

Lernen mit optischen Blackbox-Experimenten

Sven Schimek, Knut Wille, Henning Rode und Gunnar Friege

Leibniz Universität Hannover, Institut für Didaktik der Mathematik und Physik
AG Physikdidaktik, Welfengarten 1a, 30167 Hannover
schimek@idmp.uni-hannover.de, wille@idmp.uni-hannover.de
rode@idmp.uni-hannover.de, friege@idmp.uni-hannover.de

Kurzfassung

Optische Blackbox-Experimente sind in der Physikdidaktik insbesondere aus Wettbewerben bekannt. Es existieren verschiedene Vorschläge zur Gestaltung solcher Experimente, jedoch ist ihr Einsatz in der schulischen Praxis nur wenig evaluiert. Ihnen werden jedoch mögliche positive Effekte auf Lernerfolg und Motivation zugeschrieben (vgl. [1]).

In einer ersten Studie wurde der Einsatz im 6. Jahrgang an Gymnasien erprobt und hinsichtlich Bearbeitungserfolg, Motivation und Gestaltung der Lernumgebung evaluiert. Dabei wurde festgestellt, dass vorhandene Gender-Gaps hinsichtlich spezifischer Motivationsskalen im Verlauf der Intervention nicht mehr aufgetreten sind. Eine Replikation der ersten Studie mit älteren Lernenden soll in Studie 2 darüber Aufschluss bieten, ob dieses Phänomen altersklassenspezifisch ist oder permanent auftritt. In der quasi-experimentellen Studie 3 werden die zuvor entwickelten Experimente im Rahmen des Productive Failure Ansatzes getestet und so eine mögliche Adaption des aus dem Mathematikunterricht bekannten Verfahrens (vgl. [2]) geprüft. Aufgrund der andauernden Erprobung werden Studien 2 und 3 nur knapp umrissen.

1. Theoretischer Hintergrund

Eine Blackbox bezeichnet ein Experiment, dessen innere Struktur nicht zugänglich ist und lediglich aufgrund der Betrachtung des Input-Output-Verhaltens erschlossen werden kann (vgl. [3]). Während dieser Aufgabentyp in Wettbewerben häufig eingesetzt wird, ist der Einsatz in der schulischen Praxis kaum evaluiert. Im Gegensatz zu elektrischen Blackboxes (vgl. [1], [4]) ist die Gestaltung optischer Blackboxes wenig betrachtet. Es gibt jedoch Vorschläge zum Design eben solcher Experimente (Abb. 1, vgl. [5]).

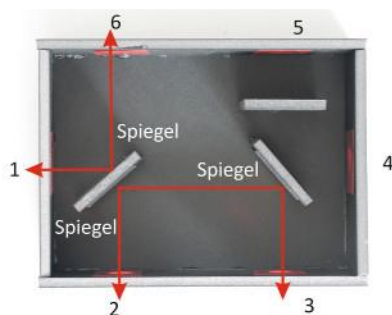


Abb. 1: Beispielstruktur einer optischen Blackbox

Der unterrichtliche Einsatz kann vielfältig erfolgen: Zur Erarbeitung von Aspekten der „Natur der Naturwissenschaften“ (NoS) können Blackboxes genutzt werden (u.a. „Mystery-Tube“, vgl. [6]), ebenso weisen Berge und Volkmer auf einen möglichen Einsatz in der Lernerfolgsmessung hin (vgl. [7]). Mie [1] benennt mit Erarbeitung und Übung ver-

schiedene unterrichtliche Situationen, in welchen Blackboxes einsetzbar sind.

Hinsichtlich der konkreten Gestaltung der Lernumgebung, insbesondere der erforderlichen Instruktion, liegen keine empirischen Befunde vor.

Die Betrachtung der Motivation der Lernenden erfolgt aufgrund der fehlenden empirischen Studien bezüglich dieses Aufgabentyps und unklaren Literaturlage: Cimanowski weist darauf hin, dass Lernende den Rätselcharakter des Experiments hervorheben und die Lösung dieser Aufgaben als Detektivspiel erfahren (vgl. [8]). Dem entgegen steht die gleichförmige Darbietung des Aufgabentyps, welche nur geringe Neugier in Lernenden erweckt (vgl. [9]). Während der fehlende persönliche Bezug zu weniger Interesse an dem Unterrichtsgegenstand führen kann, attestiert Hepp, dass „durch Abweichungen von gewohnten Arbeitsmustern Neugier geweckt“ werden kann (vgl. [9]).

Zur Betrachtung der Motivation wird auf einen evaluierten Kurzfragebogen (vgl. [10]) zurückgegriffen, welcher unter anderem situationales Interesse erfasst und Items aus Rheinbergs Flow-Skala enthält. Letztere gestattet eine Einordnung bezüglich Passung von Anforderung der Aufgabe und Fähigkeit der Lernenden, welches für ein Flow-Erleben vorausgesetzt wird (vgl. [11]).

Um die Experimente im schulischen Alltag integrieren zu können, sollten sie im Idealfall kein Geschlecht bevorzugen und motivierend wirken. In der Sekundarstufe 1 liegen unterschiedliche Befunde hinsichtlich bestehender Gender-Gaps vor. Die Pubertät wird als ein möglicher Zeitpunkt benannt, zu welchem dieser Unterschied auftritt (vgl. [12]). Jüngeren Schülern wird dabei kein Gender-Gap zugeschrieben; Pollmeier [13] verweist jedoch darauf, dass das situationale Interesse beim Übergang vom Sach- zum Fachunterricht allgemein abnimmt. Für ältere Schüler weisen unterschiedliche Studien Gender-Gaps hinsichtlich gezeigten Fachwissens und situationalen Interesses nach. Zur Verringerung des Unterschieds werden insbesondere lebensweltlichen Bezug, interessante Lernanlässe und Anwendungsbezug als Voraussetzung für gender-gerechten Unterricht benannt ([14]).

2. Forschungsfragen

Neben der grundsätzlichen Handhabbarkeit dieser Blackbox-Experimente steht auch die Gestaltung einer förderlichen Lernumgebung im Vordergrund. Die Schwerpunkte liegen daher auf den folgenden drei Forschungsfragen:

- Weisen die optischen Blackboxes einen angemessenen Schwierigkeitsgrad auf?
- Erleben die Schülerinnen und Schüler in der Jahrgangsstufe 5/6 und der Jahrgangsstufe 8/9 die Arbeit mit den Blackboxes als positiv und interessant?
- Können die Blackboxes im Productive Failure Ansatz genutzt werden?

3. Studie 1 – Einsatz optischer Blackboxes im Anfangsunterricht

In der ersten Studie steht die Eignung dieses Experimenttyps für den schulischen Einsatz im Vordergrund. Der Schwerpunkt dieser Darstellung liegt auf Motivation und Gender-Aspekten. Auf eine differenzierte Darstellung, auch im Hinblick auf die Gestaltung einer lernförderlichen Umgebung, wird hier nicht eingegangen.

Zur Ermittlung des Schwierigkeitsgrades wurden die Dokumentationsbögen hinsichtlich Beobachtung und Erläuterung durch geschulte Rater bewertet. Die in beiden Kategorien erzielten Bearbeitungserfolge sind in Abb. 2 dargestellt. Dabei entspricht ein niedriger Score einem hohen Schwierigkeitsgrad.

Die optischen Blackboxes weisen hinsichtlich Beobachtung und Erläuterung weder Boden- noch Deckeneffekte auf, ihr Schwierigkeitsgrad ist für den 6. Jahrgang angemessen ([5]).

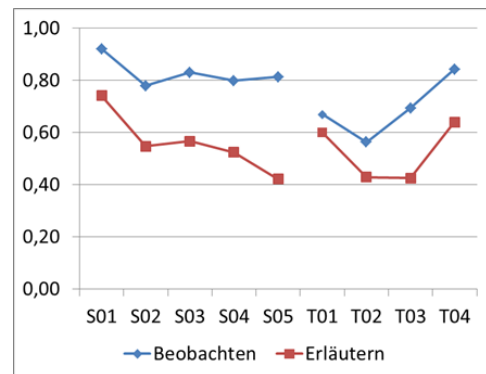


Abb. 2: Lösungshäufigkeit hinsichtlich Beobachtung und Erläuterung in der ersten (S) und zweiten (T) Sequenz

Zur Darstellung der Motivation wurden die von Mezes et al. verwendeten Skalen ([10]) leicht modifiziert. Im Gegensatz zu Mezes et al. wird jedoch hinsichtlich des Flow-Erlebens zwischen Qualität der Instruktion und des wahrgenommenen Beschäftigungsgrades differenziert. Die Ausprägung auf der jeweiligen Skala wird durch Mittelwertbildung über die assoziierten Items vorgenommen und ist auf einer fünfstufigen Skala dargestellt (1: minimale Ausprägung, 5: maximale Ausprägung). Im Folgenden wird der Schwerpunkt auf Gender-Aspekte gelegt.

Die Entwicklung der Skala Interesse und Spaß (IuS) zeigt zu Beginn ein hochsignifikantes Gender-Gap ($t(221)=3,747$, $p=0,000$), welches zum Abschluss des Einsatzes nicht mehr so stark ausgeprägt ist ($t(203)=1,244$, $p=0,215$). Die Abnahme des Gender-Gaps ist hier auf die signifikante Verbesserung der Mädchen zurückzuführen (Abb. 3).

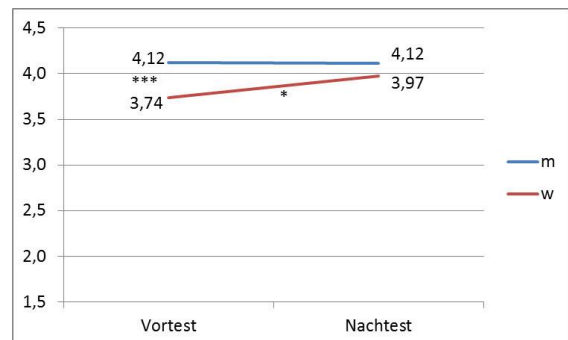


Abb. 3: Entwicklung der Skala Interesse und Spaß nach Geschlecht

Die Erfolgszuversicht (HaE) nimmt sowohl bei männlichen als auch weiblichen Lernenden im Pre-Post-Vergleich signifikant zu. Der eingangs zu beobachtende Gender-Gap ($t(225)=3,934$, $p=0,000$) nimmt zwar ab, bleibt jedoch signifikant ($t(201)=2,847$, $p=0,005$). Dieses ist auf eine stärkere Zunahme der Erfolgszuversicht der Schülerinnen zurückzuführen (Abb. 4).

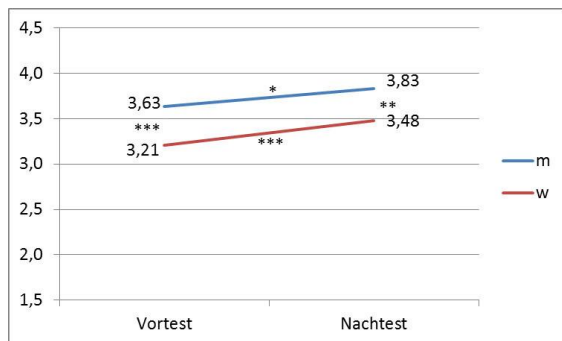


Abb. 4: Entwicklung der Skala Hoffnung auf Erfolg (HaE) nach Geschlecht

4. Studie 2 – Replikation von Studie 1 in den Jahrgängen 8 und 9

Zur Kontrolle des in Studie 1 auftretenden Gender-Gaps wird eine Replikation in der 8./9. Klasse durchgeführt. Hier soll untersucht werden, ob es bezüglich des auftretenden Gender-Gaps in Studie 1 einen altersklassenspezifischen Unterschied gibt. Erwartet wird, dass der Gender-Gap aus Studie 1 wiederholt nachweisbar ist und Blackboxes auch im höheren Jahrgang zu einem gender-gerechten Unterricht beitragen können.

In der Replikation werden Design und Sequenzierung beibehalten. Die Zusammensetzung der Gruppen erfolgt derart, dass gleichgeschlechtliche Teams gebildet werden, um die geschlechtsspezifische Auswertung zu ermöglichen. Zur Vergleichbarkeit der beiden Studien wurden dieselben fünfstufigen Motivationsfragebögen genutzt. Der erste Teil der Erhebung ergab eine allgemein verschlechterte Ausprägung der Skala „Interesse und Spaß“ im Vergleich zu Studie 1 (Mittelwert bei Studie 1: 4, bei Studie 2: 3,6).

In der vorliegenden Stichprobe (N=100) verzeichnen Schülerinnen einen signifikanten Anstieg der Ausprägung von Interesse und Spaß ($t(49)=3,431$, $p=0,000$), wohingegen sich die Einstellung der Schüler nicht signifikant ändert ($t(49)=1,403$, $p=0,161$). Zu den einzelnen Erhebungszeitpunkten liegt jedoch kein signifikanter Gender-Gap vor (Abb. 5). Die Ausprägung der jeweiligen Motivationskalen ist schwächer als im 6. Jahrgang. Bei Betrachtung auf Klassenebene des 8./9. Jahrgangs verhält sich die Motivationsentwicklung in einer Teilpopulation der SuS konträr zum 6. Jahrgang. In Studie 1 hat sich im Post-Test der Gender-Gap zwischen Schülerinnen und Schülern geschlossen, während er sich in Studie 2 in einer Teilpopulation (N=40, Abb. 6) jedoch vergrößert hat ($t_{\text{vor}}(39)=2,143$, $p=0,034$; $t_{\text{nach}}(39)=3,218$, $p=0,002$). Dies ist auf die Verbesserung der Motivation der männlichen Schüler zurückzuführen, während die Motivation der weiblichen Schülerinnen nahezu gleich bleibt.

Eine abschließende Einordnung ist erst nach vollständiger Datenerhebung und -analyse möglich. Die Entwicklung der Skala Hoffnung auf Erfolg ähnelt jener des 6. Jahrgangs; sowohl im Vor- als auch Nachtest liegt ein signifikanter Gender-Gap vor. Im Vergleich nimmt die Hoffnung auf Erfolg bei männlichen und weiblichen Lernenden zu, der signifikante Unterschied bleibt bestehen.

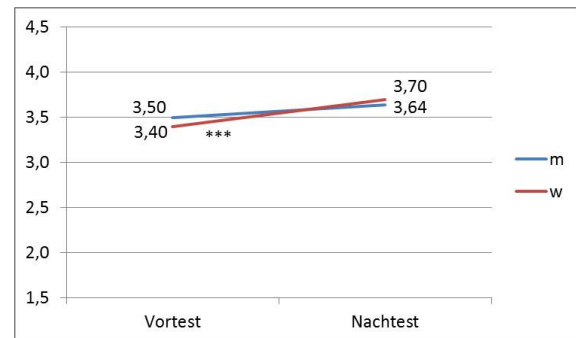


Abb. 5: Entwicklung der Skala Interesse und Spaß nach Geschlecht (N=100)

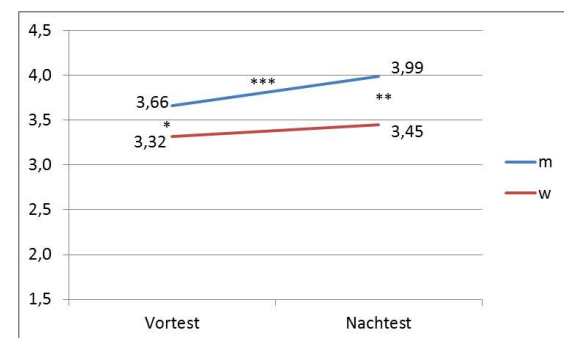


Abb. 6: Entwicklung der Skala Interesse und Spaß nach Geschlecht (Teilpopulation, N=40)

Die positive Entwicklung der weiblichen Lernenden bezüglich Interesse und Spaß während der Auseinandersetzung mit den optischen Blackboxes ist somit im 8./9. Jahrgang replizierbar.

5. Studie 3 – Productive Failure Ansatz mit experimentellen Blackbox-Aufgaben

Der Productive Failure Ansatz nach Kapur [2] stellt Schülerinnen und Schülern Lernanlässe in einer für sie noch unbekanntem Situation zur Verfügung. Diese sind im Allgemeinen so gewählt, dass sie die zugehörigen Aufgaben mit ihrem bisherigen Wissen nicht oder nicht vollends lösen können. Bei der eigenständigen Auseinandersetzung erzeugen sie dennoch eigenständige Lösungswege (sogenannte Präkonzepte), die daher meist fehlerhaft sind und nicht der formal intendierten Norm entsprechen. Erst im Anschluss bekommen sie das für die Aufgabebearbeitung notwendige Wissen vermittelt, dabei werden auch typische Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler aufgegriffen. Letztlich erlangen sie mit diesem Ansatz mehr konzeptuelles Verständniswissen ([2]).

Diese positiven Lernergebnisse werden sowohl mit der eigenständigen Problemlösephase vorab als auch mit dem Aufgreifen der Präkonzepte während der Instruktion begründet. Loibl [15] erklärt dies einerseits durch die Aktivierung des Vorwissens, um eine Lösung im unbekanntem Sachverhalt zu generieren. Andererseits werden sich die Lernenden ihres Scheiterns auch bewusst und können dies in der anschließenden Instruktionsphase beim Verständnis der formal-korrekten Lösung reflektierend nutzen.

Dieser Ansatz nach Productive Failure wurde bislang überwiegend in der Mathematik repliziert und soll nun in die Physik adaptiert werden. Als Aufgabentyp ist die Untersuchung der experimentellen Blackboxes aus Studie 1 und 2 vorgesehen.

In einer ersten Vorstudie wurde dazu in drei 6. Klassen ($N = 79$) getestet, ob dieser Aufgabentyp für den Productive Failure Ansatz geeignet ist. Bei minimaler Instruktion wurden bei der experimentellen Bearbeitung der Boxes untersucht, ob überwiegend unvollständige und fehlerhafte Lösungen (Präkonzepte) entstehen.

Abb. 7 lässt sich entnehmen, dass im Mittel nur 13,1% (von 5,7% bei T02 bis maximal 29,3% bei S01) der Lernenden die Boxes vollständig korrekt lösen können. Weiteren 14,7% gelingen verschiedene korrekte Lösungsansätze, mehrheitlich (im Mittel 66,9%) scheitern sie aber weitgehend bei der Bearbeitung, können aber erste rudimentäre Lösungsversuche erstellen (von 39,0% bei S01 bis 85,7% bei T02). Der Einsatz der Blackboxes eignet sich demnach für den Productive Failure Ansatz, da eine formal-korrekte Bearbeitung der Blackboxes überwiegend misslingt, die Lernenden aber erste eigenständige Lösungsansätze generieren können.

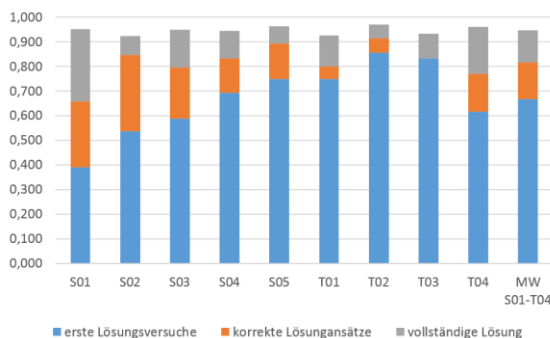


Abb. 7: relative Lösungshäufigkeiten bei minimaler Instruktion für die einzelnen Boxes und im Mittel

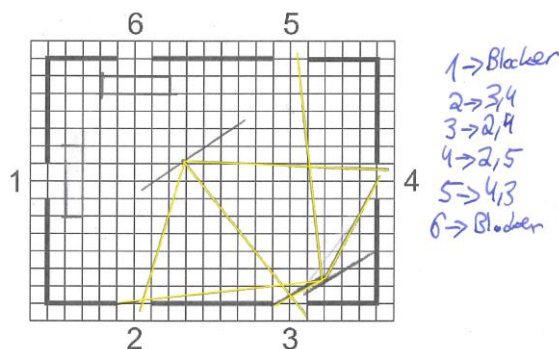


Abb. 8: Beispiel für einen Lösungsansatz (links) zu den daneben notierten Beobachtungen (rechts)

In Abb. 8 ist beispielhaft eine in ersten Ansätzen korrekte Lösung angefügt. Hier wurden handschriftlich einige Beobachtungen notiert (z.B. das Licht geht von Öffnung 2 zu den Öffnungen 3 und 4), die bereits auch Erläuterungen enthalten (hinter den Öffnung 1 und 6 sind Lichtblocker).

Die beiden Lichtblocker finden sich auch in der Lösungsskizze hinter den Öffnungen 1 und 6 wieder. Ebenso ist ein Spiegel eingezeichnet, der den Lichtverlauf von Öffnung 2 zu den Öffnungen 3 und 4 erklären soll. Dabei wurde allerdings das Reflexionsgesetz nicht beachtet. Ferner sind die Beobachtungen nicht vollständig und gänzlich korrekt, zudem wurde die senkrechte Einstrahlung des Lichtes vernachlässigt. Ein solcher Lösungsansatz mit Fehlern kann demnach in einer anschließenden Instruktionsphase im Productive Failure Ansatz produktiv genutzt werden.

6. Zusammenfassung

Die entwickelten Blackboxes bieten für die Schülerinnen und Schüler einen interessanten Unterrichtsgegenstand mit angemessenem Schwierigkeitsgrad. Sie erleben den Umgang mit den Experimenten als positiv und interessant, obwohl die Experimente alltagsfern erscheinen. Dabei profitieren vor allem Teilnehmerinnen, welche sich hinsichtlich motivationaler Aspekte verbessern und eine Lücke zu den Schülern teilweise schließen können. Dies gilt sowohl für die Jahrgangsstufe 6 (Studie 1) als auch für die Jahrgangsstufe 8/9 (Studie 2). Weiter deutet sich in Studie 3 an, dass die Blackboxes auch im Productive Failure Ansatz eingesetzt werden können.

7. Literatur

- [1] Mie, Klaus (2002): Black-Box-Aufgaben mit elektrischen Widerständen. In: Unterricht Physik 71/72, S. 36 – 40
- [2] Kapur, Manu (2010): A further study of productive failure in mathematical problem solving: Unpacking the design components. Instructional Science, 39(4), S. 561 – 579
- [3] Fischer, Heinz (1971): Die Black-Box-Methode im Unterricht. In: Physik in der Schule 9, S. 119 - 125
- [4] Terry, Colin (1995): Blackbox electrical circuits. In: The Physics Teacher, 33, S. 386 - 387
- [5] Friege, Gunnar; Rode, Henning (2015): Optische Blackbox-Experimente im Anfangsunterricht Physik. In: PdN Physik in der Schule, 5/64, S. 38 – 42
- [6] Lederman, Norman; Abd-El-Khalick, Fouad (1998): Avoiding DeNatured Science: Activities that promote Understandings of the Nature of Science. In: The Nature of Science in Science Education, S. 83 - 126
- [7] Berge, Otto Ernst; Volkmer, Martin (2002): Lernerfolgskontrolle mit Experimenten – Di-

- daktische Aspekte. In: Unterricht Physik, 71/72, S. 4 - 8
- [8] Cimanowski, Olaf (2005): Blackbox-Prinzip in der Optik – Physikalische Detektivspiele im Anfangsunterricht. In: PdN Physik in der Schule, 1/54, S. 26 – 29
- [9] Hepp, Ralph (2010): Mit Aufgaben Freude an der Physik entwickeln. In: Unterricht Physik, Nr. 117 –118, S. 14 – 17
- [10] Mezes, Christian; Erb, Roger; Schröter, Evelin (2012): Der Einfluss von Videoexperimentieranleitungen auf die Motivation von Schülerinnen und Schülern. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 1/11, S. 17 - 27
- [11] Rheinberg, Falko; Vollmeyer, Regina; Engeser, Stefan (2003): Die Erfassung des Flow-Erlebens. In: Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept, S. 261–279
- [12] Wodzinski, Rita (2009): Mädchen im Physikunterricht. In: Physikdidaktik - Theorie und Praxis, S. 583 - 604
- [13] Pollmeier, Katharina; Walper, Lena; Lange, Kim; Kleickmann, Thilo; Möller; Kornelia (2014): Vom Sachunterricht zum Fachunterricht - Physikbezogener Unterricht und Interessen im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe. In: Zeitschrift für Grundschulforschung 7, Nr. 2, S. 129 – 145
- [14] Häussler, Peter; Hoffmann, Lore; Langeheine, Rolf; Rost, Jürgen; Sievers, Knud (1998): A typology of students' interest in physics and the distribution of gender and age within each type. In: International Journal of Science Education 20, Nr. 2, S. 223 – 238
- [15] Loibl, Katharina (2013): Problem-solving prior to instruction. Dissertation. Url: www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netathtml/HSS/Diss/LoiblKatharinaSophia/diss.pdf.