

Entwicklung und Evaluation eines Optikprojekts zu Schülervorstellungen in der Primarstufe

Linda Seufert, Wolfgang Lutz, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
linda.seufert1@stud-mail.uni-wuerzburg.de, wolfgang.lutz@physik.uni-wuerzburg.de,
thomas.trefzger@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Bereits in der Grundschule bringen die Schüler:innen Präkonzepte zu physikalischen Phänomenen aus der Optik mit in den Unterricht, beispielsweise zum Sehvorgang oder dem Wahrnehmen von Farben. Um ihnen möglichst frühzeitig ein anschlussfähiges Konzept an die Hand zu geben, sollten physikalische Inhalte zur Optik bereits im Sachunterricht der Primarstufe behandelt werden. Die Entwicklung eines konzeptionellen Verständnisses stellt dabei ein zentrales Ziel des Unterrichts dar und kann durch verschiedene Experimente und Visualisierungen unterstützt werden. Vor diesem Hintergrund wurde für die vierte Jahrgangsstufe eine Unterrichtskonzeption zum Sehvorgang sowie zum Thema Licht & Farben entwickelt und in einer Intervention erprobt. Mit Hilfe von Interviews wurden die Vorstellungen der Schüler:innen zu dieser Thematik sowohl vor als auch nach der Intervention erhoben. Im Beitrag werden die Unterrichtskonzeption, die zugrundeliegenden didaktischen Überlegungen und die verwendeten Materialien vorgestellt sowie Einblicke in die Erkenntnisse aus den Interviews gegeben.

1. Physik in der Grundschule

“Wenn es hell ist, ... und es nicht dunkel ist. Dass man dann rausgucken kann oder die Welt angucken kann.” Dies ist die Antwort eines Kindes einer vierten Jahrgangsstufe auf die Frage: “Wann können wir etwas sehen?”. Schon vor der Schulzeit erkunden Kinder ihre Umwelt und finden eigene Erklärungsansätze für ihre Entdeckungen, die sich allerdings häufig nicht mit den physikalischen Sichtweisen decken. Somit bringen die Schüler:innen bereits in der Primarstufe ihre selbst konstruierten Präkonzepte zu physikalischen Vorgängen und Phänomenen mit in den Unterricht (ISB, 2014) und verarbeiten die neu angebotenen Informationen auf der Grundlage ihrer eigenen Vorerfahrungen (Schecker & Duit, 2018). Diese aus dem Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen abgeleiteten Vorstellungen werden in der Grundschule allerdings nur selten aufgegriffen, sodass die Kinder “den Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe als Bruch erleben” (Wodzinski, 2020, S. 575). Dies liegt primär an zwei Veränderungen. Zum einen ändert sich die Art des Unterrichts. Dieser ist in der Sekundarstufe üblicherweise eher unpersönlich und weniger handlungsorientiert (Tytler et al. 2008, Walper et al. 2016, zit. nach Wodzinski, 2020). Zum anderen kommen für die Schüler:innen neue Fächer hinzu, zu denen ihnen Vorerfahrungen durch mangelnde Behandlung in der Primarstufe fehlen. Um daher den Kindern möglichst früh anschlussfähige Konzepte für naturwissenschaftliche Themen an die Hand zu geben und einen späteren Bruch beim Übertritt zu vermeiden, sollten physikalische Inhalte schon in der

Grundschule aufgegriffen werden (Mikelskis-Seifert & Wiebel, 2011). Einen Rahmen hierzu bietet der Sachunterricht, in dem sich die Kinder neben sozialen und kulturellen Aspekten auch naturwissenschaftliche Phänomene ihrer Umwelt eigenständig erschließen sollen (GDSU, 2013). Einen Schwerpunkt für diese naturwissenschaftliche Bildung der Grundschüler:innen bildet “das Wahrnehmen, Erkennen und zunehmende Verstehen von Phänomenen der lebenden und nicht lebenden Natur unter Nutzung und Anwendung grundlegender [...] physikalischer Konzepte und Zusammenhänge” (ebd., S. 38). Die Optik bietet sich durch zahlreiche Experimente zum Sehvorgang, zu Licht und Farben in einer besonderen Weise zum phänomenologischen Erforschen von Sachverhalten an und bildet die Grundlage für ein Forschungsprojekt in der vierten Jahrgangsstufe. Vor diesem Hintergrund wurde ausgehend von den aus der Literatur bekannten Präkonzepten ein Optiklehrgang für die Primarstufe entwickelt und in einer Intervention mit einer vierten Klasse erprobt. Mit Hilfe von Interviews wurden dabei die Vorstellungen der Schüler:innen zu den genannten Themen in einem Pre-Post-Design erhoben. Im Folgenden wird zuerst ein Überblick über typische Schülervorstellungen zu optischen Phänomenen gegeben. Danach werden die bei der Entwicklung der Unterrichtskonzeption relevanten theoretischen und didaktischen Grundlagen vorgestellt und anschließend der Unterrichtsverlauf skizziert. Abschließend werden die Ergebnisse der Interviews präsentiert und diskutiert.

2. Schülervorstellungen zu ausgewählten Themenbereichen aus der Optik

In der Literatur finden sich zahlreiche Studien zu Schülervorstellungen im Themenbereich der Optik (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018), die sich unter anderem mit dem Sehvorgang, Licht und Farben beschäftigen. Im Folgenden werden die wesentlichen Kenntnisse zu diesen Vorstellungen kurz zusammengefasst.

2.1. Sehvorgang

Eine erste Vorstellung zum Sehvorgang ist die des aktiven Auges. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Auge über einen Sehstrahl verfügt, mit welchem die Umgebung abgescannt werden kann. Weiterhin wird unter dieser Vorstellung auch das aktive Hinschauen verstanden, was wiederum mit der Blickrichtung gleichgesetzt werden kann. Üblicherweise zeigt sich dieses mentale Modell überwiegend bei jüngeren Kindern, weshalb es gerade für die Primarstufe äußerst relevant ist. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018) Auch Murmann (2001) hat in ihren Untersuchungen in der Primarstufe diese Vorstellung bestätigen können. Für Kinder ist das Sehen eine Aktivität, die als aktive Handlung erlebt wird und daher schwer mit einem passiven Konzept begreifbar gemacht werden kann. In ihrer Kategorisierung findet sich jedoch kein expliziter Sehstrahl, vielmehr wird die Verbindung zwischen Auge und Gegenstand als ein Informationsweg beschrieben, der nötig ist, um die visuellen Informationen vom Objekt zum Betrachtenden zu transportieren.

Im Gegensatz dazu gibt es zwei Präkonzepte, die die Anwesenheit von Licht im Allgemeinen in den Mittelpunkt stellen. Die Vorstellungen beruhen darauf, dass die einzig notwendige Voraussetzung zum Sehen das Vorhandensein von Licht ist. Bei der sogenannten Lichtbadvorstellung steht die Helligkeit im Fokus der Aufmerksamkeit bei gleichzeitigem Vernachlässigen des visuellen Systems. Dabei ist es irrelevant wohin das Licht fällt oder welchen Weg das Licht zurücklegt, ebenso wie der Bezug zu einer sehenden Person. Zentral ist nur, dass es hell sein muss, damit Sehen möglich ist. Ein zweites dazu passendes Konzept ist die Beleuchtungsvorstellung, bei der ein Objekt genau dann sichtbar ist, wenn es mit Licht angestrahlt wird. Ob Licht in das Auge des Beobachters fallen kann, ist dabei irrelevant. Auch eine allumfassende Helligkeit muss hier nicht gegeben sein, denn ein Anleuchten des Objekts scheint für das Sehen ausreichend zu sein. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018)

Dem entgegen steht wiederum die Vorstellung, dass Sehen auch ohne Licht möglich ist. Viele Kinder kennen eine absolute Dunkelheit nicht, da diese Vorstellung im Alltag häufig gar nicht erlebt und dadurch auch nicht widerlegt werden kann (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Für die Kinder ist also Licht nicht zwangsläufig eine Voraussetzung für das Sehen,

wohingegen das Sehen dennoch häufig mit der Anwesenheit von Licht verknüpft wird (Murmann, 2001).

2.2. Licht

Licht wird von einigen Kindern als "ruhende Helligkeit" (Haagen-Schützenhöfer & Hopf 2018, S. 92) beschrieben, was eine materielle, substanzartige Perspektive erkennen lässt. Sobald eine Lichtquelle eingeschaltet wird, existiert das Licht umgehend in dem entsprechenden Raum, ohne dass eine Ausbreitung von der Lichtquelle erfolgt. Als charakteristische Adjektive für die Erscheinungsform von Licht werden oft farblos, hell und durchsichtig genannt. Sonnenlicht hingegen wird von vielen Kindern als gelb oder orange beschrieben, unter anderem, da sie bereits im Kindergarten lernen, die Sonne und deren Lichtstrahlen mit gelb und orange zu malen. Wird die Ausbreitung des Lichts von einer Quelle erkannt, so überwiegt die Vorstellung des linienförmigen Lichtstrahls, d.h. Licht breitet sich geradlinig in Form von Strahlen aus. Probleme ergeben sich hierbei allerdings dann, wenn es um eine gleichmäßige Ausbreitung in alle Richtungen geht. Diese wird von den Kindern häufig mit dem Strahlenmodell unzureichend erklärt und die korrekte Darstellung, also die Aussendung von jedem Punkt in alle Richtungen, nicht akzeptiert. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf 2018)

2.3. Farben

Um die Wahrnehmung von Farben zu verstehen, ist eine spektrale Analyse des Lichts hilfreich. Viele Lernenden wissen beispielsweise nicht, dass sich weißes Licht aus einem breiten Spektrum an Farben zusammensetzt. Dementsprechend bereitet auch die Idee, dass ein Farbfilter nur eine Farbe des Lichts durchlässt und alle übrigen Farben herausfiltert, Lernschwierigkeiten. Die typische Schülervorstellung ist hier, dass dem weißen Licht durch den Farbfilter die entsprechende Farbe hinzugefügt wird, wodurch das Licht eingefärbt wird. Bei Objekten ist die Annahme dominierend, dass die Farbe eine fixe Eigenschaft des jeweiligen Gegenstandes ist, die nicht veränderbar ist. Diese Vorstellung wird sowohl durch alltägliche Erfahrungen als auch durch sprachliche Bezeichnungen gestützt und ist daher sehr stabil und fest verankert. Werden farbige Objekte mit farbigem Licht beleuchtet, erklären viele Kinder dies mit einer Mischvorstellung, vergleichbar mit dem Mischen von Farben auf einer Farbpalette oder mit Hilfe einer Wettkampfvorstellung, bei dem sich die stärkere Farbe durchsetzt. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018)

3. Entwicklung eines Optikprojekts für die Primarstufe

Nach dem Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) bildet die wechselseitige Verbindung zwischen den dargelegten Schülervorstellungen und den fachlichen Perspektiven zu den Themen

Sehvorgang, Licht und Farben die didaktische Strukturierung der Unterrichtssequenz im Projekt. Ziel war es, mit den entwickelten Materialien vorhandene Präkonzepte bei den Schüler:innen bewusst zu adressieren. Darüber hinaus wurden bei der Planung des Projekts weitere Aspekte, wie äußere Bedingungen, Elementarisierung und didaktische Prinzipien berücksichtigt. Grundlage für die Gestaltung der Materialien des Optikprojekts bildete die Unterrichtskonzeption zur Optik für die Sekundarstufe I von Wiesner, Herdt und Engelhardt (1993, zit. nach Wiesner, 1995) und der darauf aufbauende Lehrgang von Haagen-Schützenhöfer, Fehrer & Rottensteiner (2017).

3.1. Didaktische Analyse

Als zentrales Ziel des Projektes wurde der Aufbau eines anschlussfähigen physikalischen Konzepts zum Sehvorgang, von Licht und Farben gesehen, welches bei den Schüler:innen in ihrer späteren Schullaufbahn, aber auch in ihrem alltäglichen Leben Anwendung findet. In diesem Zusammenhang ist eine doppelte Anschlussfähigkeit wichtig, um einerseits an die bisherige Erfahrungswelt und das Vorwissen der Kinder anzuknüpfen und andererseits den Lehrgang auf eine fachliche Auseinandersetzung mit dem Themengebiet hinzuführen (GDSU, 2013). In diesem Spannungsfeld wird die Elementarisierung der Inhalte und die damit zusammenhängende didaktische Rekonstruktion ebendieser festgelegt.

Bei schwierigen und schwer nachvollziehbaren physikalischen Lerninhalten erweist sich häufig eine aufbauende Strategie verbunden mit einer engen Führung durch die Lehrperson als hilfreich. Insbesondere leistungsschwache Schüler:innen können von einer Vorstrukturierung des Unterrichtsstoffes profitieren, da sie darin eine für sie notwendige Orientierung finden und mit offenen Lernformen bzw. freien Entscheidungen überfordert wären. Gerade zu Beginn einer Arbeitsphase profitieren die Schüler:innen von einer kleinschrittigen Instruktion, dem sogenannten Scaffolding, das mit zunehmenden Fähigkeiten und Fertigkeiten reduziert und schließlich vollständig zurückgenommen werden kann (Fading). (Kollar & Fischer, 2019) Aus den genannten Gründen wurde im Optikprojekt der Unterricht durch eine Anleitung der Lehrkraft mit vielen vorgegebenen Arbeitsschritten und Abläufen vorstrukturiert.

Eine Auswahl geeigneter Schlüsselphänomene ist von großer Bedeutung, um physikalische Sichtweisen möglichst nahe an den Kindern und für diese akzeptabel darzustellen (Wiesner, 1995). In der praktischen Umsetzung finden sich für jeden Lerninhalt adaptierte Visualisierungen aus der Lebenswelt der Lernenden, auf die in der nachfolgenden Vorstellung der Materialien noch weiter eingegangen wird. Den roten Faden des Lehrgangs bildet die immer wiederkehrende Aufmerksamkeitszentrierung auf das Licht und die jeweiligen Lichtwege.

Neben den themenspezifischen Grundsätzen nimmt die kognitive Aktivierung der Schüler:innen eine wichtige Schlüsselrolle im Lernprozess ein und kann beispielsweise durch eigenständig durchgeführte Experimente gefördert werden (Drechsel & Schindler, 2019). Gerade in der Grundschule stellt das explorative Forschen im Rahmen eines Phänomenkreises eine gute Möglichkeit dar, damit die Kinder bei unterschiedlichen Experimenten eigene Erfahrungen zu einem Phänomen sammeln können (Spreckelsen, 2004). Ebenfalls zur Basisdimension der kognitiven Aktivierung zählt die adäquate Strukturierung der Unterrichtsinhalte, beispielsweise durch eine deutliche Verbalisierung der Lerninhalte und der Verwendung eines an die Lerngruppe angepassten Fachvokabulars (Lipowsky, 2007, zit. nach Drechsel & Schindler, 2019).

3.2. Beschreibung des Optik-Lehrgangs

Das Projekt gliedert sich in insgesamt drei Sequenzen. Zu Beginn wird die Bedeutung des Lichts für das Sehen verdeutlicht. Die elementare Sinneinheit dieser Sequenz lautet: Um sehen zu können, muss Licht in das Auge fallen. In der zweiten Lerneinheit werden Reflexion, Streuung und Absorption thematisiert. Der für diesen Abschnitt zentrale Wissensbaustein lautet: Licht kann zurückgeworfen und geschluckt werden. Eine Überleitung zur dritten Einheit und dem Thema Farben findet durch die Aufspaltung des weißen Lichts in seine Spektralfarben statt, wobei auf eine physikalische Begründung dieses Phänomens aufgrund der Komplexität verzichtet wird. Vielmehr geht es um die Feststellung, dass in weißem Licht alle Farben des Regenbogens enthalten sind. Daran anknüpfend werden Farbfilter untersucht, die nur einen bestimmten Teil des Spektrums transmittieren. Die zentrale Aussage dazu lautet: Ein Filter lässt nur bestimmte Farben des Lichts durch.

Die erste Unterrichtseinheit beginnt in einem Stuhlkreis mit einem stummen Impuls, indem die Lehrkraft den Raum abdunkelt und kurz darauf in der Mitte des Kreises eine Kerze anzündet. Anschließend wird eine genauere Betrachtung der Ausbreitung des Lichts von der Kerze mit Hilfe von Lichtwegen bis hin zum Auge der Schüler:innen thematisiert. Wird dieser Weg durch ein Stück Pappe unterbrochen, ist ein Sehen der Kerze nicht mehr möglich. Das von einem Gegenstand ausgehende und ins Auge des Betrachters fallende Licht wird somit als zentrale Voraussetzung für den Sehvorgang herausgearbeitet.

Daran anknüpfend wird in der zweiten Sequenz die geradlinige Ausbreitung von Licht in einem Experiment mit Hilfe eines Laserpointers und Kreidestaub demonstriert. Darauf aufbauend wird das Phänomen der Reflexion eingeführt, indem ein Spiegel mit dem Laser beleuchtet wird und sowohl der Verlauf des einfallenden, als auch des reflektierten Lichts durch den Staub sichtbar gemacht werden. Um die Reflexion für die Kinder noch greifbarer zu gestalten, wird der Versuch mit einer gewöhnlichen Taschenlampe

und ohne Kreidestaub wiederholt. An der Wand kann dann das am Spiegel reflektierte Licht als Lichtfleck beobachtet werden. Zur Aktivierung der Schüler:innen wird zwischen den Demonstrationsexperimenten eine Knobelaufgabe zu der Thematik eingebaut. Diese ist als Geschichte aufgezogen, bei der die Polizei einen Dieb nachts im Museum finden muss. Die Kinder bekommen den Auftrag, eine Figur zwischen verschiedenen Gegenständen zu verstecken, sodass die Polizei sie mit einer Taschenlampe nicht anleuchten kann. Die Anordnung ist so gewählt, dass nur eine Option möglich ist (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Aufbau Knobelaufgabe

Als nächstes wird mit der Taschenlampe anstelle des Spiegels ein weißes und ein schwarzes Papier angeleuchtet. Beim weißen Papier erscheint der abgedunkelte Raum deutlich heller als zuvor, beim schwarzen Papier bleibt der Raum vergleichsweise dunkel, daher muss das Licht von diesem geschluckt werden. Damit ist ein erster Zugang zu den grundlegenden Phänomenen der Reflexion und Absorption von Licht an Gegenständen gegeben und es folgt eine Schülerarbeitsphase. Die Kinder erhalten den Forscherauftrag eine weitere Besonderheit des Lichts zu entdecken. Ziel ist es, die Aufspaltung weißen Lichts in Spektralfarben zu untersuchen. Dies wird als Grundlage für die weiterführende Behandlung der Farbwahrnehmung benötigt. Der Auftrag ist als Phänomenkreis strukturiert, bei dem jeweils ein Forscherteam ein Experiment bearbeitet und am Ende vor der Klasse vorstellt. Die Schüler:innen werden in leistungshomogene Gruppen von je drei bis fünf Kindern eingeteilt und bearbeiten ein durch die Lehrperson ausgewähltes Experiment, wodurch eine Differenzierung erfolgt. Die einzelnen Experimente werden hier kurz schematisch beschrieben:

- **CD:** Eine CD wird schräg mit einer Taschenlampe beleuchtet und das Farbspektrum mit einem Schirm aufgefangen.
- **Regenbogen:** In einer Schüssel mit Wasser wird ein Spiegel schräg platziert, sodass er zur Hälfte mit Wasser bedeckt ist. Mit einer Taschenlampe

wird schräg auf den Spiegel im Wasser geleuchtet und das Farbspektrum auf einem dahinter liegenden Schirm sichtbar.

- **Wasserprisma:** Ein sechseckiges Marmeladenglas wird mit Wasser gefüllt und mit einer Taschenlampe schräg hineingeleuchtet, sodass die Spektralfarben zu sehen sind.
- **Gitter:** Ein optisches Gitter wird vor eine Taschenlampe gehalten und das Licht mit einem Schirm aufgefangen.
- **Spalt:** Vor eine Taschenlampe wird ein Spalt gehalten und dann in ein rundes Wasserglas geleuchtet, sodass die Spektralfarben auf einem Schirm zu sehen sind.
- **Seifenblasen:** In einem Blasring wird eine Seifenhaut aufgeblasen und dann schräg hineingeleuchtet. Das Farbspektrum wird auf der Seifenhaut sichtbar.

Die letzte Sequenz zu Farben und Farbwahrnehmung beginnt mit einer Vorwissensaktivierung aus den vorherigen Stunden mit Hilfe eines Online-Quiz. Um in die Thematik einzuführen, wird den Schüler:innen die Forscherfrage "Warum ist das Meer blau?" gestellt. Darauf folgt ein Videoausschnitt aus einem Beitrag der "Sendung mit der Maus" (Caspers, 2019), der typische Vermutungen der Kinder aufgreift. Der weitere Unterrichtsverlauf ist an diesen Beitrag angelehnt und hat als Ziel die Forscherfrage zu lösen. Um den Bogen zur vorangegangenen Einheit zu spannen, wird die Dispersion des weißen Lichts durch ein Prisma in einem Experiment demonstriert. Vor die Lichtquelle werden unterschiedliche Farbfilter gehalten und die Veränderung im Farbspektrum genauer untersucht. Da den Kindern ein Farbfilter aus ihrer Lebenswelt in der Regel nicht bekannt ist, dient ein Wasserfilter als Analogie, um die Wirkungsweise eines Filters zu veranschaulichen. Ziel eines Wasserfilters ist es, alle Bestandteile des Schmutzwassers, wie z. B. Erde oder Sand, vom Medium Wasser zu trennen. Der Filter hält demnach den Schmutz auf, sodass nur das saubere Wasser übrigbleibt. Übertragen auf einen Farbfilter bedeutet dies, dass nur ein bestimmter Teil des Spektrums transmittiert und der Rest absorbiert wird. Dieser Schritt stellt bereits eine große Herausforderung für einige Lernende dar, da das Wissen über die Absorption und die Spektralfarben miteinander verknüpft werden sollen. Zur Unterstützung der Lernenden wird an dieser Stelle mit der Simulation Farbwahrnehmung (University of Colorado Boulder, 2019) das weiße Licht der Lampe im Teilchenmodell als Zusammensetzung vieler „bunter Lichtteilchen“ dargestellt und in der Folge die Funktionsweise eines Filters visualisiert (siehe Abb. 2).

Im Anschluss beleuchten die Kinder in Partnerarbeit verschiedene Gegenstände mit einer Taschenlampe und untersuchen, wie sich die Wahrnehmung der Gegenstände verändert, wenn sie Farbfilter vor die Taschenlampe halten.

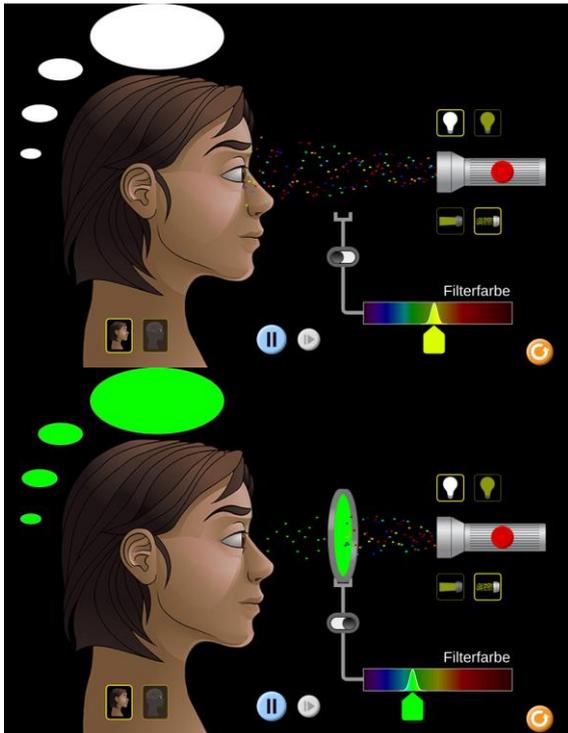


Abb. 2: Selbsterstellte Screenshots zur Simulation Farbwahrnehmung (Simulation by PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2021: <https://phet.colorado.edu/de/simulations/color-vision>, licensed under: <https://phet.colorado.edu/de/licensing>). CC-BY-4.0 (Zugriff: 14.06.2022).

Hierzu stehen den Schüler:innen Boxen mit verschiedenen farbigen Objekten wie beispielsweise Legosteine und Gemüse zur Verfügung. Jede Box besitzt eine Öffnung an der Seite, an der ein Farbfilter angebracht werden kann, sowie ein Loch an der Oberseite, durch das die Objekte gesehen werden können (siehe Abb. 3).



Abb. 3: Material zum Experimentieren mit Farbfiltern

Ziel dieser Arbeitsphase ist, dass die wahrgenommene Farbe eines Gegenstandes keine Eigenschaft des Objektes selbst ist, sondern von der Lichtquelle abhängt. Diese abstrakte Schlussfolgerung wird im Anschluss an die Arbeitsphase im Plenum aufgegriffen, da sie vielen Kindern Schwierigkeiten bereitet.

Am Ende der Stunde wird die bislang offen gebliebene Forscherfrage aufgegriffen und gemeinsam nach einer Lösung in der folgenden Art gesucht:

1. Das Licht der Sonne scheint auf das Wasser des Meeres.
2. Im Licht der Sonne sind alle Spektralfarben (Regenbogenfarben) enthalten.
3. Das Wasser schluckt alle Farben, außer Blau.
4. Nur blaues Licht wird vom Wasser zurückgeworfen.
5. Der blaue Teil des weißen Lichts fällt ins Auge.
6. Wir sehen das Meer in der Farbe Blau.

4. Beschreibung der Studie

4.1. Bedingungsanalyse

Das Optikprojekt wurde in einer vierten Klasse einer bayerischen Regelgrundschule im Dezember 2021 durchgeführt und umfasste fünf Unterrichtsstunden innerhalb von zwei Schulwochen. Im Rahmen einer schulinternen Evaluation waren $n = 17$ Schüler:innen aus der Klasse zu einer Teilnahme an den Interviews bereit. Diese wurden jeweils mit einem zeitlichen Abstand von einer Woche vor bzw. nach der Intervention durchgeführt. Als Besonderheit ist anzumerken, dass drei der Kinder Deutsch als Zweitsprache lernen und deshalb sprachliche Barrieren aufweisen. Eine weitere Herausforderung stellt das niedrige Leistungs-niveau in der Klasse dar, in der einige Kinder externe Unterstützung beanspruchen oder spezielle Förderung durch sonderpädagogische Fachkräfte innerhalb der Schule erhalten. Bei der Umsetzung des Optikprojekts mussten daher vor allem sprachliche aber auch allgemeine Schwierigkeiten bezüglich des Verständnisses berücksichtigt werden.

Vor Interventionsbeginn wurden durch die Lehrkraft bereits einige Grundlagen zum Auge unterrichtet, beispielsweise dessen biologischer Aufbau. Ebenso wurde bereits die Brechung an Linsen und der Einfluss einer unterschiedlichen Linsenkrümmung auf das scharfe Abbilden eines Gegenstandes auf der Netzhaut kurz thematisiert.

4.2. Erhebung der Schülervorstellungen

Die Erhebung der Schülervorstellungen fand in einem Pre-Post-Design mittels Einzelinterviews statt. Der zeitliche Rahmen belief sich auf fünf bis sieben Minuten pro Kind. Um eine abwechslungsreiche Fragenkultur zu schaffen, wurden verschiedenartige Items von Murmann (2001), Haagen-Schützenhöfer & Hopf (2018) und aus einer Handreichung des Bayerischen Lehrplans (ISB, 2015) adaptiert.

Das Interview beginnt mit der Warm-up Frage "Wann können wir etwas sehen?" (Item 1a), bei der sich die Kinder frei äußern können. Darauf aufbauend folgt eine Multiple Choice Frage, die die Voraussetzungen zum Sehen konkretisieren soll: "Stell dir vor wir sind

in einem komplett dunklen Raum. Welche dieser Gegenstände brauchen wir, um dort etwas sehen zu können?”.

Den Schüler:innen wird hierzu eine Abbildung sechs verschiedenen Gegenstände vorgelegt (siehe Abb. 4), aus denen sie mehrere auswählen können (Item 1b).

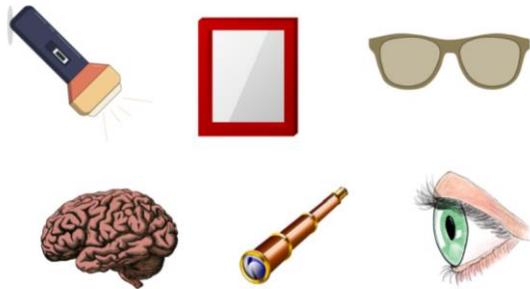


Abb. 4: Gegenstände zu Item 1b (David Stephanus: Taschenlampe, <https://pixabay.com/de/vectors/taschenlampe-licht-karikatur-5998564/>; Jan: Spiegel, <https://pixabay.com/de/vectors/spiegel-reflektion-spiegelbild-1712512/>; Brille, <https://pixabay.com/de/vectors/sonnenbrille-schattierungen-linsen-306909/>; Gehirn, <https://pixabay.com/de/illustrations/gehirn-anatomie-mensch-wissenschaft-512758/>; Fernrohr, <https://pixabay.com/de/vectors/fernrohr-ansicht-linsen-distanz-158156/>. Vereinfachte Pixabay Lizenz: <https://pixabay.com/de/service/license/>) (Zugriff: 14.06.2022).

Anschließend werden die Schülervorstellungen zum Sehvorgang untersucht, indem die Lernenden aus vier Abbildungen (siehe Abb. 5) eine für sie passende bestimmen sollen (Item 2). Dabei sind die Abbildungen so gewählt, dass jeweils eine zu einer aus der Literatur bekannten Schülervorstellung passt (a: physikalische Vorstellung, b: Aktives Auge, c: Lichtbadvorstellung, d: Beleuchtungsvorstellung).

Um die Konsistenz dieser Antwort zu überprüfen, folgt eine Verbalisierung der verschiedenen Vorstellungen, bei denen nach jedem Satz entschieden werden muss, ob die Aussage wahr oder falsch ist (Item 3).

- Zu a: Beim Sehen treffen Lichtstrahlen vom Ball in mein Auge.
- Zu b: Ich sehe den Ball, indem ich meinen Blick auf den Ball richte.
- Zu c: Um sehen zu können muss um mein Auge und um den Ball überall Licht sein.
- Zu d: Zwischen dem Auge und dem Ball passiert beim Sehen nichts.

Hiermit lässt sich zudem überprüfen ob mehrere Vorstellungen gleichzeitig existieren. Schließlich folgt der Übergang zum Licht, bei dem die Kinder zunächst die Farbe des Lichts einer Taschenlampe beschreiben (Item 4a) und danach erläutern sollen, was mit dem Licht passiert, wenn es durch eine grüne Folie scheint (Item 4b). Eine Untersuchung zur Farbe als Eigenschaft eines Objekts beendet das Interview. Den Ler-

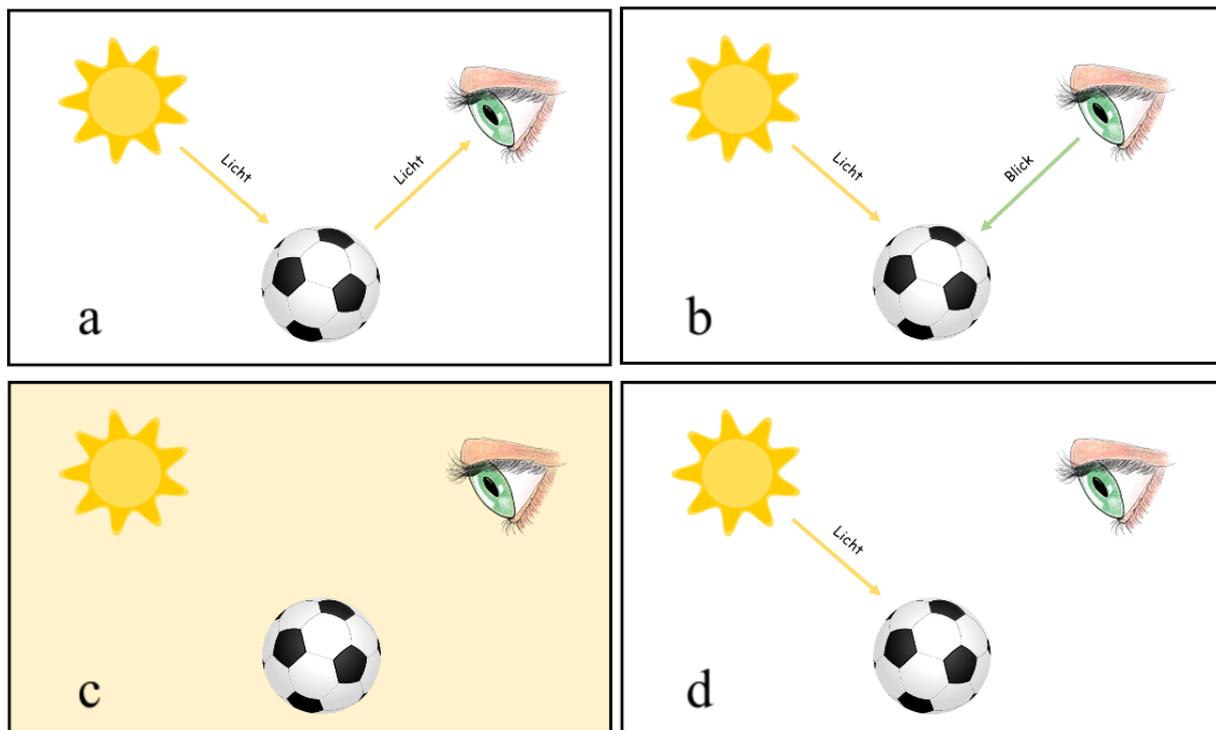


Abb. 5: Visualisierungen der Schülervorstellungen zum Sehvorgang (Item 2) (nach Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018; ISB, 2015). (Łukasz Cwojdzinski: Sonne, <https://pixabay.com/de/illustrations/die-sonne-sonnig-zeichnung-grafik-2017530/>; Ball, <https://pixabay.com/de/vectors/football-ball-sport-fu%c3%9fball-runden-157930/>. Vereinfachte Pixabay Lizenz: <https://pixabay.com/de/service/license/>). (Zugriff: 14.06.2022).

nenden wird ein roter Ball gezeigt, der in einem dunklen Raum mit einer Taschenlampe beleuchtet wird. Sie sollen sich dann vorstellen, wie der Ball aussieht, wenn vor die Taschenlampe ein roter bzw. grüner Filter gehalten wird (Item 5).

4.3. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

4.3.1. Sehvorgang

Mit der Einstiegsfrage (Item 1a) "Wann können wir etwas sehen?", wurde die Vorstellung der Schüler:innen zum Sehvorgang eruiert. Da es sich hierbei um eine freie Frage handelt, wurden die Antworten hinsichtlich vier verschiedener Nennungen kategorisiert (siehe Abb. 6).

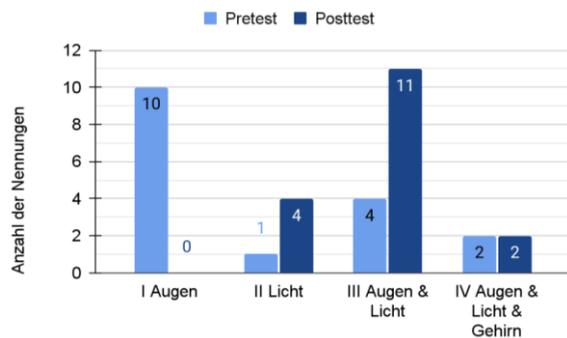


Abb. 6: Kategorisierung der Schüler:innenaussagen im Pre- und Posttest zum Sehvorgang

Im Pretest hängt der Sehvorgang für zehn Kinder ausschließlich mit den Augen zusammen. Dass Licht ebenfalls eine zentrale Bedingung für den Sehvorgang ist, äußerten nur vier Kinder. Da zu Beginn von den meisten Kindern erwähnt wurde, dass die Augen funktionieren und offen sein müssen, damit Sehen überhaupt möglich ist, lässt dies auf fehlendes Vorwissen zum physikalischen Sehvorgang schließen. Insbesondere jüngere Kinder erleben Sehen als Selbstverständlichkeit und halten dieses Phänomen daher nicht für erklärungsbedürftig (Murmans, 2001). Im Post-Interview verschiebt sich mit elf Nennungen die Anzahl deutlich hin zur Kategorie III Augen & Licht. Hierdurch zeigt sich, dass das Lernziel zur ersten Einheit von einem Großteil der Lernenden erreicht wurde, da ihnen bewusst ist, dass zum Sehen nicht nur ein funktionierendes Auge, sondern auch Licht gebraucht werden. Weiterhin ändert sich die Qualität der Antworten im Verlauf der Untersuchung. Im Vortest finden sich überwiegend Formulierungen wie "es darf nicht dunkel sein" oder "es muss hell sein", während nach der Intervention die Beziehungen zwischen Licht und Auge deutlicher werden: "Wenn Licht in unsere Augen fällt", "Wenn Licht im Raum ist". Es zeigt sich somit ein positiver Effekt bezüglich des qualitativen Ziels: um sehen zu können, muss Licht ins Auge fallen. Die Anzahl der Antwort-

ten in Kategorie IV, also die Notwendigkeit des Gehirns, neben Augen und Licht blieb unverändert bei zwei, was unter anderem daran liegen kann, dass die Rolle des Gehirns für den Sehvorgang in dieser Intervention nicht tiefergehend behandelt wurde.

Bei der Frage nach der Vorstellung des Sehvorgangs (Item 2), wählten sowohl vor als auch nach dem Projekt sieben Kinder die physikalische Vorstellung (siehe Abb. 7). Vier davon sind bei ihrer Auswahl geblieben, zwei Kinder entschieden sich im Posttest für die Vorstellung des aktiven Auges und eines für die Beleuchtungsvorstellung. Von diesen beiden Vorstellungen sind insgesamt aber auch drei Kinder zur physikalischen Abbildung gewechselt, wodurch die Summe konstant bleibt. Für die Vorstellung des aktiven Auges ergibt sich ein Zuwachs von zwei. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus der Literatur, dass eine Sehstrahlvorstellung überwiegend von jüngeren Kindern genutzt wird (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Eine weitere Ursache für diese Zunahme kann die Aufmerksamkeitslenkung auf das genaue Hinsehen und Beobachten in den Unterrichtseinheiten sein, die somit die Bedeutung der Blickrichtung für die Schüler:innen betont. Bei der Lichtbadvorstellung, ebenso wie bei der Beleuchtungsvorstellung kann für das Item 2 ein Rückgang um jeweils eine Nennung verzeichnet werden. Insgesamt sind diese beiden Konzepte in der Klasse jedoch weniger stark vertreten.

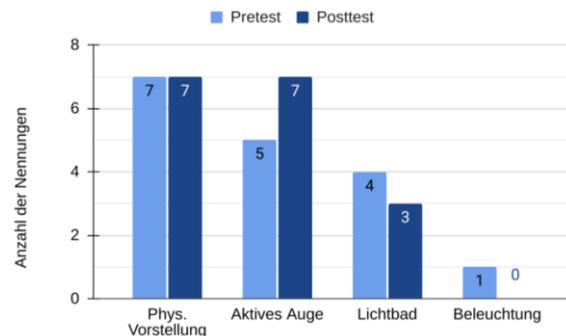


Abb. 7: Auswertung der Antworten im Pre- und Posttest zu Item 2

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich mit den Nennungen der Verbalisierungen der Vorstellungen (Item 3). Die Aussage, dass man um einen Ball sehen zu können, den Blick auf diesen Ball richten muss (aktives Auge) stößt bei 14 von 17 Kindern auf Zustimmung (siehe Abb. 8). Für die meisten Kinder ist es daher vor allem wichtig, dass sich der jeweilige Gegenstand in ihrem Blickfeld befindet, damit er von ihnen gesehen werden kann. In der verbalen Präsentation der Vorstellungen war die Aussage zur Lichtbadvorstellung mit zwölf Nennungen für die Kinder sehr plausibel, ging nach der Intervention jedoch um die Hälfte zurück. Dieses Ergebnis deckt sich mit den freien Antworten der Kinder aus Item 1a.

Die Beleuchtungsvorstellung wurde für Item 3 umformuliert zu “zwischen dem Auge und dem Ball passiert beim Sehen nichts”. Dies steht im Gegensatz zum physikalischen Konzept, bei dem Licht vom Ball ins Auge fällt. Daher sind wenige Antworten in diesem Fall positiv zu bewerten, da davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler:innen wissen, dass dies nicht mit der physikalischen Vorstellung übereinstimmt. Auffällig ist allerdings, dass kein Kind sich im Posttest bei Item 2 für die Beleuchtungsvorstellung entschieden hat, aber im verbalen Kontext diese Aussage sogar drei weitere Zustimmungen gewinnen konnte. Eine mögliche Erklärung liegt in der Art der Formulierung dieser Vorstellung. Diese ist ungünstig gewählt, da die Kinder bei der Beantwortung eine doppelte Verneinung berücksichtigen müssen. Im Hinblick auf die sprachlichen Schwierigkeiten einiger Schüler:innen, wäre es geeigneter, dies als Frage zu formulieren: “Passiert beim Sehen etwas zwischen dem Auge und dem Ball?”. Zuletzt ist noch eine Erhöhung um drei Nennungen beim verbalisierten physikalischen Konzept zu erwähnen. Aufgrund dessen und dem Rückgang der Lichtbadvorstellung lässt sich insgesamt eine positive Entwicklung hin zum physikalischen Verständnis des Sehvorgangs feststellen.

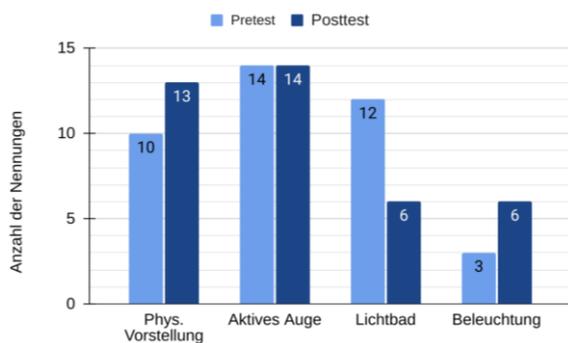


Abb. 8: Auswertung der Antworten im Pre- und Posttest zu Item 3

4.3.2. Licht

Bei der Beschreibung der Farbe des Lichts einer Taschenlampe, nannten alle Kinder sowohl im Pre- als auch im Posttest die Farbe Weiß. Besonders im Pretest findet sich überdies die Charakterisierung als hell bei 13 der 17 Kindern, die später deutlich auf nur fünf Nennungen abnimmt. Dass bei den Schüler:innen der Konsens über die Farbe Weiß herrscht, kann darauf zurückgeführt werden, dass der Farbeindruck des Lichts der verwendeten Taschenlampe weiß und nicht gelblich ist. Hinzu kommt, dass die Beantwortung dieser Frage überwiegend vom Kontext abhängt, in dem sie gestellt wird (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Wäre nach der Farbe des Lichts der Sonne gefragt worden, würden die Antworten wohl typischerweise eher gelb oder orange lauten. Die Charakterisierung als hell, deckt sich hingegen mit den Erkenntnissen der aktuellen Forschung, bei welcher Kinder das Licht im Allgemeinen mit den Eigenschaften

farblos und hell beschreiben (ebd.). Drei Kinder konnten im Posttest bereits erklären, dass das weiße Licht als Zusammensetzung der Spektralfarben zu verstehen ist. Somit lassen sich auch hier leichte positive Veränderungen ausmachen, wobei dennoch 14 Kinder die Erklärung der Spektralfarben nicht liefern können. Dies kann einerseits an externalen Faktoren liegen, wie der stark beschränkte Zeitrahmen oder die hohe Stoffdichte innerhalb des Projekts. Andererseits spielen aber gerade interne Aspekte eine große Rolle. Hier ist zu nennen, dass es sich bei der Probandenklasse um eine leistungsschwache Klasse handelt, die zudem sprachliche Barrieren aufweist, sodass einige Schüler:innen dem Unterrichtsverlauf aus diesen Gründen nicht durchgehend folgen können. Weiterhin sind die Präkonzepte der Lernenden für das Verständnis der physikalischen Erklärung relevant. Diese sind in der Regel jedoch so stark verankert, dass eine Änderung der Vorstellung erst in einem langwierigen Prozess möglich ist (Duit, 2018).

4.3.3. Farben

Die Kinder wurden in Item 4 aufgefordert den Vorgang zu beschreiben, der mit dem Licht passiert, wenn dies durch eine grüne Farbfolie fällt. Die Erklärungen der Kinder wurden anhand verschiedener Stichworte in die Kategorien “Licht wird gefärbt” und “Licht wird gefiltert” eingeteilt. Vor dem Projekt verfügten alle Kinder über die Vorstellung, dass das Licht durch die Folie eingefärbt wird. Ein Kind stellte den Vorgang folgendermaßen dar: “Also das Licht geht halt da durch und dadurch ändert diese Folie einfach die Farbe. Weil die ist halt grün und plus weiß ergibt das halt grün.” Der Vorgang des Färbens wird hier deutlich durch die additive Vorstellung (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018), die das Kind beschreibt. Im Posttest hingegen können vier der 17 Kinder eine nahezu vollständige Erklärung für den Prozess, der bei einem Farbfilter abläuft, liefern: “In dem Licht sind ja eigentlich alle Farben drinnen und die grüne Folie ist ein Filter und der tut nur die grüne Farbe die im Licht ist durchlassen, die anderen Farben lässt der einfach nicht durch deswegen sehen wir nur die grüne.” Folglich weisen auch in diesem Themenbereich einige der Schülervorstellungen Änderungen hin zu einer physikalischen Sichtweise auf.

Um den Themenbereich Farben zu vervollständigen, wurde mit Item 5 die Vorstellung zur Farbe eines Objekts untersucht. Ein rosafarbener Ball sollte imaginär mit einem grünen Farbfilter beleuchtet und dann die erwartete Farbe genannt werden (siehe Abb. 9). Hier zeigt sich ein deutlicher und nicht veränderter Ausschlag bei der Nennung der Farbe Grün mit elf Antworten. Dieser Auffälligkeit liegt die sogenannte Wettkampfvorstellung zweier Farben zugrunde. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Farbe mit der angeleuchtet wird und die Farbe des Objekts streiten und sich nur die dominierende Farbe durchsetzt (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Die Antwort rosa hingegen lässt auf die Vorstellung schließen,

dass die Farbe eine fixe Eigenschaft eines Objekts ist. Diese Vorstellung ist sehr stabil und wird durch Alltagserfahrungen und Sprache immer wieder verstärkt (ebd.). Entgegen der Erwartung verfügen in dieser Klasse aber nur sehr wenige Kinder über ein solches Konzept.

Zwei Kinder nannten vor dem Projekt die Farbe braun, entschieden sich aber nach den Unterrichtssequenzen dagegen. In der Antwort braun findet sich die Mischkastenvorstellung wieder, bei der sich die Farbe des Objekts mit der Farbe des Lichts vermischt (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Die Antwort schwarz steht für die physikalisch korrekte Sichtweise der Farbwahrnehmung in diesem Beispiel. Nach dem Projekt nannten jedoch nur drei Kinder diese Farbe. Obwohl dieses Experiment ausführlich in einer Schülerarbeitsphase durchgeführt wurde, scheint die reine Vorstellung ohne Anschauungsobjekt weiterhin große Schwierigkeiten zu bereiten.

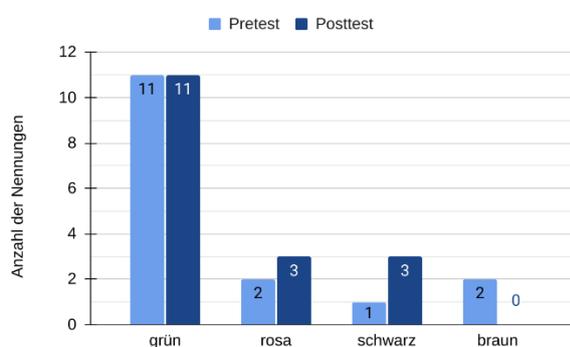


Abb. 9: Auswertung der Antworten im Pre- und Posttest zu Item 5

5. Ausblick

In der durchgeführten Erhebung konnte das Vorhandensein typischer Schülervorstellungen zum Themengebiet der geometrischen Optik bereits in der Primarstufe bestätigt werden. Positiv ist daher zu bewerten, dass trotz der hohen inhaltlichen Dichte sowie des sehr begrenzten zeitlichen Rahmens dennoch Veränderungen in den Vorstellungen der Lernenden sichtbar wurden. Insbesondere die leistungsstärkeren Kinder profitierten hierbei. Um künftig alle Schüler:innen besser im Blick zu haben, sollte daher in weiteren Projekten noch stärker sowohl auf eine angemessene Repräsentation der Phänomene als auch auf weitere Differenzierungsmaßnahmen geachtet werden. Weiterhin wäre eine freiere Gestaltung der Experimente durch die Lernenden wünschenswert, was wiederum erst nach einer intensiveren und häufigeren Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen möglich ist. Das vermutlich größte Potenzial in der Primarstufe liegt aber in der Freude und Motivation der Kinder beim Experimentieren und Entdecken. Daraus ergibt sich die Möglichkeit die Schüler:innen spielerisch an die Naturwissenschaften heranzuführen und ihr Interesse für die Auseinandersetzung mit ebendiesen Themen zu wecken.

6. Literatur

- Caspers, R. [Die Sendung mit der Maus]. (2019, 30. Juni). Warum ist das Meer blau und Wasser durchsichtig? [Video]. WDR. <https://kinder.wdr.de/tv/die-sendung-mit-der-maus/av/video-warum-ist-das-meer-blau-und-wasser-durchsichtig-100.html> (Stand 02/2022).
- Drechsel, B., Schindler, A. (2019). Unterrichtsqualität. In: Urhahne, D., Dresel, M., Fischer, F. (Hrsg.) (2019). *Psychologie für den Lehrberuf*. Berlin: Springer, (S. 353-372).
- Duit, R. (2020). Alltagsvorstellungen und Physiklernen. In: Kircher, E. Girwidz, R., Fischer, H. E. (Hrsg.) (2020). *Physikdidaktik Grundlagen*. 4. Auflage, Berlin: Springer, (S. 337-364).
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hrsg.) (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht*. überarb. & erweiterte Ausgabe, Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Fehring, I., Rottensteiner, J. (2017). *Optik für die Sekundarstufe I*.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.) (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum, (S. 89-114).
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschafts-didaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3, (S. 3–18).
- Kollar, I., Fischer, F. (2019). Lehren und Unterrichten. In: Urhahne, D., Dresel, M., Fischer, F. (Hrsg.) (2019). *Psychologie für den Lehrberuf*. Berlin: Springer, (S. 333-352).
- Mikelskis-Seifert, S., Wiebel, K. (2011). Anschlussfähige naturwissenschaftliche Kompetenzen erwerben durch Experimentieren. In: IPN (Hrsg.) (2011). *Handreichungen des Programms SINUS an Grundschulen*. Naturwissenschaften.
- Murmann, L. (2001). Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe. In: Niederer, H., Fischler, H. (Hrsg.) (2002). *Studien zum Physiklernen*. Band 24, Berlin: Logos.
- Schecker, H., Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.) (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum, (S. 1-22).
- Spreckelsen, K. (2004). Phänomenkreise als Entwicklungskerne für das Verstehen-Lernen. In: Köhnlein, W. (2004). *Verstehen und begründetes Handeln: Studien zur Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, (S. 133-144).

- Staatsministerium für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) (Hrsg.) (2014): LehrplanPLUS Grundschule. München: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus. Url: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/schulart/grundschule> (Stand 06/2022).
- Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) (Hrsg.) (2015). Schülervorstellungen zum Sehen und Möglichkeiten ihrer Erhebung. Ergänzende Informationen zum LehrplanPLUS. Url: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/71/Serviceinfo%20Sch%C3%BClervorstellungen%20zum%20Sehen.pdf> (Stand 06/2022).
- University of Colorado Boulder (2021). PhET Interactive Simulations – Farbwahrnehmung. Url: <https://phet.colorado.edu/de/simulations/color-vision> (Stand 06/2022).
- Wiesner, H. (1995). Physikunterricht - an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert. In: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung (23. Jahrgang, Heft 2), (S. 127-145).
- Wodzinski, R. (2020). Physikalische Fachkonzepte anbahnen - Anschlussfähigkeit verbessern. In: Kircher, E. Girwidz, R., Fischer, H. E. (Hrsg.) (2020). Physikdidaktik Grundlagen. 4. Auflage, Berlin: Springer, (S. 573-604).