

Lernen aus Widersprüchen: Vom Schülerlabor zur Schulpraxis

Andreas Schulz*, Jonas Wilkenloh⁺, Stefan Brackertz*

*Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln

⁺Universität Bonn, Regina-Pacis-Weg 3, 53113 Bonn

andreas.schulz@uni-koeln.de

Kurzfassung

Das Konzept „Lernen aus Widersprüchen“ – entwickelt im Schülerlabor der Universität zu Köln – wurde jetzt in den regulären inklusiven Physikunterricht übertragen und in einer 7. Klasse in Bonn erprobt und evaluiert. Dazu wurden im Rahmen einer Masterarbeit 5 Lerneinheiten zu je 3 Schulstunden zum Thema Optik entwickelt. Die Grundidee dabei ist, dass zu Beginn einer Lerneinheit von den Schülerinnen und Schülern (SuS) etliche Vermutungen zur Erklärung der Phänomene geäußert und an die Tafel geschrieben werden. Alle Vermutungen, auch die auf Fehlvorstellungen beruhenden, werden gleichwertig behandelt, sodass Widersprüche entstehen. Nach der „Vermutungsphase“ im Plenum arbeiten die SuS in Kleingruppen weiter (je 4 SuS), zunächst in einer Diskussionsphase, danach in der Experimentierphase, um so selbstständig die richtige Erklärung zu erarbeiten. Die 5 Unterrichtseinheiten sind „Sehvorgang“, „Reflexion und Streuung“, Bau eines „Schülerspektroskops“, „Farben“ und „Absorption“. Die Auswertung geschah durch Schülerfragebögen (Prä- und Post-Befragung) und durch aktive Beobachtung (2 unabhängige Beobachter) mit Fokus auf eine ausgewählte SuS-Gruppe.

Einerseits hat sich die Zusammenarbeit in den Kleingruppen als unerwartet problematisch erwiesen. Andererseits zeigte sich, dass die Arbeit mit Widersprüchen in Kombination mit Schülerexperimenten insgesamt gut funktioniert. Insbesondere kann festgestellt werden, dass – im Gegensatz zum Frontalunterricht – nahezu alle SuS in den Lernprozess einbezogen waren. Das Konzept ist offenbar gut für den inklusiven Physikunterricht geeignet.

The concept of „learning from contradictions“ – developed in the School Lab of the University of Cologne – was now transferred for testing and evaluation to regular physics lessons of an inclusive 7. class of a School in Bonn. Hereby, 5 learning units in the subject of optics were established, performed in 3 lessons each. The basic idea of the units is that at the beginning the pupils of the entire class are asked to propose hypotheses to explain the phenomena and all suggested hypotheses were acknowledged equally – also the wrong ones. In this way, contradictions are produced. After this introductory phase, the pupils continue to work in small groups of 4 pupils, first discussing and exchanging arguments, later conducting experiments to test the contradictory hypotheses. The learning method was evaluated via questionnaires (pre and post) to test the learning progress. This was complemented by active observation by 2 independent observers being focussed on a particular group.

On the one hand, cooperation in the small groups proved to be unexpectedly problematic. On the other hand, it turned out that working with contradictions in combination with student experiments worked well overall. In particular, it can be stated that - in contrast to frontal teaching - almost all SuS were involved in the learning process. The concept seems to be well suited for inclusive physics teaching.

1. Fragestellung

Das „Lernen aus Widersprüchen“ wurde im Schülerlabor „Unser Raumschiff Erde“ der Universität zu Köln entwickelt. Das Schülerlabor bildet eine spezielle Lernumgebung als außerschulischer Lernort für Schüler*innen in der Universität.[1] Das „Lernen aus Widersprüchen“ beruht darauf, im Raum stehende Widersprüche nicht zu glätten oder zu übergehen,

sondern zum Ausgangspunkt eines weitgehend offenen Lernverlaufs zu machen.[2] Dabei haben die aufgegriffenen Widersprüche eine dreifache Funktion: (1) Sie fordern heraus, sowohl mit der Welt als auch mit den Mitmenschen in den Dialog zu treten. (2) Sie sind Ausgangspunkt zur gemeinsamen Konstruktion konsistenter Theorien. (3) Sie ermöglichen

es Lehrenden, Vorkenntnisse und Interessen der Schüler*innen schnell einzuschätzen.

Dieses Konzept hat sich – obwohl ursprünglich gar nicht daraufhin konzipiert – als erstaunlich hilfreich zur Gestaltung inklusiver Physik-Lernsituationen erwiesen. Deshalb wird es derzeit für den inklusiven Physikunterricht in der Schule adaptiert. Als erster Schritt wurde nun die Übertragung in den regulären Schulunterricht in einer 7. Klasse einer Gesamtschule in Bonn¹ erprobt und evaluiert.

Ziel war es dabei nicht, die komplette Unterrichtsstruktur zu ändern, sondern zu erproben, inwieweit sich die Idee des „Lernens aus Widersprüchen“ minimal-invasiv in einen typischen Physikunterricht integriert bewährt. Hintergrund dieser Fragestellung ist, dass vielfach der Beweis erbracht ist, dass Inklusion in Pilotprojekten unter optimalen Bedingungen funktionieren kann. Angesichts dessen und der Verabschiedung der UN-Behindertenrechtskonvention [3] im Jahr 2009 wurde erstritten, dass Inklusion inzwischen zumindest dem Anspruch nach in vielen Ländern zum Regelfall erhoben wurde. Allerdings sind die Rahmenbedingungen oft schlecht und jedenfalls nicht mit denen der Pilotprojekte vergleichbar.[4] Die daraus erwachsenen Schwierigkeiten laufen Gefahr, einerseits ambitionierte Kolleg*innen zu überfordern. Andererseits dienen sie zunehmend gesellschaftlichen Kräften, die das Ziel einer inklusiven Schule und Gesellschaft ablehnen, als Argument dafür, dass Inklusion – ob gewollt oder nicht – gar nicht funktionieren könne. Vor diesem Hintergrund gilt es einerseits, weiterhin für eine Verbesserung der Rahmenbedingungen in Regelschulen einzutreten. Andererseits ist es aber auch wichtig und nötig, unmittelbar dazu beizutragen, dass Inklusion unter den gegebenen Rahmenbedingungen besser klappt. Zudem ermöglicht dies, besser zu verstehen, was genau an den erfolgreichen Pilot- und Reformschulkonzepten eigentlich der Knackpunkt ist, der Inklusion ermöglicht.

Dieser Fragestellung, inwieweit sich die Idee des „Lernens aus Widersprüchen“ minimal-invasiv in einen typischen Physikunterricht integriert bewährt, wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der Uni Bonn [5] nachgegangen, auf der dieser Beitrag beruht. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine Unterrichtsreihe zur Optik entwickelt und erprobt. Konkrete Forschungsfragen waren dabei:

- Wie groß ist der Wissenszuwachs?
- Kommen die Schüler*innen eigenständig zu fachlich korrekten Ergebnissen?
- Ist der Wissenszuwachs themenabhängig?
- Verändert sich die Kooperationsbereitschaft zwischen den Schüler*innen?

- Hängt die Kooperationsbereitschaft zwischen den Schüler*innen von ihrer Sozialkompetenz ab?
- Inwiefern unterstützt das Konzept „Lernen aus Widersprüchen“ Schüler*innen mit Förderbedarf?

2. Lerngruppe

Bei dieser ersten Studie wurde eine vergleichsweise kleine Lerngruppe von Schüler*innen einer 7. Klassenstufe ausgewählt. Es handelte sich um 8 Schülerinnen und 18 Schüler, davon 2 mit sozial-emotionalem Förderbedarf, im naturwissenschaftlichen Kursunterricht, die aus 5 verschiedenen Klassen stammten, was die Heterogenität noch steigerte.

Die Gruppe hatte wenig Erfahrung mit Diskussionen und naturwissenschaftlicher Argumentation kannte aber das Experimentieren in Kleingruppen an Hand von Arbeitsblättern, die im Wesentlichen die Struktur eines Grundgerüsts eines klassischen Versuchsprotokoll haben.

3. Konzeption der Unterrichtseinheiten

Der Fragestellung unserer Untersuchung folgend wurde das ‚Lernen aus Widersprüchen‘ im Rahmen regulär vorgesehener Optik-Unterrichtseinheiten mit Standard-Schulversuchen erprobt: Jede Lerneinheit thematisierte eins der Grundthemen der Optik und bestand aus eine Doppel- und einer darauf folgenden Einzelstunde. Die einzelnen Lerneinheiten waren dabei folgendermaßen aufgebaut:

Doppelstunde:

- 1) Plenum: Aufwerfen der Fragestellung: „Was passiert da eigentlich?“
- 2) Plenum: Sammeln von Hypothesen
- 3) Gruppen: Diskutieren der Hypothesen
- 4) Gruppen: Durchführung eines klärenden Versuchs

Einzelstunde:

- 5) Plenum: Diskussion und Sicherung der Ergebnisse
- 6) Plenum: Übertragung auf einen neuen (astrophysikalischen) Kontext

In der Phase (2) werden im Plenum Hypothesen zur in Phase (1) aufgeworfenen Fragen von (möglichst vielen) Schüler*innen zusammengetragen und an der Tafel gesammelt. Hierbei werden alle Vermutungen (auch die auf Fehlvorstellungen beruhenden) zunächst als völlig gleichwertig behandelt, damit so alle SuS (auch lernschwache) ermutigt werden, sich zu äußern, und die Widersprüche zwischen verschiedenen Schüler*innenvorstellungen deutlich werden. Sie dienen als Ausgangspunkt für den Rest der Lerneinheit.

¹ Wir danken der Gesamtschule Bonn Beuel und insbesondere Ulrich Dobrindt.

In der Gruppenphase werden dann die Vermutungen in heterogenen Kleingruppen (je 4 Schüler*innen) untersucht, zunächst durch Argumentieren und Diskutieren, danach durch Experimente, wobei natürlich die Experimentierergebnisse die oberste Instanz zur Prüfung der Vermutungen sind. Die Diskussion hat dabei vor allem drei Funktionen: (1) Sich der Hypothesen und der damit zusammenhängenden Widersprüche in der Gruppe vergewissern. (2) In sich unlogische Hypothesen verwerfen. (3) Herausarbeiten, inwiefern das Experiment eine Klärung des Widerspruchs herbeiführen kann und worauf deshalb bei dessen Durchführung besonders zu achten ist.

Experimente sind beim Lernen aus Widersprüchen zentral, weil sie es Schüler*innen ermöglichen, selbst Widersprüche zu erkennen und zu klären, indem sie die Natur befragen, ohne auf externes Expert*innenwissen angewiesen zu sein. Umgekehrt bietet das Lernen aus Widersprüchen eine naheliegende Möglichkeit, den sonst oft von den Schüler*innen nicht gesehenen Bezug zwischen Experimenten und dem Rest des Physikunterrichtes herzustellen. Sie ermöglichen darüber hinaus im inklusiven Physikunterricht [2]:

- 1) Natürliche Binnendifferenzierung am gemeinsamen Gegenstand [6] ohne dass die Gruppe den Bezug zueinander verliert,
- 2) Wahrnehmung mit allen Sinnen
- 3) Entwicklung von Kreativität und Phantasie
- 4) Förderung der Konzentrationsfähigkeit
- 5) Ausbau der motorischen Fähigkeiten (psychomotorische Lernziele)
- 6) Schulung des Problemlösevermögens (kognitive Lernziele)
- 7) Selbstständiges Wählen von Fragen und Zielen,
- 8) spielerische Freuden (affektive Lernziele).

Ziel ist es, dass jede Kleingruppe zu einem gemeinsamen Ergebnis gelangt, das jede Gruppe am Ende jeder Lerneinheit vorträgt; es wird dann im Plenum gemeinsam bewertet.

Durch Anwendung dieser Methodik wird der Erwerb der Kompetenzen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation durch Argumentieren und des Bewertens besonders gefördert, so die Arbeitshypothese der Autoren.

Aus der Entwicklungspsychologie ist bekannt, dass es nicht reicht, ein Ergebnis lediglich als solches festzuhalten; vielmehr ist das Ziel „Beweglichkeit zu verleihen und (...) den Schüler zu befähigen, (...) die notwendigen Transformationen, Variationen usw. vorzunehmen. (...) Nur so werden [Operatoren und Begriffe] zu Instrumenten eines lebendigen Denkens. (...) Diese Transparenz erwirbt ein Begriff im Zuge seines Durcharbeitens. (...) Durcharbeiten bedeutet nämlich, daß sich das Denken auf verschiedenen Wegen durch ein Netz bewegt.“ [7] Deshalb schließt jede Einheit mit der Übertragung des Ge-

lernten in einen anderen Kontext ab. Gewählt wurde dabei die Astrophysik (manchmal ergänzt um Beispiele aus anderen Kontexten), weil sie typischerweise im Schulunterricht zu kurz kommt, [8] obwohl sie bei Schüler*innen auf sehr großes Interesse stößt [9] und vielfach mit ihrer Alltagserfahrung zu tun hat. Zudem wird damit eine gewisse Spannweite eröffnet, von ganz nah dran und unmittelbar mit den eigenen Händen in Experimenten zu Erkundendem und ganz weit weg, nur durch Beobachtung und oftmals sehr indirekt Erkundbarem.

4. Kompromisse

Diese Konzeption der Unterrichtseinheiten stellte in dreierlei Hinsicht einen Kompromiss zwischen dem Ziel, dass sich die Reihe möglichst bruchlos in den Regelbetrieb einfügen sollte und dem Konzept des Lernens aus Widersprüchen dar:

- 1) Der Idee des Lernens aus Widersprüchen folgend wäre es naheliegender gewesen, die Arbeitsgruppen erst nach dem Sammeln der Hypothesen für jede Lerneinheit neu so zusammenzustellen, dass immer gezielt Schüler*innen mit verschiedenen Hypothesen zusammen eine Arbeitsgruppe gebildet hätten, und dies auch explizit zu kommunizieren. So hätten die Schüler*innen tatsächlich ihre eigenen Thesen in der Gruppe vertreten und zueinander ins Verhältnis setzen können. Angesichts seiner Erfahrung mit dem Kurs hielt der Lehrer des Kurses es aber für sinnvoller, über mehrere Einheiten hinweg feste Gruppen (mit je 4 Schüler*innen) zu bilden. Diese wurden von ihm möglichst heterogen zusammengestellt; Arbeits- und Sozialverhalten wurden zuvor vom Lehrer bei allen Schüler*innen durch einen qualifizierten Fragebogen [10] ermittelt.
- 2) Die Versuche und zugehörigen Arbeitsblätter waren vorher in Vorwegnahme erwarteter Hypothesen festgelegt. Idealerweise wären sie erst nach dem Aufstellen der Hypothesen auf diese maßgeschneidert oder aus einem größeren Repertoire ausgewählt worden, sodass sichergestellt gewesen wäre, dass sie auch tatsächlich zur Klärung der Widersprüche zwischen diesen Hypothesen geeignet sind.
- 3) Für das Schülerlabor wurden bewusst zahlreiche Versuche entwickelt, deren Durchführung jeweils maximal 1-2 Minuten dauerte und die höchstens minimal protokolliert werden mussten. Sie wurden als ein Argument in den Diskussionsfluss eingewoben und sollten diesen nicht unterbrechen, sondern befeuern. Stattdessen wurde in der hier vorgestellten Untersuchung an die Experimentierpraxis der Schüler*innen angeknüpft und mit typischen Schulversuchen gearbeitet. Dementsprechend gab es während der Gruppenarbeit eine klassische Trennung mit einer Diskussionsphase, der genau eine längere Experimentierphase folgte. Ein Grund für diese Wahl war auch, dass eine mit dem Schülerlabor vergleich-

bar enge Betreuung der Gruppen im Regelschulbetrieb nicht realisiert werden kann.

5. Die Unterrichtseinheiten

Die Unterrichtseinheiten zum Themenbereich Optik wurden im Rahmen der Masterarbeit in Absprache mit dem Lehrer entwickelt.

5.1. Sehvorgang

5.1.1. Ausgangsfragestellung

Stimmt folgender Werbeslogan einer fiktiven Lampenfirma: „Durch uns kommt zu jeder Zeit Licht ins Dunkel. Durch uns können Sie zu jeder Zeit etwas sehen.“ Versuch: Im verdunkelten Raum wird der Strahl eines Laserpointers quer durch den Raum geführt und der Ursprung (Pointer) und der Auftreffpunkt an der gegenüberliegenden Wand abgedeckt. Später wird Kreidestaub in den Strahl eingebracht.

5.1.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Die Hypothesen in dieser Unterrichtseinheit wurden in Form von Skizzen aufgestellt, die sich in Abbildung 1 finden.

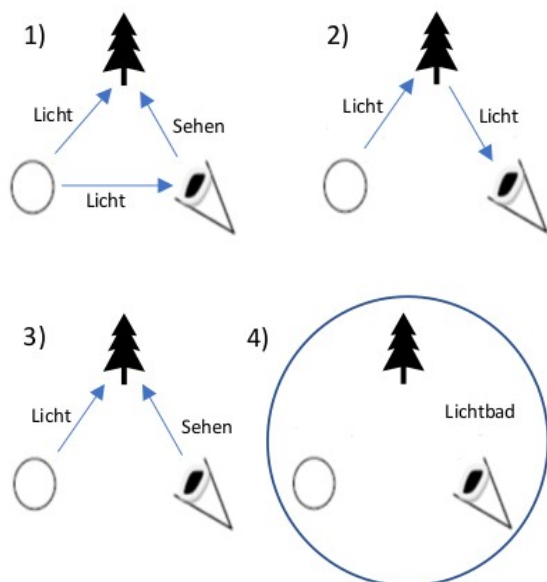


Abb. 1: Hypothesen zum Sehvorgang

5.1.3. Schülerexperiment

Selbständige Wiederholung des Eingangsversuches mit LED statt Laser.

Auf dem Arbeitsblatt sind eine Lichtquelle, ein Gegenstand und das Auge aufgezeichnet. Die Schüler*innen haben die Aufgabe, den Sehvorgang durch Anbringen von Pfeilen zu erklären.

5.1.4. Astrophysikalischer Kontext

Als astronomischer Kontext dienten u.a. die Mondphasen (Licht und Schatten).

5.2. Reflexion und Streuung

5.2.1. Ausgangsfragestellung

Wovon hängt ab, ob Reflexion oder Streuung auftritt?

5.2.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Ob Streuung oder Reflexion stattfindet, hängt ab von (1) Blickwinkel, (2) Material, (3) Farben oder (4) Oberfläche.

5.2.3. Schülerexperiment

Auf dem Arbeitsblatt (siehe Abb. 2) sind eine glatte (spiegelnde) metallische Oberfläche (1) und eine unregelmäßig geformte metallische Oberfläche (2) mit samt dreier unter einem Winkel einfallenden Lichtstrahlen abgebildet.

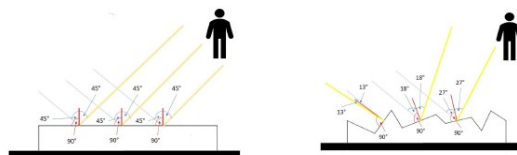


Abb. 2: Ausschnitte aus dem Arbeitsblatt zu Reflexion und Streuung

Aufgabe der Schüler*innen ist es, jeweils die reflektierten Strahlen zu bestimmen und einzuzeichnen. Dabei spielt das zuvor thematisierte Einfallslot für jeden einfallenden Strahl eine entscheidende Rolle. Das begleitende Experiment: Eine Aluminiumfolie wird sorgfältig von der Rolle abgerissen, die Schüler*innen können sich wie in einem Spiegel sehen (Reflexion, es gilt das Reflexionsgesetz). Nun wird das Folienstück zerknüllt und anschließend so gut es geht wieder glatt gestrichen – da wird nie wieder ein Spiegel draus, die mikroskopisch kleinen Teilflächen der Folie haben alle unterschiedliche Einfallslote, die einfallenden Strahlen werden daher in alle möglichen Richtungen reflektiert, insgesamt sprechen wir von diffuser Reflexion bzw. Streuung (Beispiel: eine Hauswand).

5.2.4. Astrophysikalischer Kontext

Sichtbarkeit von Planeten

5.3. Spektroskopie

5.3.1. Ausgangsfragestellung

Spektroskopie verschiedener Lichtquellen: Woher kommen die Farben?

5.3.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Die Farben (1) kommen aus dem Licht, (2) aus dem Prisma, (3) entstehen durch Brechung oder (4) Veränderung des Lichts.

5.3.3. Schülerexperiment

Die Schüler*innen bauten ein Spektroskop, das von A. Küpper im Rahmen seiner Dissertation entwickelt und in der Klassenstufe 5/6 erfolgreich erprobt worden war, siehe Abbildung 3 und [11].

Nun werden verschiedene Lichtquellen betrachtet (unter Anleitung), z.B. eine Glühlampe (kontinuierliches Spektrum), Deckenleuchten im Klassenraum (meist ein Quecksilber-Spektrum), wenn vorhanden auch eine Natriumdampf-Lampe. Die Schüler*innen sehen die Verschiedenheit der farbigen Spektren, mit Hilfe von Hilfskarten werden sie in einfacher, didak-

tisch reduzierter Weise erklärt (Glühspektrum: fester heißer Glühdraht, Linienspektren: leuchtende heiße Gase).

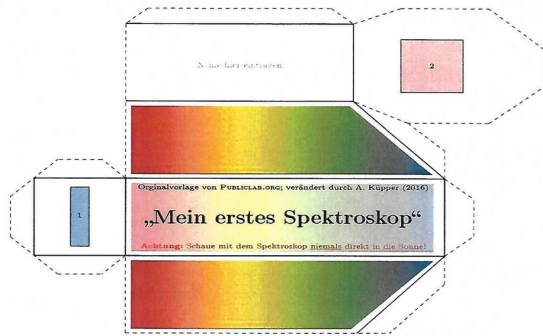


Abb. 3: Spektroskop-Bastelbogen

5.3.4. Astrophysikalischer Kontext

Das Sonnenspektrum

5.4. Farbmischung

5.4.1. Ausgangsfragestellung

Wieso mischen sich Lampen anders als Farbfilter?

5.4.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Die Farbmischung hängt ab von (1) Nähe zur Lichtquelle, (2) Lage der Farben, (3) eigene Lichtquelle der Farben, (4) Farbplättchen (5), weißer Hintergrund (6) Stärke des Lichts (7), Helligkeit (8), Reihenfolge der Farben.

5.4.3. Schülerexperiment

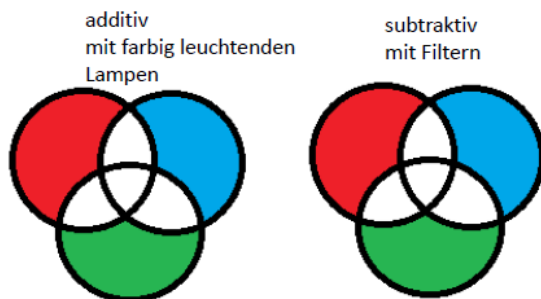


Abb. 4: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zur Farbmischung

Die SuS erhalten pro Gruppe drei farbige Taschenlampen und drei Farbfilter (alternativ: Lebensmittelfarben). Sie bringen das Licht der Lampen und danach die Farbfilter, beleuchtet durch eine Glühlampe, zur Überlappung und beobachten das jeweilige Ergebnis.

Auf dem Arbeitsblatt (siehe Abbildung 4) sind zwei aus jeweils 3 Farben bestehende Farbkreisensembles gezeichnet, das eine Ensemble repräsentiert die additive Farbmischung durch die farbigen Taschenlampen, das andere die subtraktive durch die beleuchteten Farbfilter. Die Überlappbereiche sollen nun entsprechend ihren Beobachtungen mit Farbstiften ausgemalt werden. Der kleine mittlere Bereich der En-

sembles ergibt weiß für additive und schwarz für subtraktive Farbmischung.

5.4.4. Astrophysikalischer Kontext

Leuchtende Gasnebel am Himmel (z.B. Orionnebel).

5.5. Absorption

5.5.1. Ausgangsfragestellung

Warum erscheinen Gegenstände hell oder dunkel?

5.5.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

(1) Die Farben werden sichtbar durch das Licht. (2) Schwarz reflektiert weniger als weiß. (3) Die Farben werden unterschiedlich gemischt. (4) Die Gegenstände werden eingefärbt. (5) Die Farben werden aus dem Licht herausgezogen. (6) Es liegt an der Helligkeit des Lichts. (7) Es liegt am Material.

5.5.3. Schülerexperiment

Auf dem Arbeitsblatt sind verschiedenfarbige Streifen abgebildet. (Abb. 5) Diese werden nun erst mit einer Glühlampe bestrahlt, dann mit einer Natriumdampf-Lampe (monochromatisches Licht). Das beobachtete Ergebnis ist im ersten Fall, dass man alle Farben wie abgebildet sieht; im zweiten Fall sieht man überhaupt keine Farben (bis auf das orangefarbene Licht der Natriumlampe auf dem weißen Streifen), sondern nur Grautöne, die Farbstreifen absorbieren das monochromatische Licht der Natriumlampe unterschiedlich stark, ein Farbeindruck kommt aber nicht zustande.

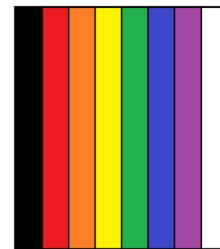


Abb. 5: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zur Absorption

5.5.4. Astrophysikalischer Kontext

Absorptionsvermögen des Mondes

6. Tatsächlicher Verlauf der Unterrichtseinheiten

Die ersten beiden Phasen, das Aufwerfen der Ausgangsfragen und das Aufstellen von Hypothesen im Plenum haben tatsächlich wie erwartet stattgefunden. Es ist auch gelungen, alle Schüler*innen dabei einzubinden und zum Aufstellen von Thesen zu ermutigen. Trotz vorab feststehender Gruppeneinteilung (siehe Kompromiss 1) waren mit wenigen Ausnahmen auch bei allen Unterrichtseinheiten in jeder Gruppe Schüler*innen mit verschiedenen Thesen. In den wenigen Ausnahmefällen, in denen alle Schüler*innen einer Gruppe dieselbe Hypothese hatten, wurde auch Bezug auf die zuvor gesammelten, aber nicht in der Gruppe vertretenen Hypothesen genommen.

Die Diskussion in den Arbeitsgruppen verlief dagegen anders als geplant: Tatsächlich haben die Schü-

ler*innen sich lediglich sehr kurz der in der Gruppe vertretenen Hypothesen versichert; diese wurden aber weder auf innere Konsistenz reflektiert noch wurde der Bezug zum geplanten Experiment hergestellt; stattdessen gingen die Schüler*innen nach kürzester Zeit in die Experimentierphase (4) über, klärten aber währenddessen den im Raum stehenden Widerspruch ohne weitere Unterstützung tatsächlich (bis auf eine Ausnahme).

Dass diese Klärung tatsächlich stattgefunden hatte, wurde in der zweiten Plenumsphase in der Einzelstunde deutlich, in der mit großer Beteiligung aus allen Gruppen von klaren Ergebnissen in Bezug auf die zu Beginn aufgeworfenen Hypothesen berichtet wurde und diese Ergebnisse zu großen Teilen auch in die Übertragung auf die jeweiligen astrophysikalischen Kontexte eingebracht werden konnten.

7. Evaluation

7.1. Gruppenarbeitsverhalten

Die Gruppenarbeitsphasen wurden durch den Lehrer und einen der Autoren unabhängig voneinander beobachtet. Dabei ging es einerseits um einen Gesamtüberblick. Andererseits wurde eine ausgewählte, stark heterogene Arbeitsgruppe mit Hilfe kriterienbasierter Beobachtungsbögen in jeder Unterrichtseinheit systematisch beobachtet.

Es zeigte sich, dass die Schüler*innen in 3 von 7 Arbeitsgruppen nicht wie erhofft als Gruppen zusammenarbeiteten, sondern allein arbeiteten oder zu zweit mit einer weiteren Schülerin / einem weiteren Schüler, die/der dieselbe Hypothese vertrat wie sie selbst. So wurden die Experimente auch nicht immer gemeinsam durchgeführt; stattdessen führten die Schüler*innen dieser Gruppen die Experimente teilweise individuell nacheinander durch. Die Erfüllung des Arbeitsauftrages stand dabei nicht immer im Zentrum des Arbeitens und auch nicht die Hypothesen der Mitschüler*innen, sondern der Plan der Schüler*innen, für sich ihre jeweilige Hypothese, auf der sie zunächst sehr beharrten, zu beweisen. Verfolgten sie eine Hypothese, die durch das Experi-

ment widerlegt wurde, waren sie allerdings durchweg in der Lage, dies zu erkennen und von ihrer Ursprungshypothese abzurücken. Diese Erkenntnis und der Weg dorthin wurden in der jeweils die Lerneinheit abschließenden Plenumsphase bereitwillig geteilt und ins Gespräch eingebracht. Mehrmals fragten Schüler*innen bei den Beobachtern um Hilfe, woraufhin die Schüler*innen auf Hilfe durch andere Gruppen hingewiesen wurden. Doch auch dies führte oft nicht dazu, dass das Gespräch mit den anderen Gruppenmitgliedern gesucht wurde.

Zu dieser Agenda einzelner Gruppen passt, dass die Gruppendiskussion vor dem Experiment (Phase 3) so gut wie gar nicht stattgefunden hat. Aber auch die Gruppen, die beim Experimentieren zusammengearbeitet haben, hatten Schwierigkeiten, in der Gruppendiskussion aufeinander einzugehen und beendeten diese sehr schnell.

Unabhängig von diesen Schwierigkeiten nahmen aber fast alle Schüler*innen aktiv am Experimentieren teil.

7.2. Lernzuwachs

Der Lernzuwachs wurde auf zwei Arten erhoben:

- Schüler*innen-Fragebögen zu den einzelnen Unterrichtseinheiten, Prä- und Post-Fragebogen zur quantitativen Ermittlung des Lernzuwachses. Auswertung durch Balken- bzw. Tortendiagramme und zusätzlich Wilcoxon-Test auf Signifikanz
- Reguläre Klassenarbeit 2 Wochen nach Durchführung der Lerneinheiten

Die Ergebnisse der Schüler-Fragebögen sind in Abbildung 6 dargestellt. Sie zeigt den Gesamtpunktevergleich Vorher-Nachher. Dabei wurden 0 Punkte für keine oder eine falsche Antwort, 1 Punkt für eine richtige Antwort ohne Begründung, 2 Punkte für zusätzliche richtige Begründung, 3 Punkte für zusätzlichen Gebrauch der Fachbegriffe vergeben. Abb. 6 verdeutlicht, dass – wie natürlich zu erwarten – mit einer Ausnahme überall Lernzuwachs erreicht wurde, aber der Lernzuwachs erstaunlicherweise sehr stark ist. Im Prätest hatten 35% der Schüler*in-

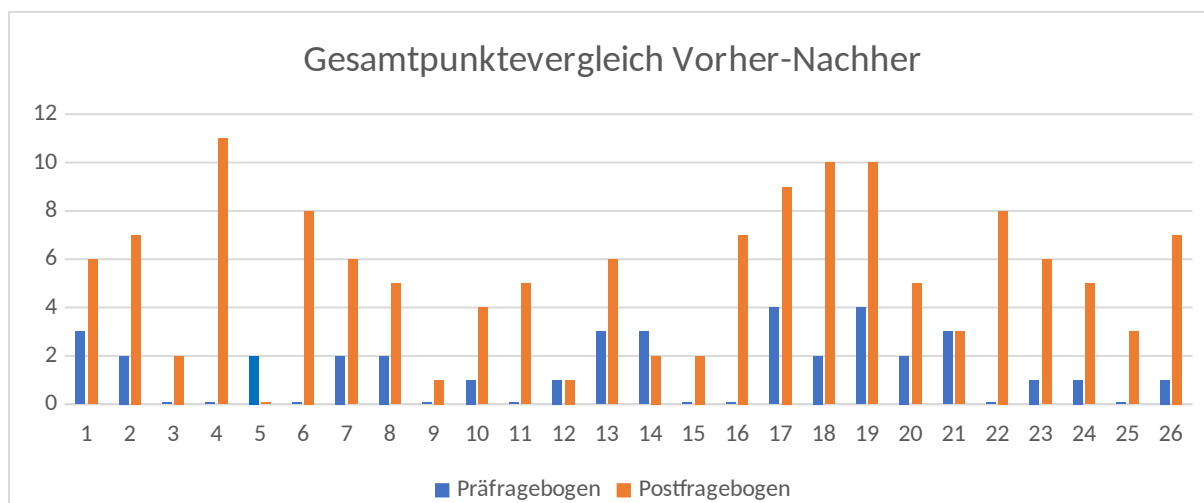


Abb. 6: Lernzuwachs der einzelnen Schüler*innen

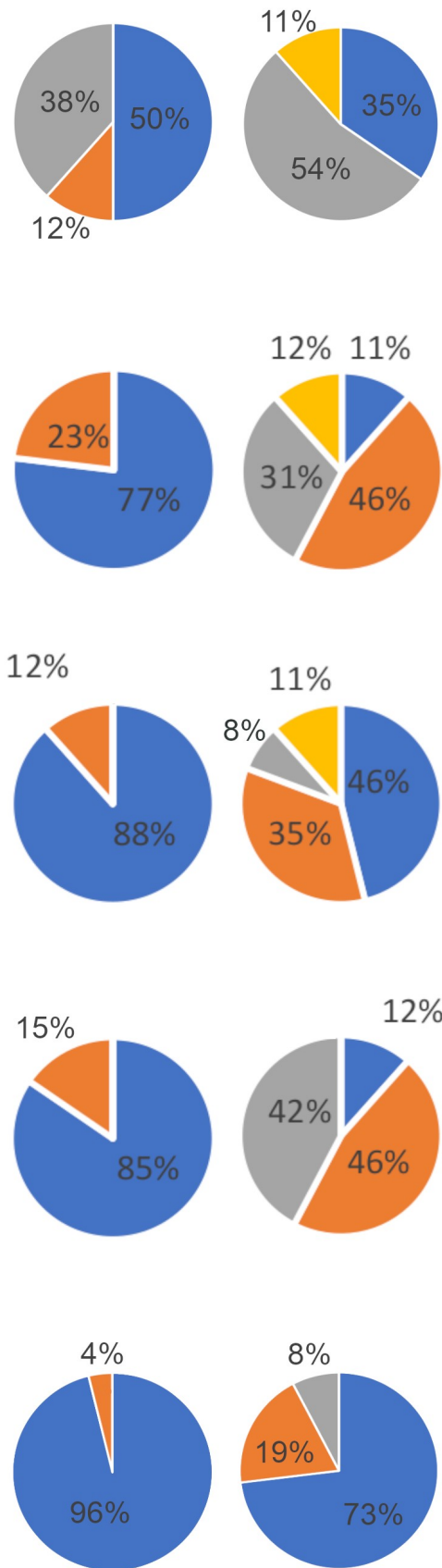


Abb. 7: Prozentuale Verteilung der erreichten Punktzahlen: von oben nach unten: Frage 1-5 im Prä- (links) und Postfragebogen (rechts). blau: 0 Punkte; orange: 1 Punkt; grau: 2 Punkte; gelb: 3 Punkte

nen 0 Punkte und 8% 4 Punkte (dies war das erreichte Maximum), obwohl die Themen „Sehen“ und „Reflexion“ eine Wiederholung aus früheren Klassenstufen darstellten. Im Posttest hatte nur noch 1 Schüler 0 Punkte, 50% erreichten 5, 6, 7 oder 8 Punkte, 12% erreichten 10 oder 11 Punkte.

Abb. 7 zeigt in Tortendiagrammen die Prä- und Posttest-Ergebnisse für die einzelnen Unterrichtseinheiten. Man erkennt, dass die Punkteverteilung bei den Einheiten erheblich variiert, insbesondere die Einheit 5 (Absorption) ganz erheblich schlechter abschneidet als die anderen.

Abb. 8 zeigt in einer Tabelle die erreichten Noten, 45% erzielten die Note 1 oder 2, 78% erzielten eine 1, 2 oder 3, 22% die Note 4, niemand die Note 5 oder 6. Dies spiegelt eindrucksvoll den bereits oben festgestellten großen Wissenszuwachs wider.

8. Bewertung

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist ambivalent:

8.1. Umgebaute Konzeption

Man könnte vertreten: Einige Gruppen haben die Konzeption der Unterrichtsreihe folgendermaßen umgebaut:

Doppelstunde

- 1) Plenum: Aufwerfen der Fragestellung: „Was passiert da eigentlich?“
- 2) Plenum: Sammeln von Hypothesen
- 3) ~~Gruppen: Diskutieren der Hypothesen~~
- 4) ~~Gruppen~~ Einzelarbeit: Durchführung eines klärenden Versuchs

Einzelstunde

- 5) Plenum: Diskussion und Sicherung der Ergebnisse
- 6) Plenum: Übertragung auf einen neuen (astrophysikalischen) Kontext

Nimmt man diesen Umbau hin und analysiert die Lerneinheiten vor dem Hintergrund dieses veränderten Plans, war das Lernen aus Widersprüchen höchst erfolgreich:

- Es ist gelungen, einen Bezug zwischen Experiment und Hypothesen/Theoriediskussion herzustellen.
- Die SuS haben nicht nur eingeforderte Aufgaben abgearbeitet, sondern eine eigenständige Agenda erarbeitet und erfolgreich verfolgt.
- Das Abschlussplenum war recht lebendig und es ist gelungen, die gewonnenen Erkenntnisse auf

Note	1	2	3	4	5	6
Anzahl	5	7	9	6	0	0

Abb. 8: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zur Absorption

einen neuen, anspruchsvollen Kontext zu übertragen.

- Alle SuS, die leistungsstarken wie die sonst oft abgehängten, haben sich aktiv und produktiv eingebracht.
- Der Lernzuwachs ist beachtlich.

8.2. Einzelkämpfer*innen?

Allerdings kann die hartnäckige Weigerung einiger Gruppen zusammen zu arbeiten auch nicht zufrieden stimmen, schließlich soll Einzelkämpfer*innentum ja weder etabliert noch reproduziert werden. Zudem zeigt der Verlauf des Einzelstundenplenums, dass die SuS unter Anleitung durchaus für produktive Bezugnahme aufeinander zu gewinnen sind.

Der Lehrer des Kurses erklärte dieses Phänomen damit, dass die SuS Gruppenarbeit einfach bisher noch so gut wie gar nicht praktiziert hätten, und dies eine Kulturtechnik sei, die erst erlernt werden müsse. Das war im Vorfeld bekannt. Allerdings hatten die Autoren angesichts der Erfahrungen im Schüler*innenlabor die Hoffnung, dass die Arbeit mit Widersprüchen dazu beitragen könnte, diese Kulturtechnik zu erlernen.

Tatsächlich haben wir die guten Erfahrungen diesbezüglich im Schülerlabor aber auch unter der Voraussetzung gemacht, dass die Gruppen von Studierenden betreut werden, die das Gespräch starten und zumindest hin und wieder sehr gezielt in den Gesprächsverlauf eingreifen. Dabei reichen bei erfahreneren Studierenden sehr wenige Interventionen, sodass diese mehrere asynchron startende Gruppen gleichzeitig betreuen können. Dies lässt sich im Regelunterricht aber nicht realisieren.

9. Beantwortung der Forschungsfragen, Fazit & Ausblick

Das Konzept „Lernen aus Widersprüchen“ aktiviert alle SuS der Lerngruppe und stellt in stark heterogenen Lerngruppen eine gute Alternative zu klassischen Unterrichtskonzepten dar. Zudem ist es erfreulich, wie gut es gelungen ist, Theoriebildung in der Diskussion und Experiment wirklich miteinander zu verbinden, sodass die verbreiteten Begründungen, warum Schüler*innenexperimente sinnvoll sind, nicht leere Versprechungen blieben.

Sicherlich könnte die Gruppenarbeit in der hier erprobten Unterrichtskonzeption mit Kursen, die mehr Erfahrung mit Gruppenarbeit haben, besser funktionieren. Allerdings sind bei der Auswertung der Untersuchung einige vielversprechende Ideen entstanden, wie sich das Konzept so überarbeiten lässt, dass die Gruppenarbeit auch mit ungeübten Gruppen funktionieren könnte:

- Die angesprochenen Kompromisse nachjustieren. Denkbar wäre einerseits, bewusster zu inszenieren, dass die Gruppen absichtlich so zusammengesetzt sind, dass sie aus SuS mit verschiedenen Hypothesen bestehen, damit diese ihre Hypothe-

sen aneinander reiben. Andererseits könnten konkrete Diskussionsaufgaben gezielt in die Arbeitsblätter eingebaut werden.

- Regeln für das Diskutieren im Anschluss an die Hypothesenbildung im Plenum erarbeiten.
- Den SuS Rollen beim Experimentieren zuweisen, sodass die SuS gezielt zusammenarbeiten.
- Adaption von Peer-Konzepten, bei denen die einen den anderen Vorschläge für die Weiterentwicklung eines Zwischenprodukts machen. Damit gibt es etwa in Schreibwerkstätten gute Erfahrungen. Erste Schritte in diese Richtung sind im Schülerlabor bereits entwickelt worden; Ausschnitte aus Arbeitsblättern wie etwa in Abbildung 3 gezeigt dienen dabei als Zwischenprodukte, an denen Widersprüche diskutiert werden können.

10. Literatur

- [1] Schulz, A.; Brackertz, S.; van de Sand, M.: Schülerlabore in Deutschland – Ein ideologiekritischer Blick auf die Schülerlaborlandschaft in Deutschland und Einordnung der Kölner Schülerlabors. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2018), S. 169-177
- [2] Brackertz, S.; Weck, H.; Schulz, A. (2018): Experimente & Widersprüche im (inkluisiven) Naturwissenschaftsunterricht. Chancen und Grenzen entwickelt am Beispiel Physik. In: Dziak-Mahler, u.a. (Hrsg.): (Fach-)Unterricht inklusiv gestalten – theoretische Annäherungen und praktische Umsetzungen. Waxmann: Göttingen. S. 205 – 222.
- [3] Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen (Hrsg.) (2017): UN Behindertenrechtskonvention – Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen, amtliche, gemeinsame Übersetzung von Deutschland, Österreich, Schweiz und Lichtenstein
https://www.behindertenbeauftragte.de/Shared-Docs/Publikationen/UN_Konvention_deutsch.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Stand 5/2021)
- [4] Hollenbach-Biele, N.; Klemm, K. (2020): Inklusive Bildung zwischen Licht und Schatten: Eine Bilanz nach zehn Jahren inklusiven Unterrichts. Studien im Auftrag der Bertelsmann-Stiftung
https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/20200625_Inklusive-Bildung-Zwischen-Licht-und-Schatten_ST-IB.pdf (Stand 5/2021)
- [5] Wilkenloh, J. (2020): Lernen aus Widersprüchen im inklusiven Physikunterricht (Optik) der Klassenstufe 7. Masterarbeit an der Universität Bonn im Fach Physik
- [6] Feuser, Georg (2013): Die „Kooperation am Gemeinsamen Gegenstand“ – ein Entwicklung induzierendes Lernen. In: Feuser, Georg; Kut-

- scher, Joachim. (Hgg.): Entwicklung und Lernen. Stuttgart: Kohlhammer. 282–293.
- [7] Aebli, H. (1977): Grundformen des Lernens. 10. Auflage, Stuttgart: Klett, S. 201 ff.
- [8] Bernhard, H. (2005): Zur astronomischen Schulbildung in Deutschland.
http://www.lutz-clausnitzer.de/Bernhard_Studie_26.02.2005.pdf
(Stand 5/2021)
- [9] Holstermann, H.; Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 13 (2007), S. 71-86
- [10] Petermann, U.; Petermann, F. (2013). Lehrereinschätzliste für Sozial- und Lernverhalten. Göttingen: Hogrefe Verlag
- [11] Küpper, A.; Schulz S. (2017): Ein low-cost Spektroskop zum Beobachten der Fraunhoferlinien. In: Astronomie + Raumfahrt 52 (2), S. 25-29.