

3 Gesamtdiskussion

3.1 Integration der Befunde und Kritik am Vorgehen

Die hier vorgestellte Studie weist darauf hin, dass der Einsatz anspruchsvoller Lernstrategien beim Umgang mit Repräsentationen (kognitive Aktivierung) zu einer signifikanten, wenn auch geringen Verbesserung der Physikleistung von Gymnasiasten in einem unmittelbar nachfolgenden Test führt, nicht jedoch zu einem höheren Lernzuwachs bezüglich des konzeptuellen Verständnisses oder zu einer Veränderung der Motivation.

Der Vergleich der beiden Studien innerhalb des Projekts zeigt darüber hinaus, dass Unterricht mit repräsentationsbezogene Aufgaben, welche Schülervorstellungen adressieren, zu einem signifikant höheren Lernerfolg bezüglich des konzeptuellen Verständnisses führt als Unterricht ohne Thematisierung von Schülervorstellungen. Dieser höhere Lernerfolg bleibt nachweislich mittelfristig erhalten.

Auch wenn die Analyse der Lernprozesse auf Basis einer Teilstichprobe wertvolle Hinweise liefert, dass der Umgang mit multiplen Repräsentationen entscheidend für den Lernerfolg ist, bleibt unklar, ob die geringen Effekte des Treatments darauf zurückzuführen sind, dass der Ansatz des Lernens mit multiplen Repräsentationen durch kognitiv aktivierende Aufgaben nur einen geringen zusätzlichen Lernerfolg bringt, oder darauf, dass sich die Interventionsbedingungen zu wenig unterscheiden haben, also auf die Operationalisierung der Bedingungen.

Ein mögliches Problem bei der Operationalisierung des Treatments könnte einerseits darin bestanden haben, dass die Schüler sowohl in der Treatment- als auch in der Kontrollbedingung gleichermaßen kognitiv aktiviert wurden: Zwar wurden die Schüler in der Kontrollbedingung in geringerem Maß angehalten, sich aktiv mit Repräsentationen auseinanderzusetzen, sie wurden jedoch ebenfalls mit unterschiedlichen Darstellungsformen konfrontiert, welche den Umgang mit Schülervorstellungen thematisieren. Ein Beispiel hierzu findet sich in Arbeitsblatt 7 des Unterrichtsmaterials: den Abdeckaufgaben. So brauchte die Kontrollgruppe die entsprechende Strahlenkonstruktion nicht selbst zu erarbeiten, sie wurde jedoch durch gezielte Hilfen aktiviert, diese zu verstehen.

Da die Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen u.a. von Lipowsky (2009, S. 94) sowie von Baumert und Kunter (2011, S. 13) selbst als Maßnahme zur kognitiven Aktivierung genannt wird, könnte die Thematisierung von Schülervorstellungen alleine schon zu einem entsprechenden Lernerfolg in der Kontrollbedingung geführt haben, sodass keine Unterschiede beim Vergleich der beiden Bedingungen nachweisbar waren.

Andererseits kann als Verdienst dieser Studie herausgestellt werden, dass der Kontrollgruppe ebenfalls die gleichen Lerninhalte vermittelt wurden. So stellt die Bildung einer Kontrollgruppe im Bereich der Forschung zu Conceptual Change eine große Herausforderung dar (vgl. dazu Limón, 2001, im Überblick). Forschungsansätze, welche die Thematisierung eines Lerninhalts mit einer Kontrollgruppe vergleichen, in denen die Lerninhalte nicht parallelisiert sind, sehen sich der Kritik eines „unfairen“ Vergleichs ausgesetzt. Kritiker können Folgendes anmerken: Wenn ein bestimmter Inhalt thematisiert wird, ist auch zu erwarten, dass dieser Inhalt zumindest von einem Teil der Schüler auch verstanden und wiedergegeben wird, solange der Unterricht ein Mindestmaß an Qualität erfüllt.

Kritikern, die dieser Argumentationsweise folgen, kann jedoch entgegen gehalten werden, dass der Lernerfolg gerade im Bereich der Forschung zum Konzeptwechsel nicht auf den einfachen Zusammenhang, *die Thematisierung von Schülervorstellungen führe zur Überwindung derselben und resultiere in einem höheren konzeptuellen Verständnis*, heruntergebrochen werden kann. So belegen zahlreiche Studien, dass das Thematisieren von Schülervorstellungen alleine, z.B. in Form von Demonstrationsexperimenten, in etlichen Fällen nicht zu einem messbaren Lernerfolg führt und schon gar nicht zu einem Lernerfolg, der zeitlich stabil bleibt (vgl. auch Kapitel 1.2 Die Rolle von Konzeptwechseln in Lehr-Lernprozessen).

Insofern können die Ergebnisse der Pilotstudie und die Ergebnisse zum Stichprobenvergleich (in welchem Unterricht mit und ohne Thematisierung von Schülervorstellungen verglichen wurde) durchaus als Belege für die Wirksamkeit der hier dargestellten Lehr-Lernstrategie gewertet werden. Zumal die jeweilige Vergleichsgruppe ebenfalls in demselben Zeitumfang Unterricht zum gleichen Lernthema erhielt und sich der Lernerfolg als mittelfristig stabil erwies. Dieser Unterricht führte – wie ebenfalls, durch die Ergebnisse der Leistungstests in beiden Studien (Pilot- und Hauptstudie) belegt wurde – zu einem signifikanten Lernerfolg prä – post (Pilot- und Hauptstudie) bzw. auch prä – follow-up (erfasst in der Hauptstudie).

Aus fachlich wie forschungsmethodischer Sicht kritisch zu bewerten sind die Befunde zum Einsatz der Predict-Observe-Explain-Sequenz (POE-Sequenz). So

ergab der Vergleich des variierten Treatments, in dem die Sequenz zum Einsatz kam, mit dem regulären Treatment keinen signifikant höheren Lernerfolg, obgleich etliche Studien die Effektivität des Ansatzes belegen (White & Gunstone, 1992; Palmer, 1995; Kearney et al., 2001; Crouch et al., 2004). Es steht zu vermuten, dass die „Dosis“ zu gering war: So kam die Sequenz nur in zwei Unterrichtsstunden der Intervention zum Einsatz, wobei jeweils in einer Stunde nur 10 Minuten und in einer späteren Stunde nur 25 bis 30 Minuten aufgewendet wurden, also insgesamt 35 bis 40 Minuten von insgesamt 315 Minuten der Gesamtzeit der Intervention.

Gegebenenfalls hätte dem Einsatz der Sequenz, insbesondere innerhalb der Stunden, mehr Zeit eingeräumt werden müssen, damit die Vorannahmen der Schüler intensiver diskutiert werden können und die Wirkung der POE-Sequenz zum Tragen kommt. Diese zeitliche und inhaltliche Intensivierung der Sequenzen wiederum wäre aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der Kontrollgruppe mit anderweitigen Problemen verbunden gewesen (ungleiche Lernzeit für Treatment- und Kontrollgruppe oder mangelnde Thematisierung des virtuellen Bildes in der Treatmentgruppe). Künftige Forschung könnte an diesem Aspekt unter der Perspektive des Lernens mit multiplen Repräsentationen ansetzen, um den Einsatz der POE-Sequenz unter der Perspektive des Lernens mit multiplen Repräsentationen unter optimierten Bedingungen zu erforschen.

Schließlich ergaben sich bezüglich der Wirkung auf die Lernmotivation, welche nicht im Mittelpunkt des Forschungsinteresses dieser Studie stand, keine Unterschiede in den Bedingungen (auch keine zu Ungunsten der Treatmentbedingung).

3.2 Ausblick

Im Mittelpunkt der vorliegenden Studie stand der Vergleich der Lernergebnisse (summative Evaluation), künftige Forschung könnte vertieft die kognitiven Prozesse in den Mittelpunkt rücken, welche den kompetenten Umgang mit Repräsentationen beeinflussen. Ein erster Schritt in diese Richtung wurde mit der Umsetzung des Forschungsziels der Analyse der Lernprozesse auf Basis der stichprobenartigen Auswertung der Arbeitsblätter vorgenommen. Alternativ könnten die Interaktionen der Schüler bei der Auseinandersetzung mit den Lerninhalten in der Peergruppe auf Video aufgenommen werden. Mittels eines Kategoriensystems zum Umgang mit unterschiedlichen Repräsentationsformen könnte analysiert werden, welche Repräsentationsformen und welche Prozesse beim Übersetzen von Repräsentationen mit komplementärem oder äquivalentem Informationsgehalt (vgl. hierzu Kapitel 1.1.4.1 Funktionen von multiplen Repräsentationen)

für die Förderung der Physikleistung und das konzeptuelle Verständnis besonders lernwirksam sind.

Eine beispielhafte Studie, in der ein ähnliches Vorgehen zur Analyse der verwendeten Repräsentationen angewandt wurde, findet sich bei Botzer und Reiner (2005). Die hierzu vorliegende Datenbasis bezieht sich jedoch auf eine sehr kleinen Stichprobe ($N = 16$) und eine Lerneinheit zu Magnetfeldern für 15- bis 16-jährige Schüler. Die Generalisierbarkeit der Ergebnisse für den Physikanfangsunterricht in der Sekundarstufe I im Bereich der Strahlenoptik ist somit eingeschränkt. Hier könnte eine Anschlussstudie ansetzen, um die Ergebnisse auf einer größeren Datenbasis zu prüfen.

Um die Lösungsprozesse der Schüler beim Bearbeiten der Tests besser kennenzulernen, könnten des Weiteren in kleineren Stichproben außerhalb des Unterrichts Interviews mit der Methode des lauten Denkens durchgeführt werden.

Video- und Interviewaufzeichnungen könnten auch dabei hilfreich sein zu klären, ob sich Konzeptwechselprozesse im Mittelstufenunterricht besser durch die Restrukturierung inadäquater Rahmentheorien (Vosniadou & Brewer, 1992) oder durch die Reorganisation von Wissensfragmenten (diSessa, 1983, 1988, 1993) beschreiben lassen, was die Perspektive auf psychologische Grundlagenforschung zu Lernprozessen im Bereich Konzeptwechsel lenkt.

Unmittelbar im Anschluss an die positiven Ergebnisse des Stichprobenvergleichs der Studien „Schülvorstellungen („SV“) und „Kohärenz („Ko“) ergibt sich die Frage, ob der mittelfristig nachgewiesene signifikant höheren Lernzuwachs für die Intervention „SV“ auch langfristig, z.B. nach einem oder sogar nach mehreren Jahren, nachweisbar wäre.

Ebenfalls könnte untersucht werden, ob Aufgaben, die Schüler durch kooperatives Bearbeiten von Repräsentationen kognitiv aktivieren, physikalische Phänomene im Kontext von (Schüler-)Experimenten zu verstehen, den Effekt auf die Lernleistung verstärken und sich positiv auf die Motivation der Schüler auswirken. Es sei an dieser Stelle auf diesbezügliche Forschungsergebnisse von Shayer und Adhami (2007) für den Bereich Mathematik hingewiesen, welche in Kapitel 1.3.3 Kognitive Aktivierung vorgestellt werden.

Neben dem kognitionspsychologischen Fokus auf Konzeptwechsel, der in dieser Arbeit im Mittelpunkt stand, wurden Prozesse des Konzeptwechsels u.a. aus soziokonstruktivistischer Perspektive untersucht. Die soziokonstruktivistische Perspektive geht davon aus, dass Konzepte immer in kognitive, und linguistische und spezifische situationale Kontexte geteilter sozialer Praktiken eingebunden sind. So argumentieren Halldén (1999) sowie Caravita und Halldén (1994), dass Probleme der Lernenden beim Anwenden wissenschaftlicher Konzepte

vorwiegend Probleme der Konzeptualisierung seien. Sogenannte „Fehlvorstellungen“³⁸ resultierten aus Schwierigkeiten der Lernenden, passende Kontexte für spezifische Konzepte zu erkennen. Wenn keine Hinweise zur adäquaten Kontextualisierung zur Verfügung stünden, neigten die Lernenden dazu, auf die ihnen vertrautesten Kontextualisierungen zurückzugreifen, auch wenn diese manchmal wenig geeignet seien. Das Vermitteln von Konzepten sollte daher auf eine passende Kontextualisierung bei der Anwendung der Konzepte zielen. Nicht das Wissen solle verändert werden, sondern die Situierung des Wissens. Lernende sollten die Kompetenz erwerben, zwischen verschiedenen Kontexten zu unterscheiden und zu erkennen, welche Konzepte in welcher Situation nützlich seien (vgl. auch Spada, 1994).

In Bezug auf das Lernen mit multiplen Repräsentationen könnte im Anschluss an diese Perspektive auf Prozesse des Konzeptwechsels ein Ansatz darin bestehen, die Verwendung von Repräsentationen als fachspezifische Werkzeuge zu interpretieren. Schülern sollte vor diesem Hintergrund nicht nur der Werkzeuggebrauch vermittelt, sondern auch ein adäquater Kontext geboten werden, um sie von der Nützlichkeit Ihres Werkzeugs zu überzeugen und Anreize zum diesbezüglichen Expertiseerwerb zu setzen.

Offen bleibt beim genannten Punkt, wie die Wahl eines geeigneten Kontextes mit dem expliziten Thematisieren des Umgangs mit multiplen Repräsentationen in Bezug auf die Förderung des konzeptuellen Verständnisses der Schüler interagiert.

Vor dem Hintergrund, dass sowohl Forschungsergebnisse zum Umgang mit Repräsentationen (vgl. Prain & Waldrip, 2006; Botzer & Reiner, 2005; Waldrip et al., 2010; Hubber et al., 2010; Mortimer & Buty, 2009) als auch Ergebnisse zum Thema kognitiver Aktivierung auf die Lernwirksamkeit der Diskussion von Lösungsstrategien in der Peergruppe im Unterricht hinweisen, könnte die Analyse dieses Aspekts ein künftiges Forschungsfeld bilden.

Obgleich es in der dargestellten Intervention in der Unterrichtspraxis zu Diskussionen der Schüler untereinander und Diskussion der Klasse mit den Fachlehrern kam, wurde diese Lehrstrategie nicht gezielt als Maßnahme zur kognitiven Aktivierung eingesetzt.

Der Neuigkeitswert eines solchen Ansatzes bestünde in der Analyse der Lernprozesse unter der Perspektive „Umgang mit multiplen Repräsentationen zur Förderung des konzeptuellen Verständnisses“.

38 Englisch „misconception“

Forschungsergebnisse, welche in die gleiche Richtung weisen, sich jedoch nicht auf das Lernen mit multiplen Repräsentationen beziehen, stammen aus Studien, welche Konzeptwechsel unter dem Fokus epistemologischer Überzeugungen beleuchteten.

So belegten Pintrich, Marx und Boyle (1993), dass Lernende, welche der Überzeugung sind, dass Fähigkeiten variabel und Wissen vorläufig ist und welche bereit waren, das vermittelte Wissen kritisch zu hinterfragen, stärker involviert waren und häufiger zu einem Konzeptwechsel gelangten als Lernende, die eine gegenteiligen Sichtweise einnahmen.

3.3 Handlungsempfehlungen für die Gestaltung von Lernumgebungen

Abschließend werden einige Handlungsempfehlungen unter der Perspektive des Lernens mit multiplen Repräsentationen zur Förderung des Verstehens physikalischer Konzepte zusammengetragen oder gefolgert. Etliche Handlungsempfehlungen für die Gestaltung von Lernumgebungen und das Begleiten von Lernprozessen ergeben sich aus den Theorien und empirischen Befunden, welche im ersten Teil dieser Arbeit dargestellt wurden. Weitere Handlungsempfehlungen können auf Basis der empirischen Ergebnisse dieser Studie(n) (zweiter Teil dieser Arbeit) abgeleitet werden.

Folgende allgemeine Handlungsempfehlungen ergeben sich aus den im ersten Teil dieser Arbeit vorgestellten empirischen Befunden:

- Im Anschluss an die Cognitive Load Theory sollte bei Gestaltung der Lernumgebung darauf geachtet werden, den Lernenden eine geeignete Menge an Material und Information auf einmal zu präsentieren (maximal ca. 7 neue Informationseinheiten), um eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses zu vermeiden.
- Im Hinblick auf den Umgang mit Repräsentationen könnten insbesondere schwächere Lerner gezielte Unterstützung benötigen, die sie bei der komplexen (Doppel-) Anforderung entlasten, Fach- und Repräsentationskompetenz zu erwerben. Beide Kompetenzen stehen sich nicht gegenüber, sondern bedingen sich wechselseitig, da Fachwissen in Form von internen Repräsentationen im Langzeitgedächtnis gespeichert wird und als Baustein für mentale Modelle bei der jeweiligen konkreten Problemstellung dient.
- Die verwendeten Repräsentationen sollten auf das Vorwissen der Lernenden zugeschnitten werden, um auf diese Weise einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses durch das Darbieten weniger zentraler Informationen vorzubeugen. In

Anlehnung an das Structure-Mapping Prinzip³⁹ nach Schnotz (2005), genügt fortgeschrittenen Lernern vermutlich eine sehr aussagekräftige Repräsentation für die Bearbeitung, welche durch einen hohen Abstraktionsgrad eine hohe Informationsdichte aufweist (in diesem Kontext z.B. das Linsengesetz)⁴⁰, während Novizen und schwächere Lerner strukturierte Lernmaterialien benötigen, die durch Lernhilfen ergänzt werden (z.B. Hilfen zum Umgang mit Gleichungen in Bezug auf die Anwendung des Abbildungsgesetzes).

- Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Studie entspricht diese Empfehlung damit auch der Beobachtung der Gesamtschullehrer, die mehr Möglichkeiten zur Binnendifferenzierung bei heterogenen Lernvoraussetzungen gefordert hatten.
- Für erfolgreiches Schlussfolgern und Problemlösen hatten sich auf Basis der Expertiseforschung zwei Faktoren als entscheidend herausgestellt: Erstens das Finden einer zutreffenden und zweckmäßigen Repräsentation der Ausgangslage und zweitens die Anwendung von Lösungsstrategien und Regeln auf das Lernmaterial, sodass schrittweise über Zwischenstufen der Zielzustand erreicht werden kann.
- Ein Ansatzpunkt, der diesen Aspekt aufgreift, könnte in der Entwicklung von Aufgaben bestehen, die Schüler ermutigen, an (offenen) physikalischen Problemstellungen zu arbeiten, die durch unterschiedliche Repräsentationsformen dargestellt werden können. Im Rahmen des Unterrichts sollten die Schüler verschiedene Lösungswege diskutieren und es sollte thematisiert werden, welche Lösungswege sich als elegante und zeitsparende Strategien herausstellen. Beispiele zu dieser Thematik in Bezug auf das Finden einer geeigneten Repräsentation der Ausgangslage aus den Bereichen Mathematik und Physik finden sich bei Schnotz et al. (2011).
- Die Diskussion unterschiedlicher Repräsentationsformen und Lösungswege schließt dabei auch an Befunde von Prain und Waldrup (2006), Botzer und Reiner (2005), Waldrup et al. (2010), Hubber et al. (2010) sowie von Mortimer und Buty (2009) an, welche in Studien mit kleinen Stichproben (meist auf Basis qualitativer Forschungsmethoden) zu dem Schluss kamen, das Generieren eigener Repräsentationen und ihre Diskussion im Unterricht als effektive Lernstrategie zu empfehlen.

³⁹ Stehen mehrere Bilder mit äquivalenten Inhalten zur Verfügung, sollte dasjenige ausgewählt werden, welches die Wissenseinheit am angemessensten repräsentiert.

⁴⁰ $\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$ aus dem Linsengesetz kann man leicht die Abbildungsgleichung folgern und noch weitere Berechnungen ausführen, welche die Abbildungsgleichung nicht ermöglicht.

- Forschungsergebnisse zum Thema kognitive Aktivierung weisen in die gleiche Richtung: So belegten Studien von Stein und Lane (1996), Hiebert und Wearne, (1993), Klieme et al. (2006), Shayer und Adhami (2007) sowie Baumert und Kunter (2011), dass Lernende höhere Lernerfolge erzielten, wenn sie gefördert wurden, verschiedene Lösungswege zu erforschen, Zusammenhänge zwischen diesen Wegen herzustellen und wenn sie einen prozessorientierten Umgang mit Problemen pflegten, bei dem sie angeregt wurden, inhaltliche Konzepte und Ideen intensiv zu diskutieren (Hiebert & Wearne, 1993).
- Im Anschluss an Prain und Waldrip (2006), Waldrip et al. (2010) sowie Mortimer und Buty (2009) sollte zudem das Herstellen von Verbindungen zwischen unterschiedlichen Repräsentationen, die in unterschiedlichen Formaten gegeben werden oder auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen liegen, gefördert werden. Forschungsergebnisse von Scheid (2013) aus dem Projekt, welchem auch diese Studie zugeordnet war, bekräftigen die Effektivität dieser Strategie.

Speziell zur Förderung des konzeptuellen Verständnisses wird empfohlen:

- Lerninhalte auf die vorhandenen Lernvoraussetzungen abzustimmen;
- den Lernenden bewusst zu machen, dass sie ihre bisherigen Annahmen überprüfen müssen, ohne sie zu stark überfordern, so dass die neuen Erklärungen eine echte verständliche Alternative bieten (eine Konsequenz, die mehr oder weniger aus allen vorgestellten Konzeptwechsel-Ansätzen gezogen werden kann);
- Die bisherigen Sichtweisen der Lernenden zu reflektieren und im Licht der neuen Annahmen zu reinterpreten, so dass die Lernenden ihr Denken über einen Sachverhalt von inadäquaten (oft explizit nicht zugänglichen) Grundannahmen befreien können, siehe Rahmentheorieansatz nach Vosniadou und Brewer (1992);
- Lernende zu aktivieren, ihre bisherigen Annahmen kritisch zu durchdenken und ihre Wissensbestände auf Kohärenz hin zu überprüfen, siehe Konzeptwechsel als Reorganisation von Wissensfragmenten nach diSessa (1983, 1988, 1993); hierbei könnte das Arbeiten mit externen Repräsentationen (vgl. Cox, 1999) zur Veranschaulichung des eigenen Wissensstandes hilfreich sein;
- und last but not least, explizit das Arbeiten mit multiplen Repräsentationen zu fördern (vgl. Wilhelm, 2005; Prain & Waldrip, 2006; Botzer & Reiner, 2007; Waldrip et al., 2010; Mortimer & Buty, 2009). Ein Befund, der ebenfalls durch Ergebnisse des Stichprobenvergleichs der Studien „Schülervorstellungen“ und „Kohärenz“ gestützt wird, in dem sich die Kombination aus Lernen mit

multiplen Repräsentationen und Thematisieren von Schülervorstellungen als wirksame Methode für einen nachweislich mittelfristig stabilen Lernzuwachs herausgestellt hatte.

Folgende Handlungsempfehlungen ergeben sich aus den empirischen Befunden dieser Arbeit:

1. Auf Basis der Ergebnisse der Hauptstudie wird die Empfehlung bekräftigt, anspruchsvolle Lernstrategien beim Lernen aus Experimenten im Physikunterricht mit multiplen Repräsentationen zu verwenden, welche gezielt auf Unterschiede im Leistungsniveau der Schüler abgestimmt sind.
 - So zeigte sich in den dargestellten Ergebnissen ein schwacher, jedoch signifikanter Effekt des Treatments für den Umgang mit repräsentationsbezogenen Aufgaben bei Gymnasiasten. Aufgrund der geringen Effektstärke erschien dieser Befund zunächst für sich genommen für die Unterrichtspraxis wenig bedeutsam. Unter Berücksichtigung des ATI-Effekts zwischen Fachnoten und Lernzuwachs beim Wissen und Problemlösen, werden beide Befunde zusammen als Hinweis gewertet, das Leistungsniveau der Schüler gezielt zu berücksichtigen.
 - Während Schüler mit guten Lernvoraussetzungen signifikant von kognitiv aktivierenden Aufgaben beim Umgang mit Repräsentationen profitieren, benötigen Schüler mit ungünstigeren Lernvoraussetzungen (geringere kognitive Fähigkeiten und schwächere Schulleistungen) vermutlich verstärkte Hilfestellungen und gezielte Hinführungen zum Umgang mit Repräsentationen. Allgemeine Forschungsergebnisse zum Thema der Individualisierung als ein Merkmal für Unterrichtsqualität finden sich bei Helmke (2009).
2. Des Weiteren empfiehlt es sich, weitverbreitete Schülervorstellungen unter der Perspektive des Lernens mit multiplen Repräsentationen zu thematisieren. So profitierten Schüler aller Leistungsbereiche und berücksichtigten Schultypen mittelfristig von dieser Strategie.

Fazit: Dieses ermutigende Ergebnis weist darauf hin, dass es durch gezielte Aufgaben möglich ist, ein physikalisches Grundverständnis zu vermitteln, das jenseits von spezifischen Aufgaben im Physikunterricht als ein Baustein naturwissenschaftlicher Grundbildung (vgl. hierzu Rönnebeck et al., 2010) verstanden werden kann, welche Schülern die Teilhabe an einer von Naturwissenschaften und Technik geprägten Welt ermöglichen soll.