Ebene diskutieren.

... Möglichkeiten erläutern, Lichtverschmutzung zu vermindern.

... eine für sie „ideale“ Straßenleuchte entwerfen und erklären, warum sie so gezeichnet wurde.

... einen Versuch zur Messung der Lichtverschmutzung (rund um eine Straßenleuchte) aufbauen, die Werte protokollieren und auswerten.

KONKRETER ABLAUF DER 1. UNTERRICHTSEINHEIT

| Zeit | 5 E's | Lehrer/Lehrerinnenaktivität | Schüler/Schülerinnenaktivität |
|--------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 min | Engage | Problemstellung (Gegenstand/Video/Frage) Den Schülern und Schülerinnen werden zwei Fotografien des Sternbildes Orion gezeigt. Das erste Bild wurde in den Ostalpen aufgenommen (ohne Lichtverschmutzung), das zweite Bild in der Stadt (mit Lichtverschmutzung). | Im Lernkontext ankommen (Verbindung zum Vorwissen herstellen) Die Schüler und Schülerinnen erhalten ein Blatt Papier und beantworten in Partnerarbeit Fragen zu den beiden Bildern. (Was ist zu sehen? Welche Unterschiede gibt es? Was ist gleich? Warum?) Im Anschluss präsentieren die Lernenden ihre Ergebnisse der Klasse. |
| 10 min | Explain | Problemlösung (Wissen & Konzepte, Fähigkeiten; Klarheit zu erlangen und Zusammenhänge zu verstehen) Die Lehrperson gibt mithilfe einer Power-Point-Präsentation Informationen zu Quellen und Entstehung der Lichtverschmutzung. | Informationen auswerten (Schüler und Schülerinnen erläutern ihr Verständnis von Konzepten und Prozessen) Die Schüler und Schülerinnen bringen bereits Gelerntes mit dem Thema Lichtverschmutzung in Verbindung und erläutern z.B. ihr Verständnis vom Sehvorgang oder der Streuung. |
| 5 min | Explore | Erarbeitung - Gegenstände/Konzepte werden erschlossen Die Lehrperson stellt eine Laser auf und zerstäubt Mehl (oder Kreidestaub aus dem Tafeltuch) über dem Strahl. | Vorstellungen entwickeln (z.B. Hands on Aktivität mit Anleitung) Die Schüler und Schülerinnen stellen Theorien auf, warum man den Laserstrahl nun sehen kann (Streuung, Sehvorgang). |
| 5 min | Explain | Problemlösung (Wissen & Konzepte, Fähigkeiten; Klarheit zu erlangen und Zusammenhänge zu verstehen) Die Lehrperson gibt mithilfe einer Power-Point-Präsentation Informationen zu Auswirkungen der Lichtverschmutzung. | Informationen auswerten (Schüler und Schülerinnen erläutern ihr Verständnis von Konzepten und Prozessen) Die in dieser Phase erhaltenen Informationen finden in der nächsten Unterrichtseinheit in der Phase Elaborate & Evaluate in Texten der Lernenden Anwendung, wodurch sie ihr Verständnis des Konzeptes verschriftlichen. |
| 15 min | Elaborate | Anwenden & Üben Die Lehrperson stellt eine „Straßenleuchte“ im Klassenzimmer auf. Der Leuchtkörper kann in alle Richtungen gedreht werden. | Sicher werden und üben (Anwendung von Konzepten, Trainieren neuer Fähigkeiten) Die Schüler und Schülerinnen entwickeln eine „ideale“ Straßenleuchte. Sie wird zuerst auf dem Blatt Papier skizziert und anschließend mit weißen A3 Blättern und Klebeband geformt. |
| 10 min | Explain | Problemlösung (Wissen & Konzepte, Fähigkeiten; Klarheit zu erlangen und Zusammenhänge zu verstehen) Die Lehrperson notiert die jeweiligen Lux-Werte an der Tafel und stellt den Schülern und Schülerinnen nun die Aufgabe anhand dieser Daten zu argumentieren, welche der selbst gebastelten Leuchten eine möglichst „ideale“ Straßenleuchte darstellen würde. | Informationen auswerten (Schüler und Schülerinnen erläutern ihr Verständnis von Konzepten und Prozessen) Die Lernenden beobachten die jeweilige Lichtausbreitung anhand der Helligkeit am Boden und an der Wand, messen mit einer Luxmeter-App am Smartphone die Werte der jeweiligen Lampenschirme (vier Smartphones am Boden, drei auf Brusthöhe). Anhand der Mittelwerte der Daten wird die „ideale“ Straßenleuchte ausgewählt. (viel Licht da, wo man es braucht (auf der Straße/am Gehweg) – wenig Licht an Hauswände und nach oben) |

KONKRETER ABLAUF DER 2. UNTERRICHTSEINHEIT

| Zeit | 5 E's | Lehrer/Lehrerinnenaktivität | Schüler/Schülerinnenaktivität |
|----------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 min | Engage | Problemstellung (Gegenstand/Video/Frage) Gemeinsame Wiederholung der Inhalte der letzten Stunde mit der ABC-Methode Die Schüler und Schülerinnen bekommen eine Kopie mit einer Zusammenfassung der Inhalte der letzten Stunde. | Im Lernkontext ankommen (Verbindung zum Vorwissen herstellen) Die Schüler und Schülerinnen nennen nacheinander in der Reihenfolge der Buchstaben des Alphabetes einen Begriff oder eine Wortgruppe zur Lichtverschmutzung. Weiß der oder die Lernende keine Antwort, so darf er einen aufzeigenden Schüler/eine aufzeigende Schülerin als Joker einsetzen. |
| 35 min | Elaborate & Evaluate | Anwenden & Üben - Überprüfen der Effektivität des Lernarrangements und der Kompetenzentwicklung der Lernenden Die Lehrperson erklärt zwei Beispiele zur Anwendung von Bewertungskompetenz – Struktur und Aufgabenstellung („Nutzung eines Hanges in den Ostalpen“ und „Neue Hofbeleuchtung“) | Sicher werden und üben (Anwendung von Konzepten, Trainieren neuer Fähigkeiten) - Lernprodukt erstellen, Lernzugewinn überprüfen Die Schüler und Schülerinnen wenden Bewertungskompetenz auf zwei vorgegebene Beispiele an. Der Arbeitsauftrag wird einzeln und schriftlich ausgeführt. Im Anschluss erklären und begründen die Lernenden ihre Wahl vor der Klasse. Das Arbeitsblatt wird von der Lehrperson abgesammelt und ausgewertet. |
| 10 min | Explain | Problemlösung (Wissen & Konzepte, Fähigkeiten; Klarheit zu erlangen und Zusammenhänge zu verstehen) Die Lehrperson nennt die Aufgabenstellung: Was kann man nun für die Verminderung von Lichtverschmutzung tun? | Informationen auswerten (Schüler und Schülerinnen erläutern ihr Verständnis von Konzepten und Prozessen) Die Schüler notieren ihre Ideen, was man zur Verminderung von Lichtverschmutzung tun kann auf einem Blatt Papier. Aus diesen Ideen wird gemeinsam ein MindMap auf der Tafel erstellt und im Heft mitgeschrieben. |
| vor und nach den beiden Unterrichtseinheiten | Evaluate | Überprüfen der Effektivität des Lernarrangements und der Kompetenzentwicklung der Lernenden Vor und nach den Unterrichtsstunden wird ein schriftlicher Test durchgeführt. | Lernprodukt erstellen, Lernzugewinn überprüfen Die Schüler und Schülerinnen füllen eine Fragebogen aus, der sowohl ihr Wissen über Lichtverschmutzung abfragt als auch ihr Einstellung zum Thema Umweltschutz. Außerdem werden Fragen zum Verständnis von Phänomenen der Optik beantwortet. |

Anhang 4: Textblatt Lichtverschmutzung



Lichtverschmutzung und ihre Folgen für Mensch und Natur:

Gesundheit

Zuviel künstliches Licht kann zu massiven Störungen des Tag-Nacht-Rhythmus führen. So wird z.B. das Ruhe-Hormon Melatonin nur bei Dunkelheit gebildet und die Produktion kann am Tag nicht nachgeholt werden. Dieses Hormon ist Grundbaustein für einen erholsamen Schlaf und hat damit wesentlichen Einfluss auf viele Körperfunktionen.



Wird die Melatoninproduktion in der Nacht durch den Einfluss von künstlichem Licht gestört, können sich daraus gesundheitliche Probleme entwickeln.

Nachaktive Tiere

Gerade die Beleuchtung von Randgebieten in Wohnsiedlungen, Industriegebieten, Freizeitanlagen, Skipisten und Rodelbahnen verdrängt die Tiere immer weiter in die immer kleiner werdenden Dunkelgebiete.



- eingeschränkter Aktionsradius zum Leben, zur sozialen Interaktion und Futtersuche
- gestörte Ruhephasen
- die Räuber-Beute-Beziehung verändert sich
- Abwanderung und Aussterben von Arten droht

Nachaktive Insekten

Durch die helle Beleuchtung in der Nacht verschwinden die Sterne, und die Insekten orientieren sich fälschlicherweise an den künstlichen Lichtquellen. Sie fliegen zwanghaft die hellen Lichtkörper an, bis sie vor Erschöpfung verenden oder verbrennen.



- Reduzierung des Nahrungsangebotes für andere Tiere
- fehlende Blütenbestäubung, damit weitreichende Folgen für die Pflanzenwelt und die Lebewesen, die davon abhängig sind
- Aussterben von Arten droht

Vögel

Die Zugvögel orientieren sich in der Dämmerung und Nacht am Mond und den Sternen. Irritiert durch die vielen künstlichen Lichtpunkte unserer Siedlungen versuchen sie sich an diesen zu orientieren. Dabei können sich die Vögel darin verfangen, finden nicht mehr heraus und sterben vor Erschöpfung.



- Desorientierung von Zugvögeln
- Brutplätze werden nicht mehr gefunden
- Störung von Vögeln durch Gartenbeleuchtung
- gestörte soziale Interaktion
- Aussterben von Arten droht

Wichtig für die Planung:

Städte, Gemeinden, Gewerbe und Industrie, Sportstätten oder Hauseigentümer, die eine Beleuchtung errichten oder Umrüstung durchführen, können durch richtige Planung eine umweltgerechte Beleuchtung realisieren.

Eckpunkte für die Planung:

- voll abgeschirmte Leuchten (upward light ratio ULR = 0 %)
- das Leuchtmittel darf nicht nach unten aus dem Gehäuse herausragen
- das Schutzglas muss flach sein
- Leuchtmittel mit max. 3.000 Kelvin = warmweiße Lichtfarbe verwenden
- Anstrahlungen von oben nach unten
- maximale Leuchtdichte bei Beleuchtung von Werbung, Fassaden und Objekten einhalten



Helfen Sie mit!

Außenbeleuchtung nur abgeschirmt, warmweiß, maßvoll und energieeffizient!

Impressum

Medieninhaber: Land Oberösterreich

Herausgeber: Amt der Oö. Landesregierung
 Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Umweltschutz
 Kärntnerstraße 10-12, 4021 Linz • Tel.: +43(0)732/7720-14501
 Fax: +43(0)732/7720-213682 • E-Mail: us.post@ooe.gv.at
www.land-oberoesterreich.gv.at

Redaktion: Ing. Heribert Kaineder, Martin Wasmeier
 September 2013

Texte und Gestaltung: Carsten Przygoda, Dipl.-Ing. Matthias Engel,
 Dipl.-Phys. Till Credner, Dr. Andreas Hänel
 Projekt Sternenspark Schwäbische Alb
 (www.sternenspark-schwaebische-alb.de)

Bilder: Carsten Przygoda, Dipl.-Ing. Matthias Engel, Dr. Andreas Hänel,
 pixelio.de

Anhang 5: Bewertungskompetenz – Beispiel 1

Nutzung eines Hangs in den Ostalpen

Die kleine Gemeinde Willersgraben braucht Geld für einige Investitionen (Errichtung eines Kindergartens, Sanierung des Schwimmbades, Ausbesserungsarbeiten an Straßen und Kanalisation). Du musst als Bürgermeister oder Bürgermeisterin dieser Gemeinde in den Ostalpen entscheiden, was mit dem Berghang passieren soll, der an das Dorf grenzt.

Aufgabe:

In *Tabelle 1* werden vier Möglichkeiten genannt, was du mit dem Hang machen könntest. In den Spalten darunter erhältst du Informationen dazu, welche Zielgruppe du mit der jeweiligen Idee ansprichst, wie viel das kostet, wie viel du damit für den Ort verdienen würdest und welchen Einfluss die jeweilige Möglichkeit auf die Umwelt hat.

Entscheide dich anhand dieser Informationen dafür, was du mit dem Hang machen möchtest. In *Tabelle 2* werden die verschiedenen Entscheidungsmöglichkeiten näher erklärt.

Erkläre genau, wie du zu deiner Entscheidung gekommen bist!

| | Möglichkeit 1 | Möglichkeit 2 | Möglichkeit 3 | Möglichkeit 4 |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| |  |  |  |  |
| | Errichtung eines Lichtschutzgebietes | Errichtung einer Skipiste | Errichtung eines Wildnisgebietes | alles so belassen wie es ist |
| Zielgruppe | Touristen, die den Sternenhimmel sehen wollen | Skitouristen | keine | keine |
| Kosten | gering | hoch | gering | keine |
| finanzieller Erfolg | ungesichert • es gibt noch kein solches Projekt | wahrscheinlich hoch • es gibt viele Skitouristen in Österreich | keiner | keiner |
| Einfluss auf die Umwelt | positiv • Schutz von Tieren und Pflanzen | negativ • Pflanzen, die auf dem Hang wachsen, werden zerstört • Tiere, die im Boden und im Wald leben werden gestört | positiv • Tiere und Pflanzen können sich ungestört entwickeln | keiner |

Tabelle 1: mögliche Nutzungen für den Berghang beim Dorf

| | | | |
|----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Errichtung eines Lichtschutzgebietes |  | Das künstlich abgestrahlte Licht (Straßenbeleuchtung, Werbung) wird auf ein Minimum reduziert. So kann man die Sterne viel besser sehen. Das lockt Touristen an, die schließlich die Hotels und Restaurants der Gemeinde nutzen und damit Geld in die Region bringen. |
| 2. | Errichtung einer Skipiste |  | Auf dem Hang wird eine Skipiste mit Liftanlage, Hotel und Parkplätzen errichtet. Auch hier bringen Touristen Geld in die Gemeinde. |
| 3. | Errichtung eines Wildnisgebietes |  | Menschen dürfen das Wildnisgebiet nur mit Ausnahmegenehmigung betreten. Tiere und Pflanzen können sich ohne Einfluss des Menschen entwickeln. |
| 4. | alles so belassen wie es ist |  | Es wird nichts verändert. |

Tabelle 2: Erklärung zu den möglichen Nutzungen des Hanges

Anhang 6: Bewertungskompetenz – Beispiel 2

Neue Hofbeleuchtung:

Deine Familie möchte vor dem Haus eine neue Beleuchtung anbringen. Du darfst entscheiden, welche Lampen ausgewählt werden!

Aufgabe:

In *Tabelle 1* werden vier Lampentypen genannt, die du verwenden könntest. In den Spalten darunter erhältst du Informationen dazu, wie effizient die jeweilige Lampe ist, wie gesundheitsschädlich das Licht und wie gut die Farberkennung ist.

Entscheide dich anhand dieser Informationen dafür, welche Lampen du verwenden möchtest. In *Tabelle 2* werden die drei Entscheidungskriterien näher erklärt.

Erkläre genau, wie du zu deiner Entscheidung gekommen bist!

| |  |  |  |  |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| | Glühlampe (Glühbirne) | LED kalt-weiß | LED warm-weiß | Natrium- dampf- Niederdruck- lampe |
| Effizienz | sehr gering | sehr hoch | hoch | sehr hoch |
| Licht ist (gesundheits)schädlich | nein | ja | nein | nein |
| Farberkennung | gut | sehr gut | gut | sehr schlecht |

Tabelle 1: Lampentypen und ihre Eigenschaften

Quelle: Land Oberösterreich, Leitfaden besseres Licht. Alternativen zum Lichtsmog, Linz 2013, S. 29-40.

| | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Effizienz | Die Effizienz beschreibt, wie gut elektrische Energie (Strom) in Licht umgewandelt wird. Bei der Glühlampe wird zum Beispiel sehr viel Energie in Wärme umgewandelt (Glühbirne wird heiß) und nur sehr wenig in Licht. Ineffiziente Leuchten verschwenden Energie. |
| Licht ist (gesundheits)schädlich | Wenn Licht zu blau ist, schadet es dem menschlichen Auge besonders (blendet sehr stark), ... stört es den menschlichen Tag-Nacht-Rhythmus stärker, ... erzeugt es mehr Lichtverschmutzung (wird stärker gestreut) und ... zieht Insekten sehr stark an. |
| Farberkennung | Farberkennung bedeutet, wie gut man mit diesem Licht die Farben von Objekten wahrnehmen kann. (Natriumdampflampen erzeugen zum Beispiel Licht, bei dem man alles nur in Orangetönen sieht.) |

Tabelle 2: Erklärung zu den jeweiligen Eigenschaften der Lampentypen

Anhang 7: Der Begriff Lichtverschmutzung

Erklärung des Begriffes „Lichtverschmutzung“ durch die Schüler und Schülerinnen (N=80)

1. Begriff falsch zugeordnet (74)

a) Zusammenhang mit Luftverschmutzung (29)

- K5DM Vielleicht ist das, dass das Licht durch Staubteilchen etc. nicht so gut sichtbar ist.
G2JT Vielleicht das Licht, das mit Smog oder anderer Luftverschmutzung in Verbindung gerät.
H5DS Das Licht verschmutzt ist wegen CO₂ und so.
M1ND Dass man mit Schadstoffen die Luft verschmutzt.
E1MM Vielleicht, wenn die Luft stark verschmutzt ist und das Licht durchleuchtet, ändert es die Farbe und den Weg geringfügig.
B1AM Vielleicht wird das Licht durch Staub, ... nicht mehr so „rein“ ist und es wird düsterer.
R2FN Wenn die Sonne verdunkelt wird durch Luftverschmutzung wie Smog.
A1FK Dieser Begriff könnte bedeuten, dass der Smog in Großstädten den Lichteinfall vermindert.
M2NT Staub und andere Verunreinigungen sind in der Luft und daher wird das Licht abgedunkelt und verschmutzt.
A5FJ Durch Staub könnte die Helligkeit des Lichts beeinträchtigt sein.
S2SP Vielleicht, weil in der Luft Staub ist, und man sieht das Licht nicht genau so, wie es ist.
P2OD Vielleicht, dass in der Umwelt schon so viele Schmutzpartikel sind, dass das Licht dadurch nicht mehr so hell ist.
G7OE Wenn über einer Großstadt viel Smog der Autos ist und dann durch den Nebel nicht viel Licht durchkommt.
M8JS Es könnte sein, dass wenn in der Luft genügend Staub ist, dass dieser das Licht reflektiert und ein Objekt in größerer Entfernung dadurch in einer anderen Farbe abgestrahlt wird.
M8JR Feine Partikel oder gröbere Teile in der Luft verhindern das Auftreffen einzelner Lichtstrahlen auf ein Objekt oder auf die Erde etc.
B2FJ Erschwertes Durchdringen des Lichts aufgrund der CO, CO₂ und Abgase.
H2JR Durch Umweltverschmutzung wird die Atmosphäre verschmutzt und das Licht wird anders gebrochen.
D4JJb Feinstaub
M3SM Dass die Umwelt so verschmutzt ist, dass vielleicht auch die Luft verschmutzt ist und dadurch das Licht nicht mehr so richtig auf die Welt kommt.
M2NP Das Licht der Sonne könnte durch die Umweltbelastungen nicht völlig bei uns Menschen ankommen.
G2OS Damit ist vielleicht der Staub in der Luft gemeint.
D4JJ Vielleicht, weil in der Luft viele kleine Staubkörnchen sind und die das Sonnenlicht/Tageslicht verschmutzen und es deswegen nicht so klar ist.
M1JA Ich bin mir unsicher. Aber kleine Staub- oder sonstige Partikel, die in der Luft umherschwirren und die tatsächliche Farbe des Lichts verfälschen.
R1AM Vielleicht weil durch eine hohe Staubbelastung das Licht „verschmutzt“ aussieht.
P2ML Wenn z.B. Sonnenlicht von trüber Luft „verschmutzt“ wird.
G1JL Dass das Licht durch die einzelnen Teile, die wegen uns in der Luft sind, falsch gebrochen wird.
K5JM Vielleicht, wenn das Licht von der Sonne auf die Erde kommt, aber es sind schon so viele Abgase in der Luft, dass das Licht nicht mehr aus unserer Atmosphäre austreten kann.
M2JE Ich denke, es geht um Smog.
A3FP Das Licht wird durch Gase verschmutzt.

b) Zusammenhang mit „Veränderung“ des Lichts (16)

- M3AK Das Licht ist nicht mehr klar sondern trüb.
T6JH Dass das Licht nicht normale Strahlen auf die Erde strahlt.
B4MT Licht das durch bestimmte Umstände verändert wird.
P6NF Dass das Licht anders gebrochen wird oder so irgendwie.
V1AS Ich habe leider keine Ahnung. Vielleicht, wenn das Licht irgendwie reflektiert wird.
W2AB Eventuell düsteres Licht, das verschmutzt ist.
A2SL Das Licht von der Sonne verändert sich vielleicht ein bisschen durch die ganze künstliche Beleuchtung.
D1DI Ich denke, es ist damit gemeint, wenn Licht durch einen verschmutzten Körper dringt und dann einen unklaren Strahl abgibt.
A3MM Vielleicht die Verschmutzung des Lichts durch UV-Strahlung.
J1SY Dass das Licht nicht voll sichtbar ist sondern nur ein „verschmutzter“ Teil sichtbar ist.
G5DT Wenn eine Glühlampe nicht so hell scheint, wie sie soll.
S1MS Wenn das Licht nicht „rein“ leuchtet.
A1MJ Dass Licht in einander übergeht.
J1JL Wenn ein Sonnensturm mit dem Licht leuchtet.
R2MD Vielleicht, dass das Licht trüb ist.
M8JT Die Lichtpartikel sind bei einer Verschmutzung nicht mehr so deutlich erkennbar.

c) Zusammenhang mit Objekten/Teilchen (10)

- T4FJ Wenn in der Atmosphäre viele alte Raketen oder Satteliten sind, die das Licht „verschmutzen“.
M2ND Licht wird durch bestimmte Objekte verunreinigt.
S1JD Fremdkörper werden vom Licht mittransportiert.
A3AL Unsauberes Licht? Teilchen im Licht, die nicht dazu gehören.
G2NN Vielleicht, dass die Partikel in der Luft geschädigt sind.
B9AL Teilchen/Bakterien, die in der Luft verteilt/zerstreut werden.
U23L Wenn Teilchen in der Luft Energie aufnehmen und in der Nacht abgeben.
A1MM Es könnte ja sein, dass das Licht durch Atommüll verschmutzt wird.
A8FM Wenn ein Licht durch die Landschaft oder ähnliches verdunkelt wird.
K1FJ Die Sonne lässt die Bäume wachsen und die verschmutzt mit dem Blütenstaub die Umwelt.

d) Zusammenhang mit Farben (7)

- M2MV Vielleicht, wenn die Sonne am Abend den Himmel rot „färbt“.
A2DV Wenn Licht (z.B. der Sonne) durch Chemikalien in der Atmosphäre verfärbt wird und dadurch ein Problem für die Bevölkerung darstellt, weil es giftig und schädlich sein kann.
G1ML Wenn sich das Licht nicht gut in seine Spektralfarben aufteilen lässt.
H9MF Möglicherweise Farbpartikel, die nicht in das Licht gehören.
N1MJ Verunreinigung einer Spektralfarbe durch Mischung mit anderen Farben.
C7OP Es könnte eine Verunreinigung von Licht mit anderen Farben oder andersartigen Licht sein.
M1DG Vielleicht, dass das rein weiße Licht durch bestimmte Farben oder ähnlichem verfälscht bzw. verunreinigt wird.

e) Zusammenhang mit der Ozonschicht (3)

- M9AJ Dass die Sonne nicht mehr gescheit einstrahlen kann oder dass sich das Ozonloch schwächt.
G3NJ Irgendwas mit der Ozonschicht.

- B1AJ Es könnte bedeuten, dass die Ozonschicht so verschmutzt ist, dass kein reines Licht von der Sonne mehr zur Erde strahlt.
- B3MM Durch die Ozonschicht.

f) Zusammenhang mit Gefahr (3)

- G3DA Dass das Licht vielleicht schädlich ist.
- B2JT Das Licht könnte unrein sein, sodass es etwas Giftiges ausstrahlt.
- G4JL Es könnte vielleicht die Atmosphäre beschädigen.

g) Nur Zerlegung des Wortes Lichtverschmutzung (6)

- B8AA Wenn Licht verschmutzt ist.
- M5MF Verschmutztes Licht?
- A1JE Verschmutzung des Lichts?
- S9SC Wenn das Licht verschmutzt ist?
- E2NF Lichtverschmutzung ist wahrscheinlich die Verschmutzung des Lichts.
- K5SH Vielleicht eine Verunreinigung des Lichts, sprich irgendwie ein Fehler.

2. Begriff richtig zugeordnet und erklärt (8)

- S1JA Wenn die Lichter der Städte und co das Licht der Sterne „überstrahlen“ und diese nicht zu sehen sind.
- A8FL Wenn das Licht einer Stadt zu hell strahlt und man so nur noch wenige Sterne sehen kann.
- E5MC Wenn eine sehr große Stadt, wie z.B. Wien sehr viel Licht gleichzeitig erzeugt, wird der Himmel hell erleuchtet.
- H8JC Das Licht stört die Astronomen bei der Arbeit.
- C8MA Durch Großstädte erhellter Himmel/künstlich erhellter Himmel.
- C2AM Wenn Licht von Großstädten kommt.
- E6MV Wenn man über einer großen Stadt wie Wien einen Lichtschein sieht (Nacht). Es ist selbst in der Nacht nicht mehr richtig finster.
- M7OM Lichtverschmutzung = „zu viele“ künstliche Lichtquellen, z.B. nachts über einer Großstadt

Anhang 8: Kommentare zu den Unterrichtseinheiten

1. Mädchen

- A1JE Ich finde es gut, dass uns jemand aufgeklärt hat über das Thema. Es ist den meisten Menschen wahrscheinlich noch nicht bekannt. Man sollte dieses Problem beseitigen, denn ich denke, dass das Auswirkungen auf unsere Umwelt hat.
- A3AL Es war cool über Lichtverschmutzung zu reden. Ich glaube aber, dass niemand was darüber weiß. Wir könnten Strom sparen und Leben von Tieren retten, allein wenn wir andere Lampen verwenden!!!!
- P6NF Können Sie nochmal kommen und mehr über Lichtverschmutzung durch Versuche erklären?
- M5MF Physik ist cool!
- M2MV Es war lustig!
- E5MC Mir haben die Stunden sehr viel Spaß gemacht, da Sie auch auf unsere Fragen eingegangen sind und mit uns Experimente gemacht haben.
- A2DV Ist anders als sonstige Physikstunden, ein interessantes Thema.
- M7OM Ich fand die Stunde ehrlich gesagt uninteressant, da mich dieses Thema überhaupt nicht interessiert. Mir haben die Stunden dadurch überhaupt nicht gefallen.
- B1AM Ich weiß nicht, woher ich die Antworten wissen soll, wenn wir das noch nicht gemacht haben. Irgendwie hab ich deshalb fast überall dasselbe wie vorher, weil es eben nicht erklärt wurde und das Sachen sind, die man sich denken könnte.
- M3AK Eigentlich alles recht toll.
- K1FJ Es war sehr gut, dass sie dieses Thema gewählt haben. Ich habe dadurch gelernt, dass wir eigentlich sehr schlechte Sachen machen. Ich hoffe, Sie haben noch viel Erfolg und vielen DANK!
- P2ML Die Stunden waren interessant, nicht zu anstrengend, super zum Aufpassen!
- S1MS Es hat mir sehr gefallen und ich fand den Unterricht (v.a. die Tests) sehr spannend. Es war auch schön, dass wir dazu ein Experiment gemacht haben. Schade, dass wir so etwas nicht öfter machen! Und jetzt weiß ich auch GANZ genau, was Lichtverschmutzung bedeutet und werde es auch länger nicht vergessen.
- G1ML Mir haben die Stunden gut gefallen und ich fand das Thema Lichtverschmutzung sehr interessant.
- Q2FN Wir haben nicht alles gelernt, was bei dem Test gefragt wurde.
- S1JS Ich fand es sehr interessant etwas über Lichtverschmutzung zu lernen, da ich vorher noch keine Ahnung davon hatte, was das ist. Auch das Experiment, was wir in der Stunde gemacht haben, hat mir sehr gefallen.
- A1MH Dass ich es gut finde, dass der „dunkle Fleck“ in Österreich geschützt wird.
- M6FV Ich finde das Thema sehr interessant, da wir davor noch nie etwas darüber hörten und ich es wichtig finde, dass man über dieses Thema mindestens schon einmal was gehört haben sollte. Ich hoffe, dass wir nochmal sowas machen!
- D4JJ Ich finde es gut, dass wir etwas über Lichtverschmutzung gelernt haben, da die meisten nichts darüber wissen.
- K5SH Mir hat der Unterricht sehr gut gefallen
- K5JM Es war sehr schön, es hat mich sehr gefreut.

- M1DG Ich finde, es waren wirklich interessante Stunden und ich habe auch das Gelernte beherzigt.
 C1MV Man sollte dunkle Flecken auf der Welt schützen. Tiere können leichter leben, Menschen können besser Sterne beobachten. Die Beleuchtung in Geschäften sollten nachts abgedreht werden, denn wer geht um Mitternacht shoppen oder schaut sich die Auslage an?
 B8JS Es war interessant, etwas über Lichtverschmutzung zu erfahren.

2. Buben

- B4MT Es war interessant.
 B3MM Sehr interessant, aber ich finde für die Politik ist das Geld wichtiger.
 M1AS Es war super! 😊
 G2SF Mir haben die Unterrichtsstunden sehr gefallen. Und ich hab auch sehr viel über Lichtverschmutzung gelernt.
 J5AG Mit hat die Stunde schon sehr gefallen, aber es waren zu wenige Experimente. Trotzdem konnten wir unser Wissen aufbessern.
 G4JL Ich finde es wichtig, dass wir jetzt wissen, dass es Lichtverschmutzung gibt und was es bedeutet.
 G2NN Mir haben diese lehrreichen Stunden gut gefallen, weil es viele interessante Infos gab.

Anhang 9: Abstract

Die Ursachen und Auswirkungen von Lichtverschmutzung sind in der breiten Bevölkerung noch weitgehend unbekannt.

Um dieses Thema einerseits Schülern und Schülerinnen zugänglich zu machen und andererseits anderen Lehrenden erprobtes Material zur Verfügung stellen zu können, wurde diese Diplomarbeit erstellt. Im Vordergrund standen dabei die beiden Fragen, welche Vorstellungen die Schüler und Schülerinnen der 8. Schulstufe zum Begriff Lichtverschmutzung haben und wie sich die konzipierte Intervention zum Thema Lichtverschmutzung auswirkt. Dabei wurde auf den Beitrag zu fachlich adäquateren Vorstellungen und auf die Schulung von Bewertungskompetenz geachtet.

Im ersten Teil der Arbeit werden die fachwissenschaftlichen Grundlagen zu den Unterrichtsstunden ausgeführt. Darauf folgt eine detaillierte Beschreibung des entwickelten Unterrichtsmaterials sowie der Durchführung in sechs 4. Klassen (AHS). Die Evaluierung der Intervention erfolgte anhand schriftlich durchgeführter Pre- und Post-Tests sowie individuellen Texten der Schüler und Schülerinnen.

Die Analyse dieser Daten zeigte, dass Lichtverschmutzung fast allen Schülern und Schülerinnen noch nicht bekannt war. Im Anschluss an die Intervention konnten jedoch alle erklären, wie sie entsteht und welche Probleme sie verursachen kann. Die meisten gaben an, dass ihnen die Unterrichtsstunden gut gefallen haben und sie auch in ihrem Privatleben auf einen sorgsameren Umgang mit Kunstlicht achten wollen. Der Großteil der Lernenden befand sich auf einem mittleren Niveau der Bewertungskompetenz. In einigen Bereichen der Key Ideas der Optik führte die Intervention vor allem bei Mädchen zu einem besseren Verständnis.

Anhang 10: Abstract – englisch

The reasons and impacts of light pollution are still widely unknown to the vast population.

The aim of this diploma thesis is, on the one hand, to make the topic accessible to the students, and on the other hand, to provide field-tested data and materials to other teachers. The primary focus of attention has been trying to answer two questions: what do students of the 8th grade of education associate with the term light pollution, and to what extent do the designed lessons have an impact? Can the subject-specifically adequate conceptions be improved with the help of the intervention and can the development of assessment competences be trained?

The first part of this thesis deals with the basic principles of the teaching sequence. In the following, the developed teaching materials, as well as the performance in the six 4th grade classes (AHS) will be described in detail. The intervention was evaluated by conducting written pre-tests and post-tests, as well as by individual texts of students.

The analysis of the data showed that light pollution was unknown to almost every student. After the intervention, however, all of them could explain how light pollution occurs and which problems it can cause. The majority of the students enjoyed the lessons and they want to focus on using artificial light more responsibly in their private lives. A large proportion of the students were on an intermediate level of assessment competences. In some areas of the Key Ideas of Optics the intervention led, especially for the girls, to a better understanding.

Anhang 11: Lebenslauf der Verfasserin

Persönliche Daten:

Vorname: Manuela
Name: Kopper

Ausbildung:

1993-1997: Volksschule St. Marein
1997-2001: Hauptschule Horn
2001-2005: Bundesaufbaugymnasium Horn
2005-2013: Universität Wien (Unterrichtsfächer Geschichte, Sozialkunde und Politische Bildung sowie Katholische Religion)
seit 2007: Universität Wien (Unterrichtsfach Physik)
Schuljahr 2013/2014: Unterrichtspraktikum (Geschichte, Sozialkunde und politische Bildung sowie Kath. Religion) im BG/BRG Waidhofen/Thaya

Beruflicher Werdegang:

2004 - 2011: Museumsführungen auf Schloss Rosenberg
2008 –2010: Englischunterricht im Kindergarten Brunn/Wild
März – Juni 2009: Studienassistent bei Dr. Gerhard Marschütz am Institut für Moralthologie (Universität Wien)
2011-2013: Englischunterricht in den Kindergärten Greillenstein und Neupölla
September 2011: Praktikum im Stadtarchiv Horn
2012-2013: Autorin für technische Fachzeitschriften
seit September 2014: Unterricht an den Bundesgymnasien Horn (Physik und Kath. Religion)

Zusätzliche Qualifikation:

2011 – 2014: Österreichische Gebärdensprache (Abschluss der Kurse: Anfänger 1 und 2 sowie Fortgeschrittene 1, 2 und 3)

Ehrenamtliche Tätigkeiten:

- Freiwillige Feuerwehr: Ausbilderin und Feuerwehrhistorikerin in der FF Neukirchen/Wild, Bezirksausbilderin im Bereich Nachrichtendienst im Bezirk Horn
- Mitarbeit beim Dorferneuerungsverein Neukirchen/Wild
- Leiterin der Jungschargruppe in Neukirchen/Wild
- Chorleitertätigkeit und Archivierungsarbeiten beim Kirchenchor Neukirchen/Wild
- Kinderbetreuung bei diversen Gemeindeveranstaltungen (Kindersommerlager, Gesundheitstage, ...)
- Mitarbeit an einem Projekt der Kuffner Sternwarte (Wien) zum Thema „Lichtverschmutzung“ – Forschungstätigkeit
- Mitarbeit im landwirtschaftlichen Betrieb der Eltern

Neukirchen/Wild, am 03.04.2015