

Special Issue

Tasks in Science Education

Research-Based Report of Practice

Entwicklung eines Workshops zur Infrarot-Optik nach dem Basismodell «Konzeptbildung»

Valerie Amacker¹, Markus Wilhelm¹, Dorothee Brovelli¹

Received: March 2021 / Accepted: January 2022

Structured Abstract

Hintergrund: Im Rahmen einer Studie zur Untersuchung der Effekte von Versuchsanleitungen mit unterschiedlichen Präsentationsmodi, dem Cognitive Load und der Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren auf die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I wurde ein Workshop zum elektromagnetischen Spektrum mit Fokus auf das sichtbare Licht und die Infrarotstrahlung entwickelt.

Ziel: Der Workshop «(Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt» wurde nach dem Basismodell «Konzeptbildung» von Oser strukturiert. Die Unterrichtsplanung zum Workshop soll im Artikel aufgezeigt und dessen Eignung theoretisch begründet werden.

Design und Methoden: Der theoretische Beitrag widmet sich der Fragestellung, wie ein 90-minütiges Unterrichtsetting zur Erarbeitung eines neuen Konzepts strukturiert werden muss, damit dieses neue Konzept in die bestehende Wissensstruktur der Schülerinnen und Schüler eingebaut wird. Zur Beantwortung dieser Frage wird anhand empirisch begründeter Theorien zur Unterrichtsstrukturierung zur Tiefen- und Sichtstruktur und somit zur Basismodelltheorie übergeleitet. Die Beleuchtung der einzelnen Handlungskettenschritte des Basismodells «Konzeptbildung» erfolgt durch die Erläuterungen der geplanten Unterrichtsphasen des Workshops.

Ergebnisse: Der vorgestellte Workshop wurde mit sieben Klassen der Sekundarstufe I pilotiert und nach geringfügigen Änderungen neunundvierzigmal durchgeführt. Dessen Lernwirksamkeit konnte mittels quantitativer statistischer Auswertungen nachgewiesen werden. Allerdings gelang den Lernenden nicht der Transfer des neu erworbenen Wissens auf andere Kontexte.

Bedeutung für die Lehrpraxis und künftige Forschung: Die Ausführungen zur Unterrichtsplanung des Workshops können exemplarisch als mögliche Unterrichtsstrukturierung beim Erwerb neuer Konzepte im Physikunterricht angesehen werden. Für die oben erwähnte Studie eignet sich der Workshop als Rahmung, wodurch der Fokus auf die Versuchsanleitungen mit unterschiedlichen Präsentationsmodi gelegt werden kann.

Schlüsselwörter: *Workshop, Licht, Infrarotstrahlung, Basismodelltheorie, Konzeptbildung*

Background: As part of a study to investigate the influence of the mode of presentation of a laboratory instruction, the cognitive load, and the self-efficacy for experimenting on learning performance a workshop was developed about visible and infrared optics.

Purpose: The workshop named “(Invisible) Light – Discovered with the Smartphone” was structured according to the basis-model “Concept Building” from Oser. The lesson planning for the workshop will be shown in the article and its suitability will be theoretically justified.

Design and Method: The theoretical contribution is devoted to the following question: How could a 90-minutes lesson be structured so that students can successfully integrate a new concept into their existing knowledge structure? Empirically founded theories for structuring lessons on the sight structure (processing of teaching) and basis-model (processing of learning) are explained, with a special focus on the basis-models of teaching. The explanation about the chain of necessary steps in the basis-model “concept building” takes place through the description of the planned teaching phases of the workshop.

Results: The presented workshop was piloted with seven classes from junior high school and, after minor changes, carried out forty-nine times in this form. The learning effect of the workshop could be proven by means of quantitative statistical evaluations. However, the learners failed in transferring the newly acquired knowledge to other contexts.

Implications for classroom practice and future research: The explanations on the lesson planning of the workshop can be viewed as an example of a possible structuring of lessons when acquiring new concepts in physics lessons. The workshop is suitable as a framework for the above-mentioned study, whereby the focus can be placed on the mode of presentation of laboratory instruction.

Keywords: *Workshop, Visible Optics, Infrared Optics, Basis-Models of Teaching, Concept Building*

¹Pädagogische Hochschule Luzern
✉ valerie.amacker@phlu.ch

1 Einleitung

Unterrichtsqualität wird gemäß umfangreicher Forschung bestimmt durch die Klarheit von Lernzielen, eine adäquate Planung des Lernprozesses und das angemessene Präsentieren des Lernmaterials (Geller, 2015; Seidel & Prenzel, 2006). Ergänzt werden diese drei Punkte oft mit effektiver Klassenführung, kognitiver Aktivierung und Unterrichtsstrukturierung (Steffensky & Neuhaus, 2018; Stender, Geller, Neumann & Fischer, 2013).

Meyer (2004) versteht klare Strukturierung als eines von zehn Merkmalen guten Unterrichts, und Helmke (2009) sieht gut strukturierten Unterricht dem Ziel dienlich, Wissensinhalte so zu vermitteln, dass daraus eine gut organisierte Wissensbasis entstehen kann. Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen wurde im Rahmen einer Forschungsarbeit, die den Einfluss des Cognitive Loads, der Selbstwirksamkeitserwartung und des Präsentationsmodus von Versuchsanleitungen auf die Lernwirksamkeit bei einfachen Schülerinnen- und Schülerversuchen zur (Infrarot-)Optik untersucht, eine 90-minütige Unterrichtslektion im Fach Physik konzipiert, welche folgend dargestellt wird (Amacker, Wilhelm & Brovelli, 2021). Der Workshop wurde für Schulklassen der Sekundarstufe I im Swiss Science Center Technorama, in der Lernwerkstatt der Pädagogischen Hochschule Luzern und im Physiklabor der Kantonsschule Reussbühl angeboten.

Im Unterricht wurden von den Lernenden Materialien auf Durchlässigkeit und Reflexion untersucht, wobei in einer ersten Phase mit sichtbarem Licht gearbeitet wurde, in einer zweiten mit Infrarotstrahlung. Während das sichtbare Licht für die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I ein bekanntes Phänomen darstellt, begeben sie sich im Umgang mit Infrarotstrahlung in ein unbekanntes Gebiet. Dabei stellt sich die Frage, wie die zur Verfügung stehenden 90 Minuten am besten strukturiert werden können, damit sich Schülerinnen und Schüler in dieser kurzen Zeit mit einem neuen Konzept zur Infrarotstrahlung auseinandersetzen und dieses in ihr Wissensnetz übertragen können.

Zur adäquaten Beantwortung dieser Frage wird im Abschnitt 2 «Theoretischer Hintergrund» die Unterrichtsqualität mit Blick auf die Strukturierung betrachtet, wobei vor allem die Trennung von Sicht- und Tiefenstruktur für die vorliegende Arbeit von Bedeutung ist. Im Anschluss wird der Lernprozess der Schülerinnen und Schüler beleuchtet und die Unterrichtstaktung mitberücksichtigt. Das Basismodell «Konzeptbildung» (Oser & Baeriswyl, 2001; Oser & Patry, 1990) wird für die Unterrichtsplanung genutzt, wobei klare Ziele des Lehrens und Lernens vorgängig bestimmt, die erforderlichen Lernschritte strukturiert und die Unterrichtsmethoden gezielt danach ausgewählt werden. Dieser idealtypische Aufbau wird auf den Workshop «(Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt» angewendet (Abschnitt 3 «Workshopaufbau»).

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Unterrichtsstrukturierung

Mit der Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen im Physikunterricht setzt sich Maurer (2016) intensiv auseinander und versucht, die verschiedenen Strukturierungskonzepte kategorisch zuzuordnen. So betrachtet er die Wirkung von Elementen der Strukturierung auf der Verhaltensebene, die Wirkung der didaktischen Strukturierung und der kognitionspsychologisch verstandenen Strukturierung sowie die Wirkung von Elementen der Tiefen- oder Sichtstruktur.

Während die didaktische Strukturierung die inhaltliche Aufbereitung in Teilschritte und die Sequenzierung des Unterrichts umfasst, rückt bei der kognitionspsychologisch verstandenen Strukturierung der Wissensaufbau in den Fokus, wobei Lernen nicht als einfache Vermittlung von Wissen durch die Lehrperson verstanden wird, sondern die durch die Lernenden aktive Integration des angebotenen Wissens in ein bereits bestehendes Wissensgefüge (Krabbe & Fischer, 2020). Werden beide Konzepte betrachtet, lässt sich daraus schließen, dass die Bedingungen für ein mögliches Lernen – im Sinne der didaktischen Strukturierung – durch die Lehrperson vorbereitet und unterstützt werden können, ein Lernzuwachs aber erst durch aktive Denkprozesse möglich ist. Diese können zwar durch entsprechende Unterrichtsaktivitäten angeregt werden, sind aber für die Lehrperson nicht klar wahrnehmbar, womit zur Wirkung von Elementen der Tiefen- oder Sichtstruktur übergeleitet werden muss (Krabbe & Fischer, 2020).

Die Strukturierung mit der Trennung von Sicht- und Tiefenstruktur basiert auf der fachunspezifischen Lehr-Lern-Theorie nach Oser und Patry (1990). Die Autoren vergleichen den Verlauf eines Lernprozesses mit Choreografien. Choreografien bestehen im ursprünglichen Sinne aus Tanzschrittfolgen, an die sich die Tänzerinnen und Tänzer strikt zu halten haben, und trotzdem Raum für Ausdruck und Interpretation bleibt. Übertragen auf den Lernprozess müssen notwendige Lernschritte strikt eingehalten werden, während die Lehrperson unter Berücksichtigung dieser Lernschritte freie Wahl über Methoden, Sozialformen, Unterrichtsstil, Veranschaulichungen u.a. hat. Diese Choreografien des Unterrichts verorten unterrichtliche Lehr-Lernprozesse auf zwei Ebenen: Zum einen auf der Ebene der Sichtstruktur, die aus Planung und Verarbeitung des Unterrichts bestehen, zum anderen auf der Ebene der Basismodelle bzw. der Tiefenstruktur, die die Planung und Verarbeitung des Unterrichtsprozesses beinhaltet (Oser & Baeriswyl, 2001).

Oser und Baeriswyl (2001) nehmen an, dass sich das Lernen in der Klasse durch wenige, lernpsychologisch abgrenzbare Grundmuster strukturieren lässt, wobei nicht die Methoden, Sozialformen oder Inhalte fokussiert werden sollten, sondern die kognitive Aktivierung der Lernenden. Macht sich die Lehrperson Gedanken über die mentalen Operationen der Schülerinnen und Schüler, ist die Möglichkeit gegeben, dass sie tatsächlich optimale Bedingungen für Lernprozesse

schaft. Dabei werden die sichtbaren Strukturen untersucht, um sicherzustellen, dass diese dazu führen, dass die Schülerinnen und Schüler bestimmte Operationen ausführen. Die Basismodelle geben die Richtung vor und haben somit zugleich eine starke Wirkung auf diese Sichtstruktur. Der Erfolg der Basismodelle sei messbar an der Endleistung sowie an der praktischen Leistung, die in jedem einzelnen Handlungskettenschritt – die Kette der absolut notwendigen Schritte in einem Basismodell, welche aus den sequenzierten Elementen besteht – gezeigt werden (Oser & Baeriswyl, 2001). Diese Annahme konnte in diversen Studien mit Kontroll- oder Vergleichsgruppen bestätigt werden (Maurer, 2016; Zander, Krabbe & Fischer, 2013; Wagner, 1999). Besonders Schülerinnen und Schüler mit geringerem Vorwissen profitierten stark vom Unterricht, der nach der Basismodelltheorie strukturiert wurde, da die kohärente und stringente Abfolge der verschiedenen Unterrichtsphasen eine klare Strukturierung vorgibt und so das Lernen erleichtert (Freckmann & Komoreck, 2019; Helmke, 2009).

2.2 Lernprozess-Modelle

Betrachtet man die unterrichtsbezogenen Handlungsfelder im didaktischen Dreieck (Baltruschat, 2018; Cohn & Terfurth, 1997; Reusser, 2009) in Hinblick auf die Unterrichtsplanung, müssen die drei Dimensionen Lehrperson, Lernende und Unterrichtsgegenstand gemeinsam betrachtet werden, um den Schülerinnen und Schülern zu einem tiefenstrukturellen Lernprozess zu verhelfen (Abb. 1). Dabei verlagert sich die Perspektive auf das schulische Lernen zunehmend vom Lehrpersonenhandeln zu den Tiefenstrukturen des Lernens der Schülerinnen und Schüler, «von einer [...] Interventionssicht des didaktischen Handelns zu einer Fokussierung auf die bei Schülern ablaufenden psychologischen Lern- und Verstehensprozesse [...]» (Reusser, 2006, S. 160).



Abb. 1. Das didaktische Dreieck als Grundmodell der unterrichtlichen Dynamik (Reusser, 2009).

Das didaktische Dreieck findet sich versteckt auch in Hans Aebli's Betrachtung des unterrichtlichen Geschehens in drei Dimensionen: «eine Dimension der Medien, eine Dimension der Inhalte und eine Dimension der Funktionen im Lernprozess» (1985, S. 24). Diese Dimensionen interagieren miteinander zwischen Lernenden und Lehrperson, Lernenden und Sache, sowie Lehrperson und Sache. Die Dimension der Funktionen im Lernprozess enthält Aebli's didaktisches Konzept «PADUA», ein Akronym für **P**roblemdarstellung, **A**ufbau, **D**urcharbeiten, **U**eben und **A**nwenden. Dieses beschreibt, wie eine Unterrichtseinheit unter Berücksichtigung der drei Dimensionen mit seinen verschiedenen Lernphasen aufgebaut werden kann. Sein Modell wurde von Kurt Reusser (1999) weiterentwickelt. Mit dem SAMBA-Modell (**S**ituieren – **A**nstoßen – **M**odellieren – **B**egleiten – **A**uswerten) werden die Lehraktivitäten seitens der Lehrperson im Unterrichtsprozess abgebildet, mit dem KAFKA-Modell (**K**ontakt herstellen – **A**ufbauen – **F**lexibilisieren – **K**onsolidieren – **A**nwenden) die Lernaktivitäten seitens der Schülerinnen und Schüler.

Mit Aebli's Beschreibung des Lernprozesses durch das PADUA-Modell, der Ergänzung der Lehraktivitäten durch das SAMBA-Modell und der Lernaktivitäten durch das KAFKA-Modell wird der Sichtstruktur in der Unterrichtsplanung Rechnung getragen und mit dem **L**uzerner Modell zur Entwicklung **K**ompetenzfördernder **A**ufgabensets (Luthiger, Wilhelm, Wespi & Wildhirt, 2018) – kurz **L**UKAS-Modell – hinsichtlich der Funktion von Aufgaben im kompetenzfördernden Unterricht konkretisiert. Allerdings wird aus kognitionspsychologischer Sicht neben der strukturierten Planung die Abgeschlossenheit der Lehr-Lernprozesse als zentral für einen erfolgreichen Lernprozess angesehen. Erst wenn die neuen Inhalte mit dem vorhandenen Wissen vernetzt sind, ist der Lernprozess abgeschlossen. Genau an diesem Punkt knüpfen die Basismodelle an (Gräsel, Neumann, Gruber, Rothgangel & Prenzel, 2021).

2.3 Basismodell Konzeptbildung

Die Lehr-Lern-Theorie der Basismodelle ist fachunspezifisch, wurde aber durch Reyer (2004), Trendel et al. (2008) und Wackermann (2008) für die Fachdidaktik Physik adaptiert (Maurer, 2016) und von Krabbe, Zander und Fischer (2015) «zum ersten Mal [...] in einer gelungenen Form und hoch transparent auf den Physikunterricht angewandt» (Geleitwort von Fritz Oser, Krabbe et al., 2015, S. 7). Für das Fach Physik sind vor allem drei Basismodelle von Relevanz: «Lernen durch Eigenerfahrung», «Konzeptbildung» und «Problemlösen». Im Rahmen der Lehrpersonenweiterbildung «Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht» zeigten Krabbe et al. (2015) auf, dass ein Basismodell in 45 Minuten kaum durchgespielt werden kann, also der Lernprozess von den Schülerinnen und Schülern nicht durch den Transfer oder die Vernetzung von Inhalten abgeschlossen wird (Borowski, Fischer, Trendel & Wackermann, 2010), aber in einer Doppelstunde dieser Abschluss durchaus realistisch ist. So kann eines der drei Basismodelle zur Planung und Strukturierung eines 90-minütigen Workshops genutzt werden.

Für die Planung des Workshops «(Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt», bei dem sich die Schülerinnen und Schüler mit bereits bekannten Phänomenen aus der Optik des sichtbaren Lichts und mit der noch unbekanntem Welt der Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) auseinandersetzen sollen, bietet sich das Basismodell «Konzeptbildung» an. Das Basismodell «Konzeptbildung» hat zum Ziel, mit dem Aufbau neuer Begriffe oder Konzepte die kognitiven Strukturen der Lernenden zu erweitern und dieses neugewonnene Wissen flexibel anzuwenden. Dabei kann der Begriffs- oder Konzeptaufbau als Minimalziel und der Wissenstransfer als Maximalziel angesehen werden. Bezogen auf den Workshop wird ein Konzept zur Infrarotstrahlung aufgebaut, indem Reflexion und Transmission von Licht mit Reflexion und Transmission von IR-Strahlung in Interaktion mit verschiedenen Materialien (Kunststoff, Glas, Kupfer) verglichen werden. Dieser Vergleich wird durch die Bildgebung der Wärmebildkamera möglich bzw. sichtbar gemacht. Der Transfer dieser Eigenschaften auf die Funktionsweise einzelner Sensoren des Smartphones (z.B. dem Näherungssensor) kann als Maximalziel angesehen werden.

Der Begriffs- oder Konzeptaufbau erfolgt durch die Lehrperson, welche die Schülerinnen und Schüler anleitet, und anhand eines geeigneten Beispiels den neuen Sachverhalt prägnant erläutert. Dieses Beispiel – auch Prototyp genannt – ermöglicht den Aufbau einer abstrakten und verallgemeinerbaren Begriffsstruktur, allerdings nur dann, wenn die Schülerinnen und Schüler den Prototyp nachvollziehen können und daraus das Wissen mit Hilfe ihres eigenen Vorwissens rekonstruieren. «Man geht von einem konkreten Prototyp aus, baut daran das Schema exemplarisch auf und verallgemeinert bzw. abstrahiert dieses» (Krabbe et al., 2015, S. 18). Im Workshop wird die Reflexion und Transmission von Infrarotstrahlen an konkreten Alltagsgegenständen (Fenster, Duschvorhang, Einkaufstüte) angewandt und deren Ausprägungen mit denen des sichtbaren Lichts verglichen.

Die folgend genannten Handlungskettenschritte des Basismodells dienen als Grundlage für die Planung der einzelnen Unterrichtsphasen. Sie bilden die Tiefenstruktur ab. Unabdingbar für den Unterrichtserfolg ist dabei die Einhaltung der Reihenfolge dieser Handlungskettenschritte:

1. Bewusstmachung des Vorwissens
2. Durcharbeiten eines Prototyps
3. Beschreibung der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts
4. Aktiver Umgang mit dem neuen Konzept
5. Anwenden des neuen Konzepts in anderen Kontexten (Krabbe et al., 2015, S. 13)

3 Workshopaufbau

Im Folgenden wird der Workshop «(Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt» strukturiert in sechs Phasen vorgestellt (Tab. 1). Zu jedem Handlungskettenschritt werden auf der Tiefenstruktur (a) die Charakteristika des Handlungskettenschritts im Allgemeinen aufgezeigt, (b) die Ziele der entsprechenden Unterrichtsphase angegeben, auf der Sichtstruktur (c) die Aktivitäten der Workshop-Leitung nach dem SAMBA-Modell als Grundfigur des lernunterstützenden didaktischen Handelns erläutert und (d) die Schülerinnen- und Schüleraktivitäten übertragen auf das KAFKA-Modell skizziert.

Tab. 1. Workshopstrukturierung mit Unterteilung in Tiefen- und Sichtstruktur.

Unterrichtsphasen	Tiefenstruktur	Sichtstruktur	
	Handlungskettenschritt	Lehraktivität	Lernaktivität
1	Bewusstmachung des Vorwissens	Situieren	Kontakt herstellen
2		Anstoßen	Aufbauen
3	Durcharbeiten eines Prototyps	Modellieren	Flexibilisieren
4	Beschreibung wichtiger Merkmale des neuen Konzepts		
5	Aktiver Umgang mit dem neuen Konzept	Anwenden	Konsolidieren
6	Anwenden des neuen Konzepts in anderen Kontexten		Anwenden

3.1 Phase 1

(a) Beim Handlungskettenschritt «Bewusstmachung des Vorwissens» geht es primär darum, dass die Lehrperson ihren Schülerinnen und Schülern zur Aktualisierung und Aktivierung ihres Vorwissens verhilft, damit die Lernenden in einem späteren Schritt die neuen Wissens Elemente mit ihrem Vorwissen verbinden können, was zum Aufbau einer geordneten Wissensstruktur beiträgt. Von Vorteil kann die Einbettung in einen alltäglichen Kontext sein, um dem Ganzen eine gewisse Bedeutung zu verleihen. Das neu erworbene Wissen soll zur Erklärung von Phänomenen aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler genutzt werden, wodurch dieses Wissen für die Lernenden bedeutsam wird, zur Anwendbarkeit führt und träges Wissen vermeidet (van Vorst, Fechner & Sumfleth, 2018).

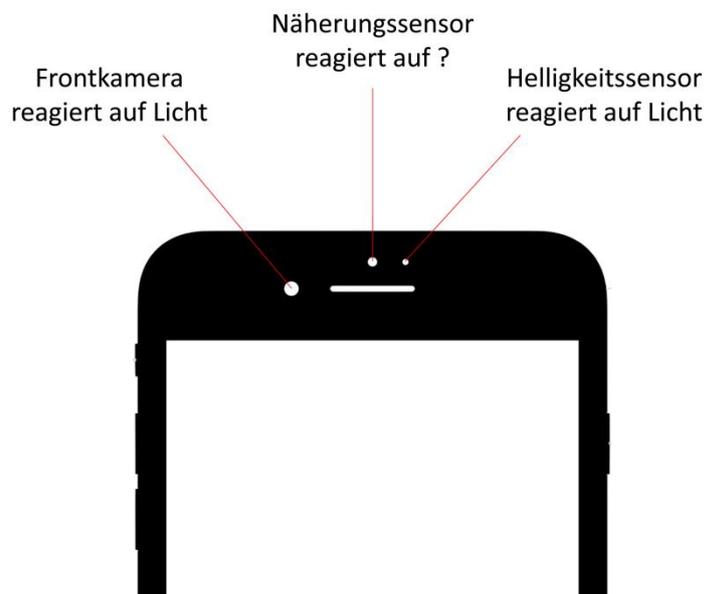


Abb. 2. Position der zu untersuchenden Sensoren beim iPhone.

Zur Herstellung eines Lebensweltbezugs wurde im Workshop die Untersuchung eines Smartphones ins Zentrum gerückt. (b) Dabei sollten die Sensoren des Smartphones als technische Bauteile wahrgenommen werden, die bestimmte physikalische Größen erfassen können. (c) Der Vergleich der Sensoren von Smartphones mit den Sinnesorganen beim Menschen ermöglicht die Aktivierung des Vorwissens und den aktiven Austausch im Klassengespräch. Mit gezielten Denkanstößen werden die Schülerinnen und Schüler von der Lehrperson angeleitet und zum Licht-, Helligkeits- und Näherungssensor hingeführt (Abb. 2). (d) Dabei überlegen sich die Lernenden, wie man die Sensoren auf ihre Funktion hin untersuchen kann und überprüfen sogleich ihre Vermutungen mit kleinen Versuchen am Smartphone. Die Frage «Auf welches Signal reagiert der Sensor?» dient als Orientierungspunkt und wird immer wieder aufgegriffen.

Untersuchung der Kamera

Mit der Kamera werden Selfies und Gruppenfotos erstellt, um zu verdeutlichen, dass dieser Sensor sichtbares Licht detektiert. Durch das Abdecken der Linsen mit einem Finger kann ermittelt werden, welche Linse für die Bildgebung jeweils zuständig ist.

Untersuchung des Helligkeitssensors

Mit einer Taschenlampe oder dem später zum Einsatz kommenden LED-Farbstrahler kann das Smartphone partiell abgeleuchtet werden. Gleichzeitig wird auf dem Smartphone-Display der Helligkeitsregler beobachtet (Abb. 3). Reagiert dieser auf das Licht der Lampe, kann in diesem Bereich nach dem Helligkeitssensor gesucht werden.

Untersuchung des Näherungssensors

Mit dem Tätigen eines Telefonanrufs kann beobachtet werden, wie sich das Display beim Annähern ans Gesicht ausschaltet. Durch gezieltes Abdecken mit dem Finger einzelner Bereiche des Smartphones kann während des Anrufs der Näherungssensor aufgespürt werden. Schaltet sich das Display aus, muss sich der Näherungssensor an der Stelle befinden, wo der Finger platziert wurde.



Abb. 3. Beobachtung des Helligkeitsreglers während des Lampentests (partielles Ableuchten des Smartphones). Adaptiert aus Support-Communities (Apple Support, 2018).

Die Untersuchung des Näherungssensors ist die Schlüsselsequenz zur Hinführung vom sichtbaren zum «unsichtbaren» Licht. Der Sensor wird nach der Lokalisation nicht nur mit dem Finger abgetastet, sondern auch dem Lampentest unterzogen, d.h. der Sensor wird mit Licht abgetastet, wobei bei Annäherung ebenfalls beobachtet werden kann, dass sich das Display ausschaltet. Diese Irritation regt zum Nachdenken und Hinterfragen an. Die resultierenden Beobachtungen sollen die Schülerinnen und Schüler zur Hypothesenbildung veranlassen, um nach der Antwort zu suchen, auf welche physikalische Größe der Näherungssensor reagiert. Die Hypothesen werden schriftlich an der Wandtafel festgehalten.

3.2 Phase 2

(a) Durch die Untersuchung der drei Sensoren wurde eine erste Stoßrichtung vorgegeben: Die Sensoren bzw. zwei der drei Sensoren reagieren auf Licht. Dies wurde im Plenum diskutiert und getestet. Im nächsten Schritt wird das eigene Vorwissen aktiviert. Jede einzelne Schülerin bzw. jeder einzelne Schüler baut auf ihren/seinen individuellen Vorkenntnissen auf, welche an Alltagserfahrungen anknüpfen oder im Schulunterricht bereits erarbeitet wurden und in dieser Phase repetiert werden. Die Lernenden müssen sich bewusst werden, was sie bereits wissen, damit sie neue Erkenntnisse entsprechend eingliedern können. Nur so gelingt die Bildung neuer Begriffe bzw. Konzepte in bestehenden Wissensstrukturen.

(d) Der Handlungskettenschritt «Bewusstmachung des Vorwissens» wird mit drei einfachen Versuchen zur sichtbaren Optik abgeschlossen. Materialquadrate (durchsichtige Kunststoffolie, schwarzer Abfallsack, Kupferblech, Fensterglas, Spiegel) werden auf ihre Durchlässigkeit untersucht und mit Beobachtungen zur Reflexion ergänzt (Absorption und Streuung werden bewusst nicht thematisiert). Gearbeitet wird weiterhin mit dem Smartphone. Die Versuche werden in Kleingruppen erarbeitet, wobei bei den zur Verfügung gestellten Anleitungen darauf geachtet werden muss, dass die einzelnen Experimentierschritte so klar formuliert und mit Bildern verdeutlicht werden, dass die Lernenden möglichst

schnell, selbständig und korrekt einen Versuch nachbauen können, um sich vor allem auf die kognitive Auseinandersetzung mit dem Phänomen und seiner Deutung und nicht primär auf den Versuchsaufbau konzentrieren zu können (Rincke, 2016).

(b) Die Kamera kann die Beobachtungen gut festhalten. Beim direkten Vergleich der Aufnahmen lassen sich dadurch Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Materialquadraten aufdecken. Die Lernenden sehen, dass sich Licht geradlinig ausbreitet, und lernen lichtdurchlässige von lichtundurchlässigen Stoffen zu unterscheiden (Abb. 4). Das Reflexionsgesetz wird indirekt wiederholt (Abb. 5) und durch Ausprobieren wird der Brennpunkt eines Hohlspiegels ermittelt (Abb. 6).

(c) Da die vorgängig untersuchten Sensoren aus dem Fokus geraten, kann die Lehrperson darauf hinweisen, dass die Versuche zur Lösung der Frage führen werden, welche physikalischen Größen der Näherungssensor wahrnimmt.

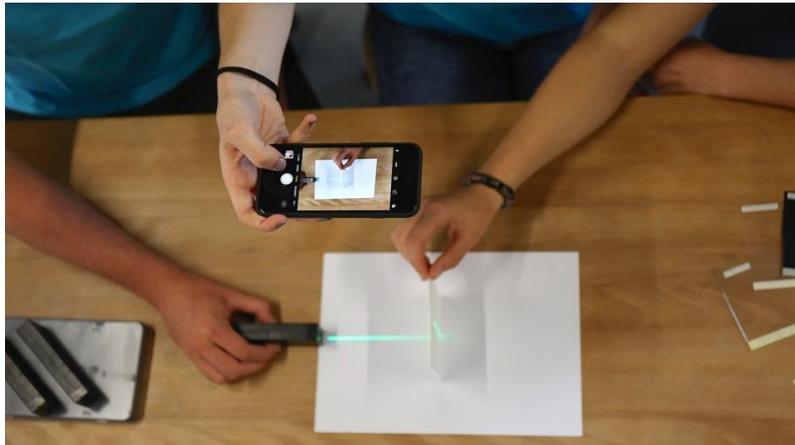


Abb. 4. Optik-Versuch 1: Lichtdurchlässig oder lichtundurchlässig? Die Ausbreitung des Lichts wird bei undurchsichtigen, durchscheinenden und durchsichtigen Stoffen verglichen.

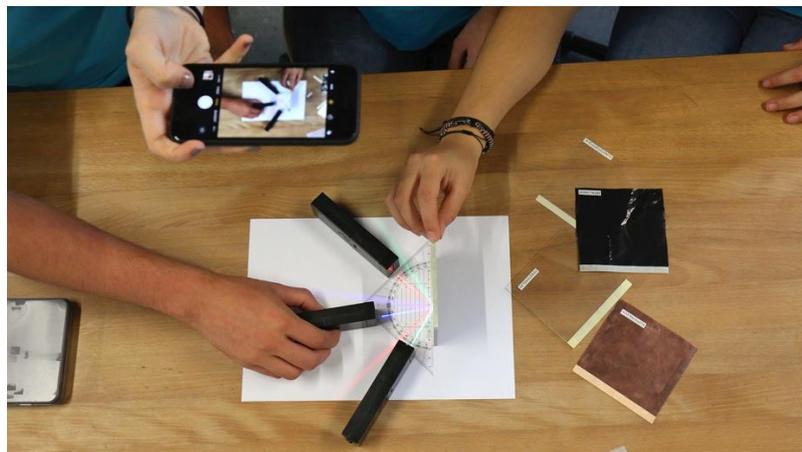


Abb. 5. Optik-Versuch 2: Reflexion von Licht. Die Materialquadrate werden senkrecht zu einem Geodreieck ausgerichtet, wobei das reflektierte Licht beobachtet wird.

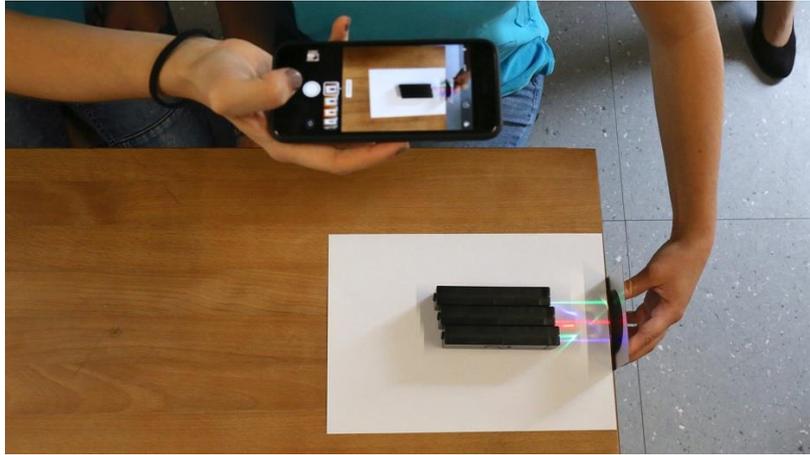


Abb. 6. Optik-Versuch 3: Hohlspiegel und Licht. Auf einen Hohlspiegel parallel ausgerichtete Lichtbündel werden beobachtet, der Brennpunkt wird durch Ausprobieren ermittelt.

3.3 Phase 3

(a) Im zweiten Handlungskettenschritt wird von der Lehrperson ein Prototyp in Form kleinerer Demonstrationsexperimente eingeführt und gemeinsam mit den Lernenden im Unterrichtsgespräch durchgearbeitet. Die Lehrperson nimmt dabei aktiv Anmerkungen und Vorschläge der Schülerinnen und Schüler auf und baut diese in die Erläuterungen des neuen Konzepts ein, das anhand des Prototyps erarbeitet wird. Dabei ist wichtig, dass ein gut gewähltes Beispiel oder prototypisches Muster zum Einsatz kommt, d.h. dieser Prototyp muss einsichtig, fachlich relevant, eindeutig und der Lerngruppe angemessen sein (Krabbe et al., 2015).

Für diesen Handlungskettenschritt auffallend ist die Ähnlichkeit zur Basisform der «Direct Instruction», die einen dreistufigen, systematischen Ablauf des Lehrprozesses abbildet: Zu Beginn wird das neue Themengebiet von der Lehrperson vorgestellt und eingeführt, danach werden in einer Präsentation die wesentlichen Inhalte aufgezeigt, die anschließend in einer Übungsphase zur Anwendung kommen (Kulgemeyer & Schecker, 2018; Magliaro, Lockee & Burton, 2005).



Abb. 7. Demonstrationsversuche mit der IR-Kamera.

(c) Das Livebild einer Wärmebildkamera, welche die Lehrperson bedient, wird auf eine Leinwand projiziert (Abb. 7). Die Lehrperson richtet die Kamera auf die Lernenden und eröffnet während der Demonstrationsversuche eine Frageunde, die die Lernenden zum Nachdenken anregen soll. In einem Dialog zwischen Lehrperson und Klasse werden die wesentlichen Elemente zur Reflexion und Transmission von Infrarotstrahlung, was dem neuen Konzept entspricht, herausgearbeitet. (b) Dabei versuchen sich die Lernenden an einer Interpretation eines Wärmebildes und tragen Erklärungen zu den in den Demonstrationsversuchen gezeigten Phänomenen zusammen.

Mögliche Fragen zur Heranführung ans neue Konzept

Zum Einstieg wird anhand der Fragen die Interpretation des Livebildes ermöglicht:

- «Was genau seht ihr auf der Leinwand?»
- «Warum seht ihr so anders aus als sonst?»
- «Welche Bedeutung haben die einzelnen Farben?»
- «Könnt ihr die Skala an der Seite erklären?»
- «Lässt sich die Wärmebildkamera mit einer Handykamera vergleichen?»



Abb. 8. Infrarotbild einer Brillenträgerin.

Verschiedene Versuche mit dem Material Glas werden vorgeführt. So hält die Lehrperson die Kamera auf eine Person mit Brille gerichtet (Abb. 8):

- «Warum sieht es auf dem Wärmebild so aus, als ob du eine Sonnenbrille trägst?»

Richtet die Lehrperson die Kamera zu einer Fensterwand, spiegeln sich die Infrarotstrahlen der einzelnen Schülerinnen und Schüler darin:

- «Seht ihr auch die Personen, die draußen vor dem Fenster warten?»
- «Könnte man sich hinter einer Glasscheibe verstecken?»

Die Lehrperson weist in einem nächsten Schritt darauf hin, dass es nicht nur Materialien gibt, die Wärme bzw. Infrarotstrahlen zurückwerfen, sondern auch Materialien, die Infrarotstrahlen durchlassen:

- «Könnt ihr eure Mitschülerin bzw. euren Mitschüler sehen, wenn sie/er sich hinter einem Duschvorhang aus Plastik versteckt?»
- «Seht ihr, wie viele Finger ich in die Luft halte, wenn ich eine Plastiktüte über meine Hand stülpe?»

Die Lehrperson übernimmt in dieser Unterrichtsphase die Rolle der Expertin bzw. des Experten und bringt mit den Demonstrationsversuchen, die im Plenum kommentiert werden, neue Informationen ein, die aber so aufbereitet sein müssen, dass die Lernenden den Ausführungen folgen können. Bei diesem Vorgehen – bei der «direkten Instruktion» – wird strukturelles Wissen generiert, was einen nicht unbedeutenden Beitrag zur Lernwirksamkeit des Workshops leistet. So erzielte beispielsweise in der Hattie-Meta-Studie keine Lehrstrategie zur Strukturierung des Unterrichts eine höhere Lernwirksamkeit (Hattie, 2015, S. 239).

(d) Die Schülerinnen und Schüler bekommen in diesem Handlungskettenschritt wesentliche Elemente des neuen Konzepts aufgezeigt. So erfahren sie, dass Infrarotstrahlung nicht im für das Auge sichtbaren Wellenbereich des Lichts liegt, aber mithilfe einer Infrarotkamera sichtbar gemacht werden kann. Durch diese Sichtbarmachung lassen sich Vergleiche zwischen Infrarotstrahlung und sichtbarem Licht ziehen. Übertragen auf die Materialien, die zuvor in den Optik-Versuchen zum Einsatz kamen, verhalten sich die Infrarotstrahlen bezogen auf die Durchlässigkeit und Reflexion entweder gleich wie oder anders als sichtbares Licht.

Die wichtigsten Beobachtungen, welche die Lernenden durch den Prototyp machen können:

- Glas ist lichtdurchlässig und infrarotundurchlässig.
- Der schwarze Abfallsack ist lichtundurchlässig und infrarotdurchlässig.
- Die Kupferplatte reflektiert das sichtbare Licht nur schlecht, die Infrarotstrahlen werden aber wie bei einem Spiegel zurückgeworfen.

3.4 Phase 4

(a) Um zu einer Beschreibung der wichtigsten Merkmale des neuen Konzepts zu gelangen, was dem nächsten Handlungskettenschritt entspricht, müssen die Schülerinnen und Schüler die Beobachtungen des Prototyps zusammentragen und zu erklären versuchen. Dies kann durch Eigenerfahrungen erfolgen, welche die Beobachtungen aus dem Prototyp stützen. Dabei wird analysiert, verglichen, in Beziehung gesetzt und abgegrenzt (Krabbe et al., 2015).

Die Versuche zur Infrarotstrahlung sind alle an den Versuchen zur Optik angelehnt, damit die Beobachtungen direkt miteinander verglichen und neue Erkenntnisse aufgenommen werden können, so dass ein Konzept zur Infrarotstrahlung, welches auf dem Wissen zum sichtbaren Licht aufbaut, entwickelt werden kann. Damit dieser direkte Vergleich gelingt, wird mit der Flir ONE Wärmebildkamera gearbeitet, ein Tool, das direkt mit dem Smartphone verbunden wird. Dadurch werden die mittleren Infrarotstrahlen mittels Wärmebild auf dem Smartphone-Display sichtbar gemacht. (d) Im ersten Versuch untersuchen die Schülerinnen und Schüler die gleichen Materialquadrate aus den Optik-Versuchen auf IR-Durchlässigkeit. So ist beispielsweise ein schwarzer Abfallsack lichtundurchlässig, auf dem Smartphone-Display werden aber die Umrisse der Person hinter dem Materialquadrat sichtbar, womit die Lernenden zum Schluss kommen, dass Plastik IR-durchlässig ist. (b) Durch die Weiterführung des Versuchs mit den anderen Materialquadraten erfahren die Lernenden, dass Infrarotstrahlung durch bestimmte Materialien transmittiert und von anderen Materialien reflektiert wird (Abb. 9).



Abb. 9. IR-Versuch 1: IR-durchlässig oder IR-undurchlässig? Untersuchung der Materialquadrate (durchsichtige Kunststofffolie, schwarzer Abfallsack, Kupferblech, Fensterglas, Spiegel) auf IR-Durchlässigkeit.

(b) Im Folgeversuch erkennen die Lernenden, dass IR-Strahlung nicht immer auf die gleiche Weise wie sichtbares Licht reflektiert wird (Abb. 10). Dies wird beim Erstellen von Selfies mit der Infrarotkamera deutlich. (d) Dabei halten die Lernenden jeweils ein Materialquadrat wie einen Spiegel vor sich und fotografieren dieses Materialquadrat ab (Abb. 10). Gelingt das Foto bzw. sehen sie sich selbst im Materialquadrat wieder, werden die Infrarotstrahlen reflektiert. Sehen sie sich nicht, muss im Umkehrschluss das Material IR-durchlässig sein, was im vorangegangenen Experiment bereits erkannt worden sein sollte (Abb. 11).



Abb. 10. IR-Versuch 2: Reflexion von Infrarotstrahlen. Untersuchung der Materialquadrate auf Reflexion von IR-Strahlen.

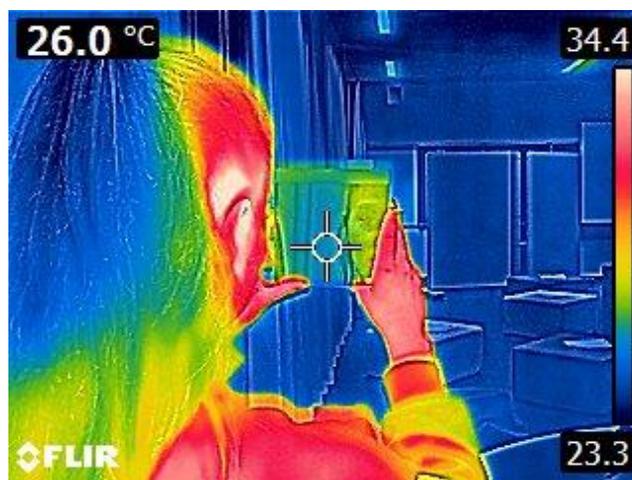


Abb. 11. IR-Aufnahme zum IR-Versuch 2: Reflexion von Infrarotstrahlen. Reflexion der Infrarotstrahlung beim Materialquadrat Glas.

Hält man seinen Kopf in eine Edelstahlschüssel, werden die Infrarotstrahlen, die man selbst aussendet, reflektiert und laufen aufgrund der Schüsselform zusammen (Abb. 12). Die Schülerinnen und Schüler können diese somit in der Nähe des Brennpunkts erspüren. Wird der gleiche Versuch mit einer Plastischüssel durchgeführt, spürt man die Wärmestrahlen kaum. Auch hier lassen sich die Erkenntnisse aus den IR-Versuchen 1 und 2 übertragen, (b) wodurch eine Erklärung für das beobachtete Phänomen von den Lernenden selbstständig gefunden werden kann.



Abb. 12. IR-Versuch 3: Hohlspiegel und Infrarotstrahlen. Reflexion von Infrarotstrahlen bei Hohlspiegeln.

3.5 Phase 5

(a) Nachdem die wichtigsten Merkmale des neuen Konzepts erarbeitet wurden, wird im Handlungskettenschritt «aktiver Umgang mit dem neuen Konzept» der Prototyp systematisch abgewandelt. Anhand eines Demonstrationsexperiments (Abb. 13), das sich zunehmend vom Prototyp entfernt, sollen Vorhersagen der Schülerinnen und Schüler experimentell überprüft werden, was dem aktiven Umgang mit dem neuen Konzept entspricht. Allerdings unterscheidet sich in diesem Punkt das beschriebene Unterrichtsgeschehen vom ursprünglichen Basismodell «Konzeptbildung». Klassisch erhalten die Schülerinnen und Schüler in diesem Handlungskettenschritt Übungsaufgaben, mit denen sie sich selbständig auseinandersetzen und allenfalls Hilfe bei der Lehrperson einholen können. Im Workshop wurde nochmals der Ansatz der direkten Instruktion genutzt, damit nach den relativ einfach gehaltenen Versuchsaufbauten zur Optik und Infrarotstrahlung ein aufwändigeres Experiment mit Hohlspiegel und Laserpointer zum Einsatz kommen kann, um die wesentlichen Elemente des neuen Konzepts im Plenum zusammenzuführen. Beobachtet wird die Bündelung von sichtbarem Licht und Infrarotstrahlung, wobei auch Licht- und IR-Sperrfilter zum Einsatz kommen.

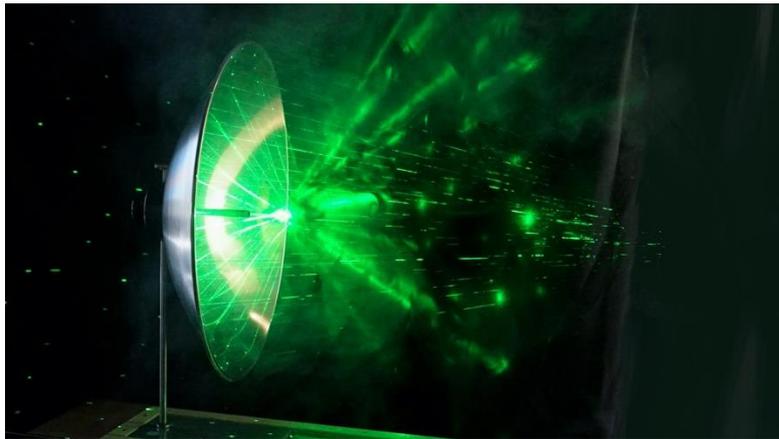


Abb. 13. Demonstrationsexperiment (Swiss Science Center Technorama, 2018).

(c) Auf einer Seite eines Tisches befindet sich ein Hohlspiegel, auf der anderen Seite ein Laserpointer mit einem Gitter, das den Laserstrahl in mehrere Strahlen zerlegt. Mit Hilfe einer Nebelmaschine wird der Strahlenverlauf sichtbar gemacht. Hier wird auf den zweiten und dritten Optik-Versuch Bezug genommen und das Wissen der Lernenden abgeholt.

Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, sich die Position, an der alle Laserstrahlen zusammenlaufen, zu merken. Dann wird der Laserpointer abmontiert und ein Diaprojektor, dessen Infrarotsperrfilter vorgängig entfernt wurde, an dessen Position gesetzt. Die Lehrperson fordert eine Person auf, einen Luftballon in den Brennpunkt zu halten. Der Ballon platzt und die Klasse wird gebeten die Beobachtung zu analysieren.

Danach wird ein IR-Sperrfilter vor die Linse des Diaprojektors eingesetzt und wiederum ein Luftballon in den Brennpunkt gehalten. Dieser platzt nicht, worauf die Schülerinnen und Schüler nach Erklärungsansätzen suchen sollen. Zum Abschluss wird der Infrarotsperrfilter durch einen Licht-Sperrfilter ersetzt. Der Ballon platzt auch ohne Licht. (a) Gelingt den Lernenden die Übertragung der Gesetzmäßigkeiten aus den Schülerinnen- und Schülerversuchen auf das Demonstrationsexperiment, kann zum nächsten Handlungskettenschritt gewechselt werden, da das neu erworbene Konzept nun in einem komplexeren Zusammenhang eingebettet werden kann.

3.6 Phase 6

Im letzten Handlungskettenschritt lernen die Schülerinnen und Schüler durch die Anwendung des neuen Konzepts in andere Kontexte das Konzept zur Infrarotstrahlung zu verstehen und auf andere Zusammenhänge zu übertragen. (c) Dazu greift die Lehrperson die Fragestellung von zu Beginn des Workshops wieder auf: Auf welches physikalische Signal reagiert der Näherungssensor? Diese wird mit der Frage erweitert, wie die Signalwahrnehmung beim Sensor funktioniert. Zur Verständnisklärung über die Funktionsweise des Näherungssensors wird den Lernenden das Spektrum der Wärmestrahlung kurz erläutert. Hier wird zum ersten Mal nicht nur zwischen sichtbarem Licht und Infrarotstrahlung unterschieden, sondern auch zwischen nahem und mittlerem Infrarot.

(d) Das nahe Infrarot kann mit der Smartphone-Kamera sichtbar gemacht werden. Die Lernenden halten eine Fernbedienung in die Frontkamera und drücken gleichzeitig eine Taste. Ein schwaches Leuchten bei der Infrarotdiode wird sichtbar. Diesen Versuch kann man auch mit dem Näherungssensor des Smartphones durchführen. Hält man den Näherungssensor eines Smartphones, mit dem gerade ein Telefonanruf getätigt wird, in die Frontkamera eines zweiten Smartphones, sieht man das Blinken der ausgesendeten nahen Infrarotstrahlen. Hält man im abgedunkelten Raum das

Smartphone beim Telefonieren nah ans Gesicht, kann die Reflexion der nahen Infrarotstrahlen ebenfalls mit der Kamera sichtbar gemacht werden. Der Sensor ermittelt also anhand der Intensität der zurückgeworfenen Infrarotstrahlen den Abstand.

4 Ergebnisse und Diskussion

Der Workshop «Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt» wurde in Anlehnung an den Workshop des Swiss Science Center Technorama zum elektromagnetischen Spektrum «Die dunkle Seite des Lichts» (Feusi, 2012; Miranda & Moor, 2013) entwickelt. Der neukonzipierte Workshop wurde mit 7 Klassen der Sekundarstufe I ($n = 108$) am Swiss Science Center pilotiert und in der vorgestellten Version mit 49 Klassen ($n = 820$) in der Lernwerkstatt der Pädagogischen Hochschule Luzern und im Physiklabor der Kantonsschule Reussbühl durchgeführt. Eine Woche vor dem Workshopbesuch wurde von den Lernenden ein Leistungstest bearbeitet, angelehnt an Konzepttests aus der Optik und ergänzt durch äquivalente Fragestellungen zum Thema Infrarotstrahlung, und eine Selbsteinschätzung der Selbstwirksamkeit beim Experimentieren vorgenommen. Unmittelbar nach der Workshopdurchführung wurden die gleichen Tests, mit einer Skala zum Cognitive Load ergänzt, direkt vor Ort durchgeführt sowie sechs Wochen nach dem Besuch nochmals im Klassenzimmer.

Aus den Daten zum mitgeführten Leistungstest im Multiple-Choice Format lässt sich schließen, dass der Workshop lernwirksam ist und zum Konzeptaufbau der Reflexion und Transmission von Infrarotstrahlung führt (Abb. 14). Im Themenbereich Optik (des sichtbaren Lichts) schneiden die Lernenden vor und nach der Workshopdurchführung sehr gut ab, was Grundvoraussetzung für den ersten Handlungskettenschritt «Bewusstmachung des Vorwissens» ist. Während in der Optik kein Lernzuwachs ersichtlich ist, findet ein Wissenszuwachs im Themenbereich Infrarotstrahlung wie auch zu den Fragen zum Hohlspiegel statt, die das Vorwissen zur Optik und das neu erarbeitete Wissen zur Infrarotstrahlung zusammenführen.

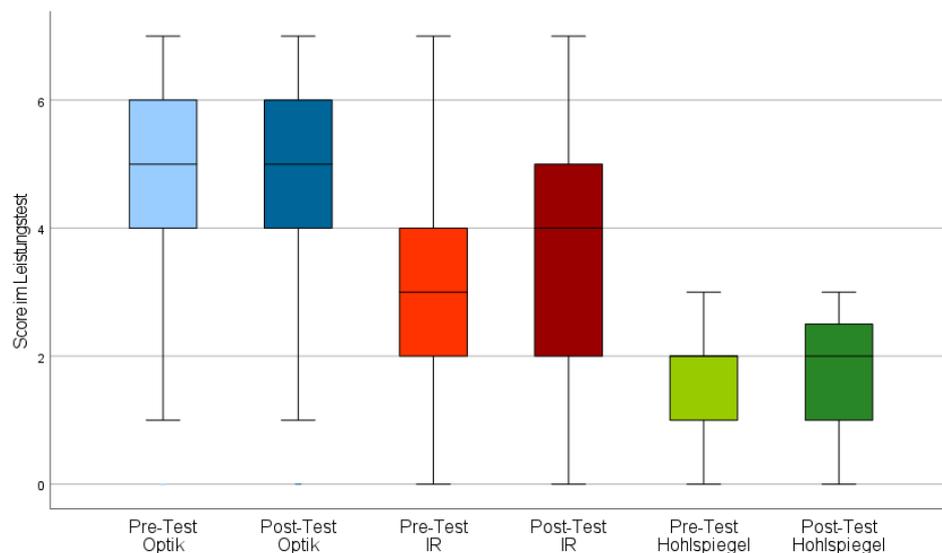


Abb. 14. Boxplot zu den abgefragten Themenbereichen des Leistungstests im Prä-Post-Vergleich. Mögliche Punktzahl: Optik = 7, IR = 7, Hohlspiegel = 3.

Bei Betrachtung der Lernleistung tritt ein signifikanter Haupteffekt beim Vergleich vor und nach dem Workshopbesuch auf, $F(1, 794) = 238.46, p < .001$, partielles $\eta^2 = .231$, doch keine statistisch signifikante Interaktion zwischen dem Lernzuwachs und dem Schulniveau, $F(1, 794) = 0.73, p = .394$, partielles $\eta^2 = .001$. Die Lernenden zeigen somit einen Zuwachs in der Lernleistung unabhängig vom Schulniveau. Dies kann als Beleg für die positive Wirkung einer Strukturierung einer 90-minütigen Unterrichtslektion nach der Basismodelltheorie von Oser gewertet werden. Die Schülerinnen und Schüler sind nach dem Workshopbesuch in der Lage, Stoffeigenschaften bezüglich der Durchlässigkeit und Reflexion des sichtbaren Lichts und des mittleren Infrarots zu erläutern und Bezüge zur Alltagswelt aufzuzeigen. Der fachlich stark vereinfachte Transfer auf nahes Infrarot durch die Erklärung der Funktionsweise bei der Signalaufnahme des Näherungssensors ist nur ansatzweise gelungen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass in der Planung des Workshops dem Handlungskettenschritt 5 «Anwenden des neuen Konzepts in anderen Kontexten» zu wenig Rechnung getragen wurde. Das Basismodell «Konzeptbildung» muss als nicht abgeschlossen angesehen werden. Hier würde sich entweder eine weitere Unterrichtslektion zur Ausweitung des Handlungskettenschritts 5 oder der Ausbau auf eine weitere Unterrichtseinheit mit dem Thema «Nahes Infrarot» anbieten.

References

- Aebli, H. (1985). *Zwölf Grundformen des Lehrens: Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage* (2. Auflage). Klett-Cotta.
- Amacker, V., Wilhelm, M. & Brovelli, D. (01. September 2021). Effects of Presentation Modes of Lab Instruction and of Self-Efficacy on Learning Performance [Konferenzbeitrag]. *Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)*, Virtual Conference. <https://congressos.leading.pt/reports/reports.aspx?ref=resumofinal1&evento=127&formulario=300&render=pagina&cod=16055&chave=0031938FA9>
- Apple Support (2018). *Support-Communities: Audioausgang auf dem iPhone, iPad oder iPod touch ändern*. Apple. <https://communities.apple.com/de/thread/200023293>
- Baltruschat, A. (2018). *Didaktische Unterrichtsforschung*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-17070-7>
- Borowski, A., Fischer, H. E., Trendel, G. & Wackermann, R. (2010). *Guter Fachunterricht braucht Zeit: Warum 45-Minuten-Stunden im Physik-Unterricht nicht reichen*. *Pädagogik*, 62(3), 26-29.
- Cohn, R. & Terfurth, C. (1997). *Lebendiges Lehren und Lernen: TZI macht Schule* (3. Auflage). Klett-Cotta.
- Feusi, A. (17. Dezember 2012). Wie Kinder im Technorama experimentieren. *Neue Zürcher Zeitung*. <https://www.nzz.ch/wissenschaft/bildung/wie-kinder-im-technorama-experimentieren-1.17894800>
- Freckmann, J., & Komoreck, M. (2019). Sprachsensibles Handeln im Physikunterricht. In M. Butler & J. Goschler (Hrsg.), *Sprachsensibilität in Bildungsprozessen. Sprachsensibler Fachunterricht: Chancen und Herausforderungen aus interdisziplinärer Perspektive* (S. 221-238). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27168-8_9
- Geller, C. (2015). *Lernprozessorientierte Sequenzierung des Physikunterrichts im Zusammenhang mit Fachwissenserwerb: Eine Videostudie in Finnland, Deutschland und der Schweiz. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 191*, Logos Verlag.
- Gräsel, C., Neumann, K., Gruber, H., Rothgangel, M. & Prenzel, M. (2021). Der Einfluss von Fritz Oser auf vier Themen der Unterrichts- und Schulforschung: eine dankbare Rückschau und ein Blick in die Zukunft. *Unterrichtswissenschaft*, 49(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s42010-021-00098-8>
- Hattie, J. (2015). *Lernen sichtbar machen: Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von „Visible Learning“ besorgt von Wolfgang Beywl und Klaus Zierer*. Schneider Verlag Hohengehren.
- Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Klett-Kallmeyer.
- Krabbe, H., & Fischer, H. E. (2020). Gestaltung von Unterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik | Grundlagen* (S. 117-153). Springer.
- Krabbe, H., Zander, S., & Fischer, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht: Materialien zur Lehrerfortbildung. Ganz In. Praxisbeft*. Waxmann.
- Kulgemeyer, C., & Schecker, H. (2018). Kognitive Aktivierung durch direkte Instruktion. In D. Brovelli (Hrsg.), *Wirksamer Physikunterricht. Unterrichtsqualität: Perspektiven von Expertinnen und Experten* (S. 106-116). Schneider Verlag Hohengehren.
- Luthiger, H., Wilhelm, M., Wespi, C., & Wildhirt, S. (2018). *Kompetenzförderung mit Aufgabensets: Theorie-Konzept-Praxis*. HEP Verlag.
- Magliaro, S. G., Lockee, B. B., & Burton, J. K. (2005). Direct Instruction Revisited: A Key Model for Instructional Technology. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 41-55. <https://doi.org/10.1007/BF02504684>
- Maurer, C. (2016). *Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 199*. Logos Verlag. <https://doi.org/10.5283/epub.33741>
- Meyer, H. (2004). *Was ist guter Unterricht?* (1. Auflage, Sonderausgabe). Cornelsen Scriptor.
- Miranda, M., & Moor, M. (2. September 2013). PHS183 Technorama Winterthur (183). *Die Physikalische Soirée*. Ö1 Campus Radio. <https://www.physikalischesoiree.at/tag/technorama/>
- Oser, F., & Baeriswyl, F. (2001). Choreographies of Teaching: Bridging Instruction to Learning. In V. Richardson (Ed.), *Handbook of research on teaching* (4th ed., p. 1031-1065). American Educational Research Association.
- Oser, F., & Patry, J. L. (1990). Choreographien unterrichtlichen Lernens. Basismodelle des Unterrichts. *Berichte zur Erziehungswissenschaft: Band. 89*. Pädagogisches Institut der Universität Freiburg.
- Reusser, K. (1999). *KAFKA und SAMBA als Grundfiguren der Artikulation des Lehr-Lerngeschehens*. Pädagogisches Institut der Universität Zürich.
- Reusser, K. (2006). Konstruktivismus – vom epistemologischen Leitbegriff zur Erneuerung der didaktischen Kultur. In M. Baer, M. Fuchs, P. Füglistner, K. Reusser & H. Wyss (Hrsg.), *Didaktik auf psychologischer Grundlage: Von Hans Aebli's kognitionspsychologischer Didaktik zur modernen Lehr- und Lernforschung* (S. 151-168). h.e.p.
- Reusser, K. (2009). Empirisch fundierte Didaktik – didaktisch fundierte Unterrichtsforschung. In M. A. Meyer, M. Prenzel & S. Hellekamps (Hrsg.), *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft: Sonderheft 9. Perspektiven der Didaktik* (S. 219-237). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91775-7_15
- Reyer, T. (2004). *Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht: Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe. Studien zum Physiklernen: Band 32*. Logos Verlag.
- Rincke, K. (2016). *Experimente in ihren Funktionen für das Lernen*. <https://doi.org/10.5283/epub.36410>
- Seidel, T., & Prenzel, M. (2006). Stability of teaching patterns in physics instruction: Findings from a video study. *Learning and Instruction*, 16(3), 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.002>

- Steffensky, M., & Neuhaus, B. J. (2018). Unterrichtsqualität im naturwissenschaftlichen Unterricht. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 299–313). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_18
- Stender, A., Geller, C., Neumann, K., & Fischer, H. E. (2013). Der Einfluss der Unterrichtstaktung auf die Strukturiertheit und Abgeschlossenheit von Lernprozessen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 189-207.
- Swiss Science Center Technorama (2018). *(Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt. Lehrerinformation zum Workshop*. Swiss Science Center Technorama.
- Trendel, G., Wackermann, R., & Fischer, H. E. (2008). Lernprozessorientierte Fortbildung von Physik Lehrern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 54(3), 322-340.
- van Vorst, H., Fechner, S., & Sumfleth, E. (2018). Unterscheidung von Kontexten für den Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 167-181. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0081-z>
- Wackermann, R. (2008). *Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 75*. Logos Verlag.
- Wagner, B. (1999). *Lernen aus der Sicht der Lernenden: Eine Untersuchung zum Einfluß des Basismodell-Unterrichts auf das Lernen von Schülerinnen und Schülern. Europäische Hochschulschriften Reihe 11, Pädagogik: Band 780*. Lang.
- Zander, S., Krabbe, H. & Fischer, H. E. (2013). Lernzuwächse in Mechanik im Rahmen der Lehrerfortbildung „Sequenzierung von Lernprozessen“. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hannover 2012* (S. 503–505). IPN-Verlag.