

Der Einfluss von instrumentellen Handlungen und induzierten Selbsterklärungen auf den physikalischen Wissenserwerb in der Primarstufe

The influence of hands-on activities and elicited self-explanations on knowledge acquisition in primary science learning

Marcel Bullinger, Erich Starauschek

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg,
bullinger01@ph-ludwigsburg.de, starauschek@ph-ludwigsburg.de
(Eingegangen: 08.04.2015; Angenommen: 16.04.2016)

Kurzfassung

Lernen mit oder durch Handlungen, wie z. B. beim ‚Experimentieren‘, gilt als ein zentrales Merkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts und insbesondere des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts. Ausgangspunkt bei Letzterem sind oft ‚Phänomene‘. Die handlungsorientierte Begegnung mit einem Phänomen gilt dabei als Idealbild des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts. Hingegen ist die postulierte Wirkung eines handlungsorientierten Lernens empirisch nicht ausreichend überprüft. Notwendig für ein erfolgreiches Lernen ist auch im naturwissenschaftlichen Sachunterricht die kognitive Aktivität der Schülerinnen und Schüler. Die Aufforderung zu Selbsterklärungen gilt als robuste Methode der kognitiven Aktivierung, die den Aufbau von Wissensstrukturen unterstützt. Inwieweit diese Methode in der Primarstufe wirkungsvoll ist, ist ebenfalls noch nicht eindeutig geklärt. Ob eine Handlungsorientierung und eine kognitive Aktivierung durch die Aufforderung zu Selbsterklärungen den Wissenserwerb im naturwissenschaftlichen Sachunterricht der Primarstufe unterstützen, wird daher in einer experimentellen Laborstudie untersucht. Als Phänomen wurde die optische Abbildung mit der Lochkamera gewählt. Es zeigt sich, dass Selbsterklärungen den Wissenserwerb mit einem großen Effekt unterstützen. Eine handlungsorientierte Vermittlung zeigt hingegen gegenüber einer vergleichbaren Vermittlung mit Bildern keinen Effekt.

Abstract

Hands-on activities are characteristic for primary science education. One common approach in early science education focuses on learning with phenomena. Exploring phenomena usually means hands-on activities. On the one hand, there is little empirical research available about the influence of hands-on activities on early science learning. On the other hand, research definitely indicates the necessity of cognitive activities for successful knowledge acquisition. Eliciting self-explanations is a well-known method for cognitive activation supporting knowledge acquisition. The positive effect of eliciting self-explanations is not yet clarified for primary school children. Our experimental study, focusing on learning about the phenomenon of the optical imaging with the pinhole camera, revealed a positive and strong impact of self-explanations on knowledge acquisition in early science education. However, there is no impact of hands-on activities compared to learning with pictures.

1. Handlungsorientiertes Lernen – Begriffsbestimmung und Diskussion

„Handlungsorientiertes Lernen“ ist ein zentrales Merkmal des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts [1]. Der Terminus „Handlungsorientierung“ wird in der Literatur aber nicht eindeutig verwendet und ist mit unterschiedlichen und zum Teil widersprüchlichen Zielen verbunden [2]. Für eine erste Präzisierung lassen sich die unterschiedlichen Ansätze unter dem Aspekt der „Handlungsteilnehmer“ bzw. der „Interaktion“ ordnen: Der Terminus des

kommunikativen Handelns stellt dabei die Interaktion zwischen den Lernenden und anderen Personen in den Fokus; beim instrumentellen Handeln steht das Herstellen oder Verändern von realen Objekten – also im metaphorischen Sinn die „Interaktion mit Objekten“ – im Mittelpunkt der Handlung der Lernenden. Hier spielt die Interaktion zwischen Personen erst einmal keine Rolle [3]. Eine weitere Differenzierung ist nach den Funktionen der Handlungen möglich: So kann die Handlung dazu dienen, das Handeln selbst zu lernen oder durch die Handlung transportierte Inhalte zu lernen [4]. Einen plausiblen

Ansatzpunkt für die Präzisierung der ‚Handlungsorientierung‘ stellt nach der genannten Systematisierung für uns erst einmal das Lernen durch instrumentelles Handeln mit dem Ziel des ‚Wissenserwerbes‘ dar. Wir werden den ‚Wissenserwerb‘ weiter unten etwas präzisieren, ohne eine grundlegende Diskussion dieses Begriffes anzustreben.

Eine weitere Präzisierung des Handlungsbegriffs ermöglicht die Beschränkung auf den Gegenstand der (Natur-)Phänomene, die im naturwissenschaftlichen Sachunterricht als zentraler Ausgangspunkt zur Welterschließung dienen [1]. Somit lässt sich die ‚Handlungsorientierung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht‘ als eine ‚Begegnung mit einem (Natur-)Phänomen durch instrumentelles Handeln mit realen Objekten‘ plausibel präzisieren.

Eine allgemeine Frage der Grundschulpädagogik ist damit für unseren speziellen Kontext des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts genauer zu fassen: Kann bei einer Begegnung mit einem (Natur-)Phänomen instrumentelles Handeln mit realen Objekten den physikalischen ‚Wissenserwerb‘ in der Primarstufe unterstützen?

Wir stellen dem Stand der Forschung eine erste theoretische Verortung und Bewertung voran, die eine gängige Position der Handlungsorientierung aufgreift: Als empirische Evidenz für handlungsorientiertes Lernen werden meist entwicklungspsychologische Studien Piaget’scher Prägung herangezogen. Lernprozesse sollen demnach die Stadien der kognitiven Entwicklung berücksichtigen [2]. Damit wäre auch ein Lernen durch instrumentelle Handlungen lernförderlich. Ein Beispiel für einen dieser Ansätze ist das in der Mathematikdidaktik verbreitete EIS-Prinzip nach Bruner. Danach führt die Nutzung externaler Repräsentationen eines Lerngegenstandes (enaktiv, ikonisch und symbolisch) zu den gewünschten kohärenten mentalen Repräsentationen des Lerngegenstandes [5]. Die enaktive Ebene ist dabei mit dem instrumentellen Handeln vergleichbar.

Die Piaget’schen Ansätze der kognitiven Entwicklung sind heute der Kritik ausgesetzt (u. a. [6]). Wir wollen auch dies nicht weiter vertiefen. Bruner merkt jedoch schon in seinen späten Werken an, dass die unterschiedlichen externalen Repräsentationen nicht hierarchisch aufeinander folgen müssen [5]. Eine rein entwicklungspsychologische Begründung für einen handlungsorientierten naturwissenschaftlichen Sachunterricht ist damit unzureichend.

2. Stand der Forschung

2.1. Instrumentelles Handeln

Für die Primarstufe steht die abschließende empirische Untersuchung und Bewertung der Wirkung von handlungsorientiertem Physiklernen noch aus [4]. Problematisch sind dabei, wie im ersten Abschnitt angedeutet, die Definition der Handlungsorientierung und deren theoretischer Rahmen. Auch aus

einer übergeordneten Perspektive, welche die Sekundarstufe I und andere Naturwissenschaften miteinbezieht und eine ‚weiche phänomenologische Umschreibung‘ von Handlungsorientierung erlaubt, ist der Forschungsstand nicht eindeutig. Hinweise in empirischen Untersuchungen über die Wirksamkeit von unterstelltem instrumentellem Handeln im naturwissenschaftlichen Unterricht finden sich aufgrund der von uns verwendeten Definition nur in Ansätzen. Wenn das ‚Experimentieren‘ der Lernenden als ‚handlungsorientiertes Physiklernen‘ oder sogar als instrumentelles Handeln etikettiert wird, so lässt sich hier keine generelle Wirkung von Schülerexperimenten finden [7]. Auch der Prozess des ‚Experimentierens‘ durch die Lernenden ist von vielen Variablen bestimmt. Ein Beispiel für eine neuere Arbeit aus dem deutschsprachigen Raum in der Sekundarstufe I unterstreicht die genannte Diagnose, dass authentische und problemorientierte Schülerexperimente im Vergleich zum ‚traditionellen‘ Physikunterricht der Sekundarstufe I ohne Schülerexperimente keinen Einfluss auf den Wissenserwerb haben [8].

Auch internationale Studien zum handlungsorientierten Lernen zeigen kein eindeutiges Bild (u. a. [9]). Hier unterstellen wir, dass ‚hands-on learning‘, ‚activity-based learning‘ oder ‚practical work‘ hinreichend mit dem Begriff des instrumentellen Handelns verwandt sind. In einer US-amerikanischen Studie mit einer größeren Anzahl von Probanden finden sich z. B. Hinweise, dass eine größere Anzahl von Hands-on-Aktivitäten im naturwissenschaftlichen Unterricht einen positiven Einfluss auf den Wissenserwerb in der Sekundarstufe I haben können [10]. Die oft fehlende positive Wirkung von ‚practical work‘ kann hingegen auch darauf zurückgeführt werden, dass damit gleichzeitig viele unterschiedliche Ziele erreicht werden sollen [11].

Beim ‚inquiry-based‘ oder forschend-entdeckenden Lernen, das in allen Naturwissenschaftsdidaktiken diskutiert und untersucht wird sowie in der Regel mit instrumentellen Handlungen einhergeht, hängt der Wissenserwerb maßgeblich von der kognitiven Aktivität der Probanden ab. Ein rein auf die Sensorik reduzierter Umgang mit realen Objekten scheint wenig wirkungsvoll für den Wissenserwerb zu sein [12]. Die Dimension der kognitiven Aktivität stellt damit eine mögliche Konfundierung bei der Untersuchung von instrumentellem Handeln dar. Auch sollten die ‚Handlungen‘, was sich von selbst verstehen sollte, zum intendierten ‚Wissensaufbau‘ passen [13]; als Beispiel: einfaches Herumspielen mit einem Schubkarren wird nicht zwangsläufig zum Wissenserwerb über den Hebel beitragen.

Inwieweit die vorgestellten Befunde für physikalische Themen im Sachunterricht relevant sind, bleibt offen. Im Sachunterricht sprechen deskriptive Daten dafür, dass Lerngegenstände, die eine Handlungsorientierung intendieren, lernwirksamer sind als multimedial aufbereitete Lerngegenstände [14].

Offen ist auch die übergeordnete Frage, ob der in den Studien verwendete Begriff des Wissenserwerbs vergleichbar ist. Wir werden dies in 2.3 diskutieren und unser Wissensmodell explizieren.

Der Stand der fachdidaktischen Forschung lässt also keine generalisierbare Aussage zum Lernen durch instrumentelle Handlungen zu. Es finden sich durchaus Hinweise auf eine mögliche Wirksamkeit instrumentellen Handelns beim Wissenserwerb in den Naturwissenschaften. Insbesondere für die Primarstufe ist es jedoch offen, inwieweit instrumentelles Handeln den naturwissenschaftlichen und speziell den physikalischen Wissenserwerb in der Primarstufe unterstützen kann.

Für eine Prüfung der postulierten Wirkung bedarf es eines entsprechenden Vergleichs: In der Kognitionspsychologie werden als Referenz für die Behaltensleistungen bei Handlungen häufig Bilder verwendet (vgl. [15]). Die Informationsverarbeitung in Handlungen mit realen Objekten unterscheidet sich von der an Bildern unter anderem durch zusätzliche visuelle und sensomotorische Informationen (vgl. [16]).

2.2. Kognitive Aktivierung durch die Aufforderung zu Selbsterklärungen

Wie im vorherigen Absatz bemerkt, ist kognitive Aktivität eine notwendige Bedingung für einen erfolgreichen Wissenserwerb. Inwieweit diese durch instrumentelles Handeln per se induziert wird, ist unklar. Diese zentrale Variable soll daher in unserer Untersuchung ebenfalls untersucht werden. Eine wirkungsvolle Möglichkeit zur kognitiven Aktivierung ist das Hervorrufen von Selbsterklärungen. Selbsterklärungen sind unmittelbare, verbale und inhaltsbezogene Äußerungen zum Lerngegenstand [17].

Die Aufforderung zu Selbsterklärungen zeigt sich in der Sekundarstufe I und bei älteren Probanden als wirkungsvolle Methode zur kognitiven Aktivierung (u. a. [18]). Für den Primarbereich ist der Stand der Forschung nicht eindeutig: Einige Studien sprechen für den positiven Einfluss von Selbsterklärungen auf konzeptuelles und prozedurales Lernen ([19], [20]), andere Studien finden keinen Einfluss von Selbsterklärungen auf Problemlösen (u. a. [21]). Widersprüchliche Ergebnisse finden sich ebenfalls bei noch jüngeren Kindern im Elementarbereich: So haben Selbsterklärungen zu vorgegebenen mathematischen Lösungswegen eine positive Wirkung auf Problemlösen, Selbsterklärungen bei eigenen Lösungswegen hingegen nicht [22]; in einer ähnlichen Studie, in der es anstatt um mathematisches Problemlösen um die Perspektivenübernahme eines Dritten geht, wird jedoch in beiden Fällen eine positive Wirkung und damit kein Unterschied gemessen [23].

In Hinblick auf verschiedene Lernmedien finden sich in Untersuchungen mit Sekundar- und Primarstufenschülern Hinweise für eine positive und große Wirkung von Selbsterklärungen an visuellen Medien

wie Bildern und Diagrammen ([24] – [25]). Damit könnten auch Selbsterklärungen an handelnd erfahrenen Gegenständen wirkungsvoll sein.

2.3. Wissen und Wissenserwerb

Der Stand der Forschung zur ‚Handlungsorientierung‘ und der kognitiven Aktivierung mit Hilfe von instruierten Selbsterklärungen zeigt Lücken für das instrumentelle Handeln und für instruierte Selbsterklärung in der Primarstufe. Bei der vorliegenden Studie soll der Wissenserwerb die abhängige Variable sein. De Jong und Ferguson-Hessler zeigen in der Psychologie, dass der Begriff des ‚Wissens‘ heterogen ist oder auch undefiniert verwendet wird [26]. Wir wollen daher eine kurze Darstellung und vorausgreifend eine Präzisierung des von uns verwendeten Wissensbegriffs vornehmen.

Einigkeit scheint im Wesentlichen darin zu bestehen, dass ‚Wissen‘ in einem System, genannt ‚Gedächtnis‘, ‚gespeichert‘ und ‚abgebildet‘ ist (z. B. [27]) und in der Regel ‚erworben‘ oder ‚erlernt‘ und wieder abgerufen werden kann. Der Begriff des ‚Wissens‘ ist eng mit den Begriffen des ‚Lernens‘ und des ‚Wissenserwerbs‘ verbunden. Diese werden aber ebenfalls heterogen verwendet, beziehen jedoch zusätzlich noch Aspekte der Lehr-Lern-Umgebung mit ein. Unterschiedliche ‚Wissenstypen‘ sind dabei mit spezifischem Lernen verbunden [28]. Grundsätzlich wird meist zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen unterschieden [29], auch wenn hier nicht immer trennscharf differenziert werden kann.

Wissen lässt sich nach de Jong und Ferguson-Hessler weiter nach der Art des Wissens unterscheiden, z. B. situationales, konzeptuelles oder strategisches Wissen. Eine weitere Dimension des Wissens sind Merkmale des Wissens, wie z. B. die Verarbeitungstiefe oder die Modalität [26]. Die Kognitionspsychologie modelliert diese Dimensionen des Wissens u. a. durch die mentalen Repräsentationen und entsprechende Informationsverarbeitungsprozesse [30].

In unserer Studie wird der Einfluss von unterschiedlichen Lernumgebungen, die auf einem Lernprogramm zum Thema ‚Optische Abbildung an der Lochkamera‘ basieren, auf den Wissenserwerb in der Primarstufe untersucht. Hierzu wird ein schon erprobter Wissenstest zur optischen Abbildung der Lochkamera eingesetzt [25]. Vom geringen Vorwissen in dieser Altersstufe ausgehend, ist das Ziel der Aufbau von mentalen Repräsentationen zur Lochkamera. Dazu gehört der Aufbau der Lochkamera, die Eigenschaften des Lochkamerabildes in Abhängigkeit von Eigenschaften der Lochkamera und die Entstehung des Lochkamerabildes mit geometrischen Modellen.

Mit diesen Inhalten sind, wenn wir das Charakterisierungssystem von de Jong und Ferguson-Hessler nutzen, situationale, konzeptuelle und prozedurale Aspekte des Wissens verbunden, z. B. die Beschreibung des Aufbaus einer Lochkamera oder die Ver-

änderung des Lochkamerabildes bei der Verschiebung der Mattscheibe. Dabei kann konzeptionelles Wissen dem deklarativen Wissen gleichgesetzt werden. Die im Lernprogramm zugänglichen Informationen liegen außerdem in verschiedenen Modalitäten vor: Bilder und reale Objekte als nonverbale Informationen, zu hörende Informationstexte als verbale Informationen.

Die Items des Wissenstests lassen sich in zur Text- und Bildoberfläche des Lernprogramms nahe Behaltensitems und in nahe bis ferne Transferitems unterscheiden. Die Unterscheidung zwischen Behaltens- und Transferleistung hängt von den expliziten Inhalten des Lernprogramms ab.

Die Behaltensleistung wird deklarativ und prozedural gemessen, z. B. die Nennung der Bestandteile einer Lochkamera oder die Beschreibung der Bildänderung bei Verschiebung der Mattscheibe. Die Transferleistung zielt auf Sachverhalte, die nicht explizit im Lernprogramm enthalten sind, die aber durch Inferenzen aus den Informationen des Lernprogramms erschlossen werden können; z. B. wird beim Lochkamerabild die Vertauschung von oben und unten explizit im Lernprogramm erklärt, in einem Transferitem jedoch nach der Vertauschung von links und rechts gefragt, die analog erklärt werden kann.

3. Forschungsfragen und Hypothesen

Nach der in Kapitel 1 präzisierten Handlungsorientierung und dem in Kapitel 2.1 dargestellten Stand der Forschung zum instrumentellen Handeln in den Fachdidaktiken sowie den Hinweisen aus der Kognitionspsychologie lässt sich für das Physiklernen in der Primarstufe folgende erste Forschungsfrage ableiten:

Forschungsfrage 1: Unterscheidet sich der Wissenserwerb beim Lernen mit Bildern vom Wissenserwerb beim Lernen mit instrumentellen Handlungen an realen Objekten in sonst gleichen Lernumgebungen?

Aus den entwicklungspsychologisch geprägten Annahmen an die Wirksamkeit der Handlungsorientierung und eines nicht eindeutigen Forschungsstandes lässt sich folgende Alternativhypothese – und damit indirekt auch Nullhypothese – ableiten:

Alternativhypothese 1: Der Wissenserwerb beim Lernen mit Bildern unterscheidet sich vom Wissenserwerb beim Lernen mit instrumentellen Handlungen an realen Objekten in sonst gleichen Lernumgebungen.

Für den Aspekt der kognitiven Aktivierung, die für jeden Lernprozess notwendig ist, lässt sich hinsichtlich der Methode der Selbsterklärung folgende zweite Forschungsfrage aus dem noch nicht eindeutigen Stand der Forschung zur Wirkung der Selbsterklärung in der Primarstufe ableiten:

Forschungsfrage 2: Unterscheidet sich der Wissenserwerb beim Lernen mit Bildern ohne Selbsterklärung vom Wissenserwerb beim Lernen mit Bildern

mit Selbsterklärung in sonst gleichen Lernumgebungen?

Trotz der positiven Wirkung der Selbsterklärung bei älteren Probanden formulieren wir angesichts der allgemein unklaren Wirkung der Selbsterklärung in der Primarstufe konservativ eine ungerichtete Alternativhypothese und indirekte Nullhypothese, auch wenn eine gerichtete Alternativhypothese zugunsten des Wissenserwerbs beim Lernen mit Bildern und Selbsterklärung möglich ist:

Alternativhypothese 2: Der Wissenserwerb beim Lernen mit Bildern ohne Selbsterklärung unterscheidet sich vom Wissenserwerb beim Lernen mit Bildern mit Selbsterklärung in sonst gleichen Lernumgebungen.

4. Methode

4.1. Design und Stichprobe

Zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen wurde eine experimentelle Laborstudie mit folgenden drei Treatmentgruppen durchgeführt: Lernen mit Bildern ohne Selbsterklärung, Lernen mit Bildern mit Selbsterklärung und Lernen mit Handlungen an Gegenständen mit Selbsterklärung, im Sinne des schon beschriebenen instrumentellen Handelns. Die genaue Beschreibung der Treatments erfolgt in Abschnitt 4.3; sie wurden als computergestützte Einzelinterventionen umgesetzt. Es liegt damit ein 3x1-Design vor; genauer ein 3x1+1-Design, da eine zusätzliche Messung in einer Baselinegruppe vorgenommen wurde. Die abhängige Variable ist der Wissenszuwachs (Pre-, Post- und Follow-Up-Testung).

An der Studie nahmen 73 Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen drei und vier aus vier Klassen vier verschiedener Grundschulen in Baden-Württemberg teil (Tab. 1, 2). Die Stichprobe der drei Treatmentgruppen wurde auf Individualebene randomisiert. Die Baselinegruppe besteht aus einer einzelnen vierten Klasse, die ausschließlich die Erhebungsinstrumente bearbeitete.

Treatment	Mädchen	Jungen
	<i>n</i>	<i>n</i>
Bilder ohne Selbsterklärung	7	11
Bilder mit Selbsterklärung	6	10
Handlungen mit Selbsterklärung	6	12
Baseline	12	9

Tab. 1: Geschlechterverteilung nach Teilstichproben

Treatment	<i>M</i>	<i>SD</i>
Bilder ohne Selbsterklärung	9.86	0.91
Bilder mit Selbsterklärung	9.98	0.34
Handlungen mit Selbsterklärung	9.92	0.76
Baseline	10.23	0.50

Tab. 2: Alter nach Teilstichproben

Treatment	Kontrast 1	Kontrast 2
Bilder ohne Selbsterklärung	-0.5	-1
Bilder mit Selbsterklärung	-0.5	1
Handlungen mit Selbsterklärung	1	0

Tab. 3: Kontrastkoeffizienten der gewählten Kontraste

Für Kontrastanalysen zwischen den drei Treatmentgruppen (vgl. Tab. 3) ergibt eine Poweranalyse mit den Standardannahmen (Effektstärkemaß $p = 0.5$, Alpha- und Betafehler $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.05$) eine Stichprobengröße von insgesamt $N = 46$ Probanden¹. Damit ist die Stichprobengröße für die geplanten Kontrastanalysen (Tab. 3) ausreichend, um große Effekte nachzuweisen (vgl. [32]). Die Methode der Kontrastanalyse wird gewählt, um eine Alphafehlerkumulierung bei zwei t-Tests zu vermeiden und gleichzeitig nicht auf Post-hoc-Tests zurückgreifen zu müssen, da Hypothesen a priori abgeleitet werden konnten. Die Summe der Gewichtungen je Kontrast und das Skalarprodukt der Gewichtungen bei linearer Unabhängigkeit müssen null sein.

Kontrast zwei lässt einen direkten Gruppenvergleich zur Beantwortung von Forschungsfrage 2 zu. Der Effekt der Selbsterklärung beim Lernen mit Bildern kann damit untersucht werden.

Forschungsfrage 1 lässt sich nicht ohne eine Konfundierung (Kontrast 1) beantworten, da die Treatments Bilder mit Selbsterklärung und Handlungen mit Selbsterklärung bei der Wahl von Kontrast 2 aus den mathematisch-statistischen Bedingungen nicht direkt verglichen werden können. Da jedoch das Treatment ‚Bilder ohne Selbsterklärung‘ nach den bisherigen Studien [25] kleinere Wissenszuwächse zeigt, würde ein möglicher Effekt zugunsten der

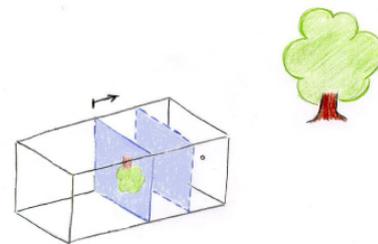
Handlungen nur verstärkt werden. Dies ist für eine erste Studie akzeptabel.

4.2. Variablen

Die abhängige Variable ist der Wissenserwerb zur optischen Abbildung mit der Lochkamera, der mit einem vorliegenden Testinstrument bestimmt werden kann. Die Items sind auf die Inhalte des Lernprogramms (s. 4.3) abgestimmt und damit inhaltlich valide. Der Wissenstest, das Manual zur Auswertung des Wissenstests und das Lernprogramm finden sich in [33] und wurden für die vorliegende Studie inhaltlich gekürzt.² Dies findet sich in [34].

Der Wissenstest umfasst 13 Items (Multiple Choice und Items mit offenem Antwortformat): drei Behaltensitems zum Phänomen (ein Beispiel zeigt Abb. 1), drei Behaltens- und sieben Transferitems zur Erklärung der optischen Abbildung mit der Lochkamera. Die Items des Wissenstests mit offenem Antwortformat wurden wie vorher gesagt mittels eines vorhandenen Kategoriensystems kategorisiert und dichotom als richtig (1) oder falsch (0) bewertet (s. [33], [34]). Die Beurteilerübereinstimmung für die Kategorisierung der einzelnen offenen Items liegt (Cohens κ) im Pretest zwischen $.54 < \kappa < 1.00$ (mittleres $\kappa = .80$), im Posttest zwischen $.46 < \kappa < .90$ (mittleres $\kappa = .73$) und im Follow-up zwischen $.50 < \kappa < .91$ (mittleres $\kappa = .78$). Die mittlere Beurteilerübereinstimmung ist damit in einem guten bis sehr guten, die Beurteilerübereinstimmung weniger einzelner Items in einem ausreichenden Bereich [35].

Wie verändert sich das Bild auf der Mattscheibe, wenn die Mattscheibe zum Loch geschoben wird?



Kreuze bitte an:

- Das Bild wird größer
- Die Größe des Bildes verändert sich nicht
- Das Bild wird kleiner
- Ich weiß nicht

Abb. 1: Beispielitem des Wissenstests [33, S. 301]

¹ Berechnung mittels G*Power 3.1.5 [31].

² Auf Anfrage legen wir die vorgenommenen Veränderungen vor, ebenso die Kategorisierung der offenen Items und deren Bewertung in falsch und richtig.

Variable	N_i	Range	$p_{\text{Lösung}}$	r_{it}	Cronbachs α
Wissen Pretest	13	0 – 13	.00 – .25	.00 – .42	.49
Wissen Posttest	13	0 – 13	.08 – .53	.12 – .69	.78
Wissen Follow-up-Test	13	0 – 13	.07 – .44	.10 – .62	.77
Intelligenz	12	0 – 12	.22 – .97	.07 – .44	.63
Interesse	3	1 – 5	-	.59 – .73	.81
Intrinsische Motivation	6	1 – 4	-	.44 – .79	.85
Selbstkonzept	6	1 – 4	-	.24 – .73	.73

Tab. 4: Skaleneigenschaften der abhängigen Variablen und der Kontrollvariablen; Stichprobengröße $N = 73$, N_i = Zahl der Items, $p_{\text{Lösung}}$ = Lösungswahrscheinlichkeiten, r_{it} = Trennschärfen

Als Kontrollvariablen wurden berücksichtigt: Schulnoten in Deutsch, Mathematik und im Sachunterricht, Intelligenz (CFT 20-R, Subskala 1.1 und 1.3; [36]), Interesse an ‚technischen Dingen und Naturereignissen‘ ([37], adaptiert), intrinsische Motivation zu ‚technischen Dingen und Naturereignissen‘ ([38], adaptiert), Selbstkonzept zu ‚technischen Dingen und Naturereignissen‘ [39], Migrationshintergrund [40], sozioökonomischer Hintergrund [41], die Bearbeitungszeit der Lernumgebungen und der Einfluss des Fragebogens auf den Wissenserwerb (Baselinegruppe).

Die psychometrischen Eigenschaften der Wissensskala sowie der Skalen der Kontrollvariablen finden sich in Tab. 4. Die Gütekriterien der Wissensskala sind größtenteils in einem guten Bereich. Ausnahmen bilden hier die Reliabilität der Skala im Pretest und die niedrigen Lösungswahrscheinlichkeiten einiger weniger Items zu allen drei Testzeitpunkten. Die Trennschärfen der Skala liegen in einem akzeptablen Bereich. Die Skalen zu Interesse, Motivation und Selbstkonzept zeigen gute psychometrische Merkmale. Hier sind allein die generell hohen Zustimmungswahrscheinlichkeiten auffällig, die auf Deckeneffekte hindeuten. Die beiden eingesetzten Subskalen des Intelligenztests CFT 20-R (je $N_i = 15$) zeigen in dieser Stichprobe geringe Reliabilitäten ($\alpha_i < .55$). Es wurde deshalb eine verkürzte Gesamtskala ($N_i = 12$) gebildet. Diese Kurzskala enthält weiter drei Items mit einer Lösungswahrscheinlichkeit von $p > .80$.

4.3. Materialien (Lernumgebungen)

Die Treatmentvariable liegt (s. oben) in drei Ausprägungen vor: Lernen mit Bildern ohne Selbsterklärung, Lernen mit Bildern mit Selbsterklärung, Lernen mit Handlungen an Gegenständen mit Selbsterklärung. Ein Hinweis zur Durchführung vorweg: In jeder Treatmentgruppe arbeiteten die Probanden einzeln mit einem Lernprogramm im Beisein des Versuchsleiters, d. h. jede Schülerin oder jeder Schüler bearbeitete das Material für sich im eigenen Tempo. Als Lerngegenstand wurde die optische Abbildung mit der Lochkamera gewählt, da hier das

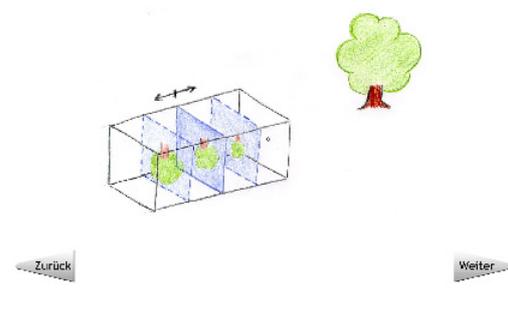


Abb. 2: Beispielseite aus dem Computerlernprogramm für die Treatmentgruppen ‚Lernen mit Bildern ohne Selbsterklärung‘ und ‚Lernen mit Bildern mit Selbsterklärung‘ ([33, S. 245], adaptiert)



Abb. 3: Beispielseite aus dem Computerlernprogramm für die Treatmentgruppe ‚Lernen mit Handlungen mit Selbsterklärung‘

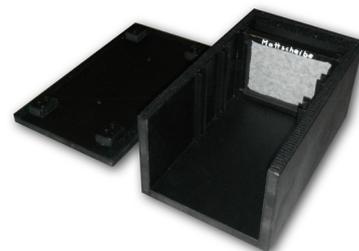


Abb. 4: Reale Lochkamera im Treatment ‚Lernen mit Handlungen mit Selbsterklärung‘

Vorwissen für die Primarstufe als wenig ausgeprägt angenommen werden konnte. Lerneffekte sind damit leichter zu generieren und zu messen. Zudem liegen für dieses Thema Vorarbeiten vor [42], auch für die Primarstufe [25].

In allen drei Treatmentgruppen wurde das (computergestützte) Lernprogramm methodisch an die Treatments adaptiert. Die Inhalte in allen drei Treatmentgruppen sind dabei gleich und in 14 Sequenzen beschrieben: In den ersten sechs Sequenzen werden phänomenologische Aspekte der optischen Abbildung an der Lochkamera, z. B. Eigenschaften der Mattscheibe und der Abbildung, beschrieben. In den folgenden acht Sequenzen wird die optische Abbildung mit Hilfe von Lichtbündeln erklärt. Die Grundstruktur der Lernprogramme ist analog zu einem Bilderbuch aufgebaut: Jede Sequenz enthält ein Bild, zu dem ein Sprecher einen Text spricht.

Die sprachstatistischen Kennzeichen des gesamten Informationstextes weisen ihn als verständlichen Text aus, der für die Primarstufe geeignet ist (vgl. [43]): Anzahl Wörter $W = 776$, mittlere Anzahl an Wörtern pro Satz $s = 12$, Anteil drei- und mehrsilbiger Wörter in Sätzen $ms = 16\%$, Grad der lokal substantivischen Textkohäsion $lsk = 56\%$, Grad der globalen substantivischen Textkohäsion $gsk = 62\%$. Der Wert der globalen substantivischen Textkohäsion gsk ist etwas niedrig, da der Text sequenziell, passend zu den Bildern, untergliedert ist. Die Wiener Sachtextformel ergibt den Kennwert sechs, der als niedrig bewertet werden kann und damit die Passung für die gewählte Stichprobe bestätigt.

Die 14 Sequenzen des Lernprogramms im Treatment ‚Bilder ohne Selbsterklärung‘ bestehen also jeweils aus einem Bild und einem passenden Informationstext, der nicht visuell als Text sondern auditiv zur Verfügung steht. Die Probanden betrachten zunächst das Bild und hören dann den Text zum Bild. Nach dem Anhören des Textes können sie zur nächsten Sequenz übergehen oder die vorherige noch einmal aufrufen (Abb. 2).

Das Lernprogramm im Treatment ‚Bilder mit Selbsterklärung‘ ist analog zum Lernprogramm ‚Bilder ohne Selbsterklärung‘ aufgebaut. Es wird mit Aufforderungen zu Selbsterklärungen erweitert. Nach dem Betrachten jedes Bildes erfolgt eine Aufforderung zur Selbsterklärung des Bildes (Prompt: „Sage jetzt bitte laut in deinen eigenen Worten, was du gerade siehst.“). Nach der Selbsterklärung zum Bild wird der gleiche Text wie im Treatment ‚Bilder ohne Selbsterklärung‘ angehört. Daraufhin folgt ein zweiter Prompt: „Sage jetzt bitte laut in deinen eigenen Worten, was du gerade gehört hast. Sage bitte auch, was für dich neu ist.“. Der Versuchsleiter saß versetzt zu den Probanden. Den Probanden wurde die Möglichkeit eingeräumt, den Versuchsleiter anzusehen und die Selbsterklärungen an den Versuchsleiter zu richten. Dieser äußerte keinerlei wertende Rückmeldung zu den Selbsterklärungen der

Probanden. Die Äußerungen des Versuchsleiters beschränkten sich nur auf Rückmeldungen wie ‚ja‘, ‚mhm‘ oder ‚ok‘, um den Redefluss der Probanden zu bekräftigen. Die Bearbeitungsreihenfolge einer Sequenz im Treatment ‚Bild mit Selbsterklärung‘ lautet damit in Kurzform: Bild, Selbsterklärung am Bild, Informationstext, Selbsterklärung zum Informationstext. Ansonsten entsprachen die Steuerungsmöglichkeiten dem Treatment ‚Lernen mit Bildern‘.

Im Lernprogramm des Treatments ‚Handlungen mit Selbsterklärung‘ werden die Bilder des Treatments ‚Bilder mit Selbsterklärung‘ so weit wie möglich durch reale Objekte und jeweils passende Handlungsanweisungen ersetzt, wie in Abb. 3 an einem Beispiel zu sehen ist. Die vollständigen Handlungsanweisungen für jede Sequenz finden sich in [34]. Abbildung 4 zeigt das reale Objekt der Lochkamera. Durch die Handlungsanweisungen sollen den Probanden die gleichen Informationen am realen Objekt wie am Bild zugänglich gemacht werden. Da die Darstellung von Lichtbündeln nur bedingt handelnd umsetzbar ist, wurden im zweiten Teil des Treatments ‚Handlungen mit Selbsterklärung‘ die Bilder der anderen Treatments beibehalten. Die Probanden bearbeiten die Sequenzen des Lernprogramms im Treatment ‚Handlungen mit Selbsterklärung‘ nach folgendem Muster: Instruierte Handlung mit realem Objekt, Selbsterklärung zur Handlung, Informationstext, Selbsterklärung zum Informationstext.

Die Erhebung fand an vier verschiedenen Grundschulen im Großraum Stuttgart statt. Der Pretest (ca. eine Woche vor den Interventionen) und der Follow-up-Test (ca. 5 Wochen nach den Interventionen) wurden im Klassenverband durchgeführt. Die Interventionen und die direkt anschließende Bearbeitung des Posttests fanden parallel zum Unterricht und für jeden Probanden einzeln in einem separaten Raum der jeweiligen Schule statt.

5. Ergebnisse

5.1. Kontrollvariablen

Die Teilstichproben der Treatments weisen keine Unterschiede in den Kontrollvariablen auf³. Für die p-Werte der Haupteffekte in den ANOVAs gilt: $.307 < p < .925$. Die Bearbeitung der Lernprogramme unterscheidet sich jedoch hinsichtlich der Bearbeitungszeit (Zeitangaben in mm:ss): Bilder ohne Selbsterklärung $M = 08:45$, $SD = 03:07$; Bilder mit Selbsterklärung $M = 18:55$, $SD = 04:06$; Handlungen mit Selbsterklärung $M = 25:23$, $SD = 05:26$. Zwar

³ Dies wurde mittels mehrfacher univariater Varianzanalyse überprüft, da die Voraussetzungen für eine multivariate Varianzanalyse, wie z. B. eine Gruppengröße von mindestens 20 Probanden, in der vorliegenden Stichprobe nicht gegeben sind [44].

Messzeitpunkt	Bilder ohne Selbsterklärung (<i>n</i> = 18)	Bilder mit Selbsterklärung (<i>n</i> = 16)	Handlungen mit Selbsterklärung (<i>n</i> = 18)
Pretest	1.89 (1.91)	1.38 (1.20)	1.39 (1.29)
Posttest	4.00 (2.79)	5.13 (2.85)	4.50 (2.81)
Follow-up-Test	2.89 (2.35)	4.06 (2.11)	3.89 (3.82)

Tab. 5: Deskriptive Statistik der Wissensscores zur optischen Abbildung mit der Lochkamera nach Messzeitpunkten (Mittelwerte und Standardabweichungen in Klammern); möglicher Range der Wissensscores von 0 bis 13

zeigt eine ANOVA für die Bearbeitungszeit einen signifikanten Haupteffekt ($F(2,49) = 67.13$, $p = .000$), die Bearbeitungszeit korreliert in der Stichprobe aller drei Treatments jedoch weder mit dem Wissenszuwachs im Posttest ($r(52) = .20$, $p = .158$) noch im Follow-up ($r(52) = .13$, $p = .345$). Daher wird sie bei Kontrast 1 nicht weiter berücksichtigt.

Bei Kontrast 2 werden nur die Treatments ‚Bilder ohne Selbsterklärung‘ und ‚Bilder mit Selbsterklärung‘ verglichen. In diesen Teilstichproben korreliert die Bearbeitungszeit mit den Wissenszuwächsen (Pretest-Posttest: $r(34) = .45$, $p = .008$; Pretest-Follow-up: $r(34) = .44$, $p = .009$). Wir greifen diesen Befund in der Diskussion wieder auf.

Die Baselinegruppe ohne jegliche Intervention zeigte keinen signifikanten Wissenszuwachs zwischen Pretest ($M = 0.95$, $SD = 1.24$) und Posttest ($M = 1.29$, $SD = 1.49$, $t(20) = 0.77$, $p = .450$), jedoch zwischen Pretest und Follow-up-Test ($M = 1.67$ und $SD = 1.65$, $t(20) = 2.15$, $p = .044$).

5.2. Wissenserwerb

Die Tabellen 5 und 6 zeigen die mittleren Wissensscores bzw. die Wissenszuwächse in den Treatments. Die Aufforderung zur Selbsterklärung zeigt

beim Lernen mit Bildern numerisch die intendierte Wirkung, d. h. ‚Selbsterklärer‘ zeigen höhere Wissenszuwächse. Der Wissenszuwachs unter der Bedingung ‚Aufforderung zur Selbsterklärung‘ unterscheidet sich dabei numerisch nicht zwischen dem ‚Lernen mit Bildern‘ und dem ‚Lernen mit instrumentellen Handlungen‘. Die Berechnung der Kontraste bestätigt die numerischen Unterschiede zwischen Pretest und Posttest. Die Aufforderung zur Selbsterklärung beim Lernen mit Bildern unterstützt damit den Wissenserwerb (Tab. 7, Kontrast 2). Die Handlungen zeigen im Vergleich zu den beiden Gruppen, in denen mit Bildern Wissen erworben wurde, keine zusätzliche Wirkung (Tab. 7, Kontrast 1). Im direkten Vergleich der beiden Treatments mit Bildern zeigt sich für die Selbsterklärung mit Cohens d ein großer Effekt ($d = 0.72$). Vergleichbare Unterschiede bei den Wissenszuwächsen finden sich zwischen Pre- und Follow-up-Test. Auch hier unterstützt die induzierte Selbsterklärung den Wissenserwerb (Tab. 7, Kontrast 2); beim Lernen mit Bildern zeigt sich ein großer Effekt ($d = 0.87$). Die Handlungsorientierung weist keinen Effekt auf (Tab. 7, Kontrast 1).

Messzeitraum	Bilder ohne Selbsterklärung (<i>n</i> = 18)	Bilder mit Selbsterklärung (<i>n</i> = 16)	Handlungen mit Selbsterklärung (<i>n</i> = 18)
Pretest zu Posttest	2.11 (1.78)	3.75 (2.82)	3.11 (2.03)
Pretest zu Follow-up-Test	1.00 (1.75)	2.69 (2.18)	2.50 (3.01)

Tab. 6: Deskriptive Statistik (Mittelwerte und Standardabweichungen) der Wissenszuwächse zur optischen Abbildung mit der Lochkamera nach Messzeiträumen; möglicher Range der Wissenszuwächse jeweils von -13 bis 13

Messzeitraum	Kontrast	Kontrastwert	SE	T	df	p
Pretest zu Posttest	1	0.18	0.65	0.28	49	.782
	2	1.64	0.76	2.14	49	.037
Pretest zu Follow-up-Test	1	0.66	0.69	0.95	49	.349
	2	1.69	0.82	2.06	49	.045

Tab. 7: Kontraste zu den Wissenszuwächsen zwischen den Treatmentgruppen. Kontrastkoeffizienten Kontrast 1: Bilder ohne Selbsterklärung (−0.5), Bilder mit Selbsterklärung (−0.5), Handlungen mit Selbsterklärung (1); Kontrastkoeffizienten Kontrast 2: Bilder ohne Selbsterklärung (−1), Bilder mit Selbsterklärung (1), Handlungen mit Selbsterklärung (0); SE = Standardfehler, T = T-Wert, df = Freiheitsgrade, p zweiseitiger Test

6. Diskussion

Unsere Studie zeigt, dass sich die H_0 für Forschungsfrage 1 nicht verwerfen lässt. Der Wissenserwerb an Bildern unterscheidet sich nicht signifikant vom Wissenserwerb mit instrumentellen Handlungen an realen Objekten. Die Aufforderung zu Selbsterklärungen hat beim Lernen mit Bildern und gehörten Informationstexten zu einem signifikanten, positiven und großen Einfluss auf den Wissenserwerb geführt (Forschungsfrage 2). Das Ergebnis bestätigt damit die ersten empirischen Hinweise, dass Selbsterklärungen an Bildern in der Primarstufe wirksam sind [25]. Dies ist ein eindeutiges Ergebnis. Die H_0 für Forschungsfrage 2 kann daher abgelehnt werden. Die Aufforderung zur Selbsterklärung anhand von Bildern und den anschließenden verbalen Informationen zum Bild ist damit ursächlich und eine wirksame Methode zur kognitiven Aktivierung, die das instruierte Lernen von Eigenschaften physikalischer Phänomene und deren Erklärungen in der Primarstufe unterstützt.

Die Poweranalyse sichert die vorliegenden Effekte statistisch ab. Die Stichproben sind nach den gegebenen Kontrollvariablen vergleichbar. Zwar legen die Ergebnisse der Baselinegruppe nahe, dass Wissenszuwächse – zumindest zum Follow-up hin – auch durch den eingesetzten Wissenstest verursacht werden können, numerisch ist dieser Wissenszuwachs jedoch im Vergleich zum Wissenszuwachs im Treatment ‚Bilder ohne Selbsterklärung‘ kleiner. Sollte der Wissenserwerb durch die dreifache Bearbeitung der Wissensitems möglich sein, so ist dieser Effekt für alle Treatmentgruppen gleich wahrscheinlich.

Die weiteren methodischen Einschränkungen unserer Studie schmälern teilweise die Aussagekraft der Ergebnisse: Aufgrund des gewählten 3x1-Designs ist eine Hypothesenprüfung mittels Kontrasten notwendig und sinnvoll. Bei Kontrast 1 liegt eine Konfundierung vor, da ein Teil der Vergleichsgruppe (Bilder ohne Selbsterklärung) aus Probanden mit einer geringeren kognitiven Aktivierung als der Selbsterklärung bestand (vgl. Tab. 3). Damit unterschätzt der Kontrast die Wirkung des Wissenserwerbs bei den Probanden, die mit den Bildern arbeiteten. Trotzdem zeigt sich kein signifikanter Unterschied, der auf eine Wirkung des instrumentellen Handelns schlie-

ßen lässt. Dies steht in Übereinstimmung mit der numerischen Tendenz der Wissenszuwächse. Wie Tabelle 5 zeigt, liegen die Wissenszuwächse der Selbsterklärungen an Bildern numerisch über denen der Handlungen. Für eine weitere methodische Absicherung der Ergebnisse ist für weitere Studien ein klassisches 2x2-Design zu wählen.

Auch das Ergebnis für Forschungsfrage 2 ist hinsichtlich der Bearbeitungszeiten konfundiert. Zwar unterscheiden sich die Lernzeiten zwischen den drei Treatments, sie korrelieren jedoch nicht mit den Wissenszuwächsen. Für die zwei Bilder-Gruppen des Kontrastes 2 gilt dies jedoch nicht. Hier korreliert die Bearbeitungszeit mit dem Wissenserwerb. Dieses Ergebnis lässt sich aus unserer Sicht aus zwei Perspektiven diskutieren: Wenn wir die beiden Treatments ‚Lernen mit Bildern mit und ohne Selbsterklärung‘ als Lernumgebungen vergleichen, in denen die Lernenden einmal mehr und einmal weniger kognitiv aktiviert werden, so ist bei der wirkungsvolleren kognitiven Aktivierung ein größerer Zeitaufwand notwendig. Insofern ist die größere Lernzeit bei der Interpretation zu beachten, relativiert aber das Ergebnis nicht. Trotzdem könnten beide Vergleichsgruppen bei vergleichbarer Bearbeitungszeit zu einem ähnlichen Ergebnis kommen. Diese Frage korrespondiert zu einer eher psychologischen Fragestellung: Ist die Selbsterklärung die Ursache für die erhöhte kognitive Aktivierung? In der Literatur ist es zur Untersuchung dieses Effektes üblich, die Probanden den Text zweimal lesen zu lassen. Dies kann jedoch wiederum zu anderen Konfundierungen wie z. B. dem Wiederholungseffekt führen.

Eine weitere Einschränkung kann durch das Messinstrument begründet werden: Nur wenige Items beziehen sich auf Inhalte, die handelnd erworben werden können. Eine Weiterentwicklung der Lernumgebungen und des Wissenstests sind notwendig. Außerdem könnten die Zeichnungen durch Fotografien ersetzt und ausschließlich phänomenologische Aspekte in den Mittelpunkt gestellt werden. Der Wissenstest müsste dementsprechend ebenfalls inhaltsvalide weiterentwickelt werden. Diese Veränderung lässt sich auch fachdidaktisch begründen, da eine Erklärung der optischen Abbildung nicht zum Grundschulcurriculum gehört (s. unten). Die kognitionspsychologische Perspektive liefert einen weiteren

Einwand hinsichtlich der Testsituation: Die zusätzlichen Informationen von realen Objekten haben einen positiven Einfluss auf die Behaltensleistung, wenn Lern- und Testsituation gleich bzw. ähnlich gehalten werden. Eine Lernsituation mittels Handlungen an realen Objekten ist dann wirkungsvoller, wenn die Testsituation ebenfalls Handlungen an realen Objekten erlaubt (u. a. [27]). Es stellt sich damit die übergeordnete Frage, inwieweit ein ‚Lernen durch Handlungen‘ im Vergleich zum ‚Lernen mit Bildern‘ überhaupt durch schriftliche Leistungsmessungen festgestellt und ob dabei eine bessere Leistung durch Handlungen gemessen werden kann. Zur Erinnerung: Handlungen in dem sehr eingeschränkten Sinn des instrumentellen Handelns (vgl. 1 und 2.1).

Dass instrumentelles Handeln zu einem anderen Wissensaufbau führen könnte, lässt sich auch unter Nutzung von kognitionspsychologischen Modellen des Gedächtnisses und deren Informationsverarbeitung argumentativ begründen (vgl. [27]): Die Ausdifferenzierung mentaler Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis könnte durch den handelnden Umgang mit einer realen Lochkamera unterstützt werden, da sich die Möglichkeit einer mehrperspektivischen Betrachtung des Objekts ergibt. Daher stehen neben zusätzlichen sensomotorischen auch mehr visuelle Informationen und damit mehr Möglichkeiten zu Elaborationsprozessen zur Verfügung als bei einer zweidimensionalen Darstellung im Bild. Mehr irrelevante Informationen können hingegen auch den Cognitive Load erhöhen.

Für die positive Wirkung von Bildern in der vorliegenden Studie sprechen auch Ergebnisse der Sachunterrichtsdidaktik: Zwar fehlt in unserer Studie die in der Literatur meist geforderte starke Selbstbestimmung der Schülerinnen und Schüler in ihren Handlungen, gegen einen zu hohen Grad an Selbstbestimmung sprechen jedoch notwendige Scaffolding-Maßnahmen für einen wirksamen naturwissenschaftlichen Unterricht im Elementar- und Primarbereich ([45], [46]). Genau diese notwendige stärkere Strukturierung könnte in den Bildern vorhanden sein, sodass ein positiv erwarteter Effekt des instrumentellen Handelns verdeckt wird.

Angesichts des insgesamt geringen Lernzuwachses bleibt die Frage offen, ob die Inhalte der untersuchten Altersstufe angemessen sind. Die Phänomenologie der optischen Abbildung mit der Lochkamera scheint der Primarstufe erst einmal angemessen zu sein [47]. Ob es auch Erklärungen der optischen Abbildungen sein könnten, ist eine offene Frage. Im regulären Sachunterricht würden wir die Erklärung der optischen Abbildung durch Modellvorstellungen mit Lichtbündeln nicht propagieren. Lernende in dieser Altersstufe verfügen i. d. R. nicht über eine physikalisch ausreichende Modellvorstellung zur Ausbreitung des Lichtes. Für eine Erklärung der optischen Abbildung mittels der geometrischen Optik scheinen die Voraussetzungen im Vorwissen

der Primarstufe nach dem aktuellen Stand der fachdidaktischen Forschung daher nicht gegeben zu sein (vgl. [48]). Gleichzeitig liegen alte Befunde zur optischen Abbildung mit der Lochkamera in der Primarstufe vor, dass geometrische Eigenschaften und Verhältnisse in Bildern und Versuchsanordnungen – vermutlich intuitiv – zumindest teilweise durch Schülerinnen und Schüler der Primarstufe zur Erklärung der optischen Abbildung aufgegriffen werden. Konkret: Gegenstandspunkte können mit den passenden Bildpunkten jeweils durch eine Strecke verbunden werden. Daher lässt sich das Vorhandensein von mentalen Modellen analog zur geometrischen Optik, oder entsprechenden ‚Protomodellen‘, vermuten [49]. Ähnliche Befunde finden sich auch in Versuchsanordnungen zur Bildung von Schatten: Mit Hilfe von Strecken – konkret gespannten Schnüren – können schon Primarstufenschüler den Ort des Schattens eines Gegenstandes vorhersagen, vermutlich ohne über elaborierte physikalische Vorstellungen zur Lichtausbreitung zu verfügen [50]. Aber diese Fragen sind fachdidaktisch noch ungeklärt.

Auch wenn das im Lernprogramm verwendete Modell zur Erklärung der optischen Abbildung aus didaktischen Überlegungen nicht für die Primarstufe geeignet ist, haben wir es eingesetzt, nachdem es in Vorstudien erprobt wurde. Dort zeigte sich ein Wissenserwerb (vgl. [25]). Damit erscheint uns die Verwendung des Lernprogramms mit dem bisherigen sachstrukturellen Aufbau für Grundlagenstudien in der Primarstufe gerechtfertigt. Dieses curriculare und fachdidaktische Defizit wird in den folgenden Studien behoben werden, indem nur die Phänomenologie der optischen Abbildung mit der Lochkamera als Inhalt gewählt wird. Eine einfache Begegnung mit dem Phänomen – ohne eine modellbasierte Erklärung der optischen Abbildung – erscheint uns in der Primarstufe als ausreichend.

Insgesamt fügt sich mit der Annahme der zweiten Alternativhypothese und damit der Wirkung der Selbsterklärung an Bildern ein Teilergebnis in den Stand der Forschung zur Selbsterklärung im Elementar- und Primarbereich ([22], [25]): Das Hervorrufen von Selbsterklärungen an Bildern scheint für jüngere Kinder auch beim Physiklernen eine geeignete Methode zu sein. Das Induzieren von Selbsterklärungen an Bildern führt beim Lernen in der Domäne Physik zu einer kognitiven Aktivierung (diese haben wir natürlich nicht direkt, sondern nur indirekt gemessen). Die Frage, ob Selbsterklärungen in der Primarstufe wirksam sind, hängt damit vermutlich vom Medium und der Methode ab. Diese Aussage wäre durch weitere Studien zu untermauern. Offen ist auch die Frage, wie die Bilder für die Primarstufe gestaltet sein müssen und wie der Inhalt im Sachtext didaktisch gestaltet sein sollte.

Hinsichtlich der Wirkung von Handlungen beim Lernen sind wir erste Schritte gegangen. Die hierbei vorliegenden methodischen und theoretischen Pro-

bleme, die mit dem Begriff der ‚Handlung‘ einhergehen, sind nach unserer Einschätzung nach wie vor komplex, d. h. noch nicht auf operationalisierbare Komponenten heruntergebrochen. Einfaches instrumentelles Handeln als ‚Manipulation‘ im wortwörtlichen Sinn scheint als Begriff nicht auszureichen.

7. Literatur

- [1] Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht, Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- [2] Wopp, C. (1986): Unterricht, handlungsorientierter. In: Enzyklopädie Erziehungswissenschaften, Ziele und Inhalte der Erziehung und des Unterrichts, 3, 600-606
- [3] Wöll, G. (2011): Handeln: Lernen durch Erfahrung. Handlungsorientierung und Projektunterricht, Baltmannsweiler: Schneider
- [4] Möller, K. (2007): Handlungsorientierung im Sachunterricht. In: Kahlert, J. (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- [5] Bruner, J. (1996): The culture of education, Cambridge: Harvard university press
- [6] Reusser, K. (1998): Denkstrukturen und Wissenserwerb in der Ontogenese. In: Enzyklopädie der Psychologie, Wissen, 6, 115–166
- [7] Hofstein A.; Lunetta V. N. (2004): The laboratory in science education: foundation for the 21st century. In: Science Education 88, 28-54
- [8] Hopf, M. (2007): Problemlorientierte Schülerexperimente, Berlin: Logos
- [9] Ma, J.; Nickerson, J. V. (2006): Hands-On, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. In: ACM Computing Surveys 38, 3, 1–24
- [10] Stohr-Hunt, P. M. (1996): An analysis of frequency of hands-on experience and science achievement. In: Journal of Research in Science Teaching, 33, 101-109
- [11] Toplis, R. (2012): Students' Views About Secondary School Science Lessons: The Role of Practical Work. In: Research in Science Education, 42, 3, 531-549
- [12] Minner, D.; Levy, A.; Century, J. (2010): Inquiry-based Science Instruction – What is it and does it matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. In: Journal of Research in Science Teaching, 47, 4, 474-496
- [13] Abrahams, I.; Reiss, M. J. (2012): Practical Work: Its Effectiveness in Primary and Secondary Schools in England. In: Journal of Research in Science Teaching, 49, 8, 1035-1055
- [14] Kaiser, A.; Puls, B. (2012): Instruktion durch Sachunterrichtsfilme und handlungsorientierter eigenaktiver Sachunterricht im empirischen Vergleich. In: Giest, H.; Heran-Dörr, E.; Archie, C. (Hrsg.): Lernen und Lehren im Sachunterricht. Zum Verhältnis von Konstruktion und Instruktion. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- [15] Anderson, J. (2007): Kognitive Psychologie. J. Funke (Hrsg.), Berlin u. a.: Spektrum
- [16] Goldstein, B. (2011): Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs. H. Irtel (Hrsg.), Berlin u. a.: Spektrum
- [17] Roy, M.; Chi, M. (2005): The Self-Explanation Principle in Multimedia Learning. In: Mayer, R. E. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge u. a.: Cambridge University Press
- [18] Fonseca, B.; Chi, M. (2011): Instruction based on Self-Explanation. In: Mayer, E.; Alexander, P. A. (Hrsg.): Handbook of Research on Learning and Instruction. New York u. a.: Routledge
- [19] Rittle-Johnson, B. (2006): Promoting Transfer-Effects of Self-Explanation and Direct Instruction. In: Child Development, 77, 1, 1-15
- [20] Pine, K. J.; Messer, D. J. (2000): The effects of explaining another's actions on children's implicit theories of balance. In: Cognition and Instruction, 18, 1, 37-54
- [21] Mwangi, W.; Sweller, J. (1998): Learning to Solve Compare Word Problems: the Effect of Example Format and Generating Self-Explanations. In: Cognition and Instruction, 16, 2, 173-199
- [22] Calin-Jageman, R.; Ratner, H. (2005): The Role of Encoding in the Self-Explanation Effect. In: Cognition and Instruction, 23, 4, 523-543
- [23] Pillow, B.; Mash, C.; Aloian, S.; Hill, V. (2002): Facilitating Childrens Understanding of Misinterpretation: Explanatory Efforts and Improvements in Perspective Taking. In: The Journal of Genetic Psychology, 163, 2, 133-148
- [24] Ainsworth, S.; Loizou, A. (2003): The Effects of Self-Explaining When Learning with Text or Diagrams. In: Cognitive Science, 27, 4, 669-681
- [25] Starauschek, E.; Dockhorn, J. (2009): Physiklernen in der Primarstufe durch Selbsterklärungen mit Bildern. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Schwäbisch Gmünd 2008. Berlin: LIT
- [26] de Jong, T.; Ferguson-Hessler, M. (1996): Types and Qualities of Knowledge. In: Educational Psychologists, 31, 2, 105-113
- [27] Engelkamp, J.; Zimmer, H. (2006): Lehrbuch der kognitiven Psychologie, Göttingen u. a.: Hogrefe
- [28] Gruber, H. (2008): Lernen und Wissenserwerb. In: Schneider, W.; Hasselhorn, M. (Hrsg.), Handbuch der pädagogischen Psychologie. Göttingen u. a.: Hogrefe
- [29] Flavell, J. H. (1979): Metacognition and Cognitive Monitoring. A New Area of Cognitive-Development Inquiry. In: American Psychologists, 34, 10, 906-911

- [30] Schnotz, W. (2009): An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge
- [31] Faul, F.; Erdfelder, E.; Lang, A.-G.; Buchner, A. (2007): G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. In: *Behavior Research Methods*, 39, 175-191
- [32] Sedlmeier, P.; Renkewitz, F. (2008): Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie, München: Pearson
- [33] Berger, K. (2012): Bilder, Animationen und Notizen: Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik, Berlin: Logos
- [34] Bullinger, M. (2013): Beeinflussen Phänomenbegegnung und Selbsterklärung den Wissenserwerb von physikalischen Inhalten in der Primarstufe? Eine empirische Studie anhand der optischen Abbildung mit der Lochkamera (unveröffentlichte Masterthesis). Pädagogische Hochschule, Ludwigsburg
- [35] Wirtz, M.; Caspar, F. (2002): Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität, Göttingen: Hogrefe
- [36] Weiß, R. (2006): CFT 20-R. Grundintelligenztest Skala 2, Göttingen u. a.: Hogrefe
- [37] Kunter, M.; Schümer, G.; Artelt, C.; Baumert, J.; Klieme, E.; Neubrand, M.; Prenzel, M.; Schiefele, U.; Schneider, W.; Stanat, P.; Tillmann, K.-J.; Weiß, M. (2002): PISA 2000: Dokumentation der Erhebungsinstrumente, Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung
- [38] Fuß, S. (2006): Familie, Emotionen und Schulleistung: Eine Studie zum Einfluss des elterlichen Erziehungsverhaltens auf Emotionen und Schulleistungen von Schülerinnen und Schülern, Berlin: Waxmann
- [39] Altenburger, P. (2014): Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe: Ergebnisse einer Evaluationsstudie, Berlin: Logos
- [40] Deutsches Jugendinstitut (DJI) (2000): Wie Kinder multikulturellen Alltag erleben. Ergebnisse einer Kinderbefragung. Projektheft 4/2000. URL: http://www.dji.de/bibs/DJI_Multikulti_Heft4.pdf (Stand: 19.03.2015)
- [41] Bensen, M.; Frey, K. A.; Bos, W. (2008): Soziale Herkunft. In: Bos, W.; Bensen, M.; Prenzel, M.; Selter, C.; Walther, G. (Hrsg.): TIMSS 2007. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenz von Grundschulkindern im internationalen Vergleich. Münster: Waxmann
- [42] Starauschek, E. (2006): Der Einfluss von Textkohäsion und gegenständlichen externen piktoralen Repräsentationen auf die Verständlichkeit von Texten zum Physiklernen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 127-157
- [43] Kulgemeyer, C.; Starauschek, E. (2014): Analyse der Verständlichkeit naturwissenschaftlicher Texte. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): *Methoden in der Naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer
- [44] Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2011): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Heidelberg u. a.: Springer
- [45] Kleickmann, T.; Hardy, I.; Jonen, A.; Blumberg, E.; Möller, K. (2007): Learning Environments in Primary School Science. Scaffolding Students' and Teachers' Processes of Conceptual Development. In: Prenzel, M. (Hrsg.): *Studies on the educational Quality of Schools. The final Report on the DFG Priority Programme*. Münster: Waxmann
- [46] Hsin, C.-T.; Wu, H.-K. (2011): Using scaffolding strategies to promote young children's scientific understandings of floating and sinking. In: *Journal of Science Education and Technology*, 20, 656-666
- [47] Faust, W. (1990): Camera obscura. In: Wagenstein, M. (Hrsg.): *Kinder auf dem Wege zur Physik*. Weinheim u. a.: Beltz
- [48] Guesne, E. (1985): Light. In: Driver, R.; Guesne, E.; Tiberghien, A. (Hrsg.): *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press
- [49] Rice, K.; Feher, E. (1987): Pinholes and images: Children's conceptions of light and vision I. In: *Science Education*, 71, 629-639
- [50] Wiesner, H.; Claus, J. (1985): Vorstellungen zu Schatten und Licht bei Schülern der Primarstufe. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 13, 9, 318-322