

Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern?

Jessica Marschner, Hubertina Thillmann, Joachim Wirth & Detlev Leutner

**Zeitschrift für
Erziehungswissenschaft**

ISSN 1434-663X

Z Erziehungswiss
DOI 10.1007/s11618-012-0260-5

ISSN 1434-663X 2. Vierteljahr 2010

Zeitschrift für *ZfE* Erziehungswissenschaft

Schwerpunkt: Zivilgesellschaft und freiwilliges Engagement

- Stichwort: Vom Ehrenamt zum zivilgesellschaftlichen Engagement
- Zivilgesellschaft und freiwilliges Engagement in Deutschland 1999–2009
- Youth and community service

- Helfen erzieherische Hilfen? – Internationale Befunde zu Hilfenkarrieren
- Schulabbruch am Gymnasium
- Formative Assessment – Konzept zur Reform von Unterricht und Leistungsmessung?

2-10  VS VERLAG

Jetzt im **SSCI**
www.zfe-digital.de

Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by VS Verlag für Sozialwissenschaften. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your work, please use the accepted author's version for posting to your own website or your institution's repository. You may further deposit the accepted author's version on a funder's repository at a funder's request, provided it is not made publicly available until 12 months after publication.

Wie lässt sich die Experimentierstrategie- Nutzung fördern?

Ein Vergleich verschieden gestalteter Prompts

Jessica Marschner · Hubertina Thillmann · Joachim Wirth · Detlev Leutner

Zusammenfassung: Beim selbstregulierten Lernen durch Experimentieren zeigen Schüler ein Produktionsdefizit, d. h. verfügbares Strategiewissen resultiert nicht in entsprechender Strategienutzung. Ursachen dafür können mangelnde metakognitive Fähigkeiten und Motivation sein. Deshalb sollten diese Aspekte unterstützt werden, um die Strategienutzung zu fördern. Das Geben von Prompts (Anregungen) ist dafür eine vielversprechende Methode. Die Frage ist, wie diese optimal gestaltet werden sollten. In einer experimentellen Studie wurden zwei Merkmale untersucht, nämlich die Adaptivität von Prompts sowie ihre Kombination mit strategiebezogenem Feedback. 93 Neunt-Klässler lernten selbstreguliert mit einer computerbasierten Experimentierumgebung. Es gab eine Kontrollgruppe und drei Experimentalgruppen mit nicht-adaptiven Prompts, adaptiven Prompts oder der Kombination aus adaptivem Prompt und Feedback. Als abhängige Variablen wurden Maße zur Experimentierstrategienutzung und die Motivation erfasst. Vorteile in der Strategienutzung zeigte nur die Gruppe mit der Kombination aus Rückmeldung und adaptivem Prompt. Ebenso blieben die Lerner in dieser Bedingung stärker motiviert als in den anders unterstützten Gruppen.

Schlüsselwörter: Experimentierstrategien · Selbstreguliertes Lernen · Förderung von Strategienutzung · Prompts · Adaptive Unterstützung

© VS Verlag für Sozialwissenschaften 2012

Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennz.: WI 2663/3) im Rahmen der DFG-Forschergruppe „Naturwissenschaftlicher Unterricht“ (FOR 511).

Dr. J. Marschner (✉) · Dr. H. Thillmann · Prof. Dr. J. Wirth
Lehrstuhl für Lehr-Lernforschung, Institut für Erziehungswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum,
Universitätsstraße 150, 44780 Bochum, Deutschland
E-Mail: Jessica.marschner@rub.de

Dr. H. Thillmann
E-Mail: Hubertina.thillmann@rub.de

Prof. Dr. J. Wirth
E-Mail: Joachim.wirth@rub.de

Prof. Dr. D. Leutner
Lehrstuhl für Lehr-Lernforschung, Universität Duisburg-Essen, Berliner Platz 6–8,
45117 Essen, Deutschland
E-Mail: Detlev.leutner@uni-due.de

How can the use of strategies for experimentation be fostered? – A comparison of differently designed prompts

Abstract: Pupils display a production deficiency within self-regulated learning arrangements using experimentation. Available strategy-knowledge does not result in an effective strategy use. This may be due to a lack of metacognitive capabilities and motivation. These aspects should be supported, then, in order to foster strategy use. Providing prompts is a promising method. The question is how to design them to optimal effect. Two characteristics were investigated in an experimental study, namely the adaptability of prompts and their combination with strategy-related feedback. 93 pupils in year 9 experienced self-regulated learning in a computer-based experiment setting. There was a control group and three experimental groups with non-adaptive prompts, adaptive prompts or a combination of feedback and adaptive prompts, respectively. The dependent variables were the extent of using a strategy for experimentation and pupils' motivation. Benefits for use of strategy were only observed for the group with a combination of feedback and adaptive prompts. The learners in this group were also more strongly motivated than in the other groups.

Keywords: Adaptive support · Experimental strategies · Supporting of strategy use · Prompts · Self-regulated learning

1 Förderung der Strategienutzung

Für erfolgreiches Lernen ist die angemessene Nutzung von Lernstrategien entscheidend. Dies gilt nicht nur für das selbstregulierte Lernen mit Texten (Artelt 2000; Wild 2000; Leutner und Leopold 2003), sondern lässt sich auch für das selbstregulierte Lernen durch Experimentieren zeigen (Chen und Klahr 1999; Klahr 2000; Gößling 2010). Allerdings setzen Lernende bei dieser Form des selbstregulierten Lernens angemessene Strategien nur selten spontan und erfolgreich ein (Klahr und Dunbar 1988; de Jong und van Joolingen 1998; Azevedo et al. 2004). Daraus ergibt sich die Frage, wie die Nutzung von Strategien angemessen angeregt und unterstützt werden kann.

Um angemessene Unterstützungsmaßnahmen gestalten zu können, ist es wichtig die Ursachen für die mangelnde oder mangelhafte Strategienutzung zu kennen. Es lassen sich hierfür drei verschiedene Defizite beschreiben (vgl. Hasselhorn 1992; Veenman et al. 2006): Es kann erstens ein Verfügbarkeitsdefizit (*availability deficiency*; nach Veenman et al. 2006) vorliegen, bei dem Lerner nicht das für ein strategisches Lernen notwendige Wissen über Strategien haben. Verfügen sie jedoch über das notwendige Strategiewissen, kann zweitens ein Produktionsdefizit vorliegen (*production deficiency*; Flavell 1976; Veenman et al. 2000). Hierbei wird das verfügbare Strategiewissen nicht spontan genutzt und in eine strategische Lernhandlung umgesetzt. Schließlich kann drittens ein Nutzungsdefizit (vgl. Hasselhorn 1992) vorliegen, bei dem verfügbares Strategiewissen zwar in strategische Lernhandlung umgesetzt wird, Lerner daraus jedoch keinen Nutzen für ihr Lernen ziehen können.

Studien zum selbstregulierten Lernen durch Experimentieren, die das Wissen über Experimentierstrategien und die Nutzung von Experimentierstrategien bei Schülern¹ der 8.–9. Klasse untersuchten, zeigen deutlich, dass bei Schülern dieser Altersklasse hauptsächlich von einem Produktionsdefizit auszugehen ist (Thillmann 2008; Marschner 2011).

Es zeigte sich empirisch, dass bei einer deutlichen Mehrheit der untersuchten Schüler zwar eine hohe Ausprägung in einem Test zum Strategiewissen vorlag, aber dennoch nur eine geringe Strategienutzung, gemessen über Verhaltensdaten, gezeigt wurde.

Im Bereich des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren scheint also das Produktionsdefizit das Problem zu sein, was es durch eine Förderung der Strategienutzung zu überwinden gilt. Dafür erscheint es zielführend an den Faktoren anzusetzen, die den Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Strategienutzung moderieren, sodass das verfügbare Strategiewissen auch zu einer angemessenen Strategienutzung führt. Als maßgebliche Faktoren sind in diesem Zusammenhang die metakognitive Kontrolle sowie die Motivation der Lerner während des Lernens anzusehen (Hasselhorn 1992; Bannert 2007; Thillmann 2008). Es stellt sich damit die Frage, welche Maßnahmen geeignet sind, die metakognitive Kontrolle sowie die Motivation anzuregen und zu unterstützen, um dadurch ein Produktionsdefizit zu beheben und die Experimentierstrategie-Nutzung zu fördern. Eine vielversprechende Möglichkeit ist dabei die Präsentation von sog. *Prompts* (Anregungen) (Wirth 2009).

Prompts

Das Geben von Prompts, also Anregungen in Form von Fragen oder Tipps, kann während des Lernens Wissen, Fertigkeiten oder Strategien aktivieren, über die Lerner zwar verfügen, die sie aber spontan nicht nutzen. Prompts wurden in zahlreichen Studien eingesetzt und ihre generelle Wirksamkeit steht außer Frage (Rosenshine et al. 1996; Lin und Lehman 1999; Bannert 2006, 2007; Wirth 2009). Die Prompts und die Lernbedingungen unterscheiden sich allerdings stark zwischen den verschiedenen Studien und auch ihre Effekte auf den Lernerfolg sind unterschiedlich stark. Es stellt sich daher die Frage, welche Merkmale von Prompts ihre Wirkung auf die Strategienutzung bedingen.

Adaptive Prompts

Ein zentrales Merkmal scheint dabei die Adaptivität von Prompts zu sein. Beispielsweise zeigen Thillmann et al. (2009), dass Prompts während des Lernens lernförderlich waren, die Effekte auf die Strategienutzung aber relativ gering blieben. Die eingesetzten Prompts waren jedoch auch nicht an die aktuellen individuellen Schwierigkeiten der Lerner bei der Strategienutzung angepasst. Die Autoren schlagen daher vor, durch das Anpassen der Prompts an die individuell gezeigte (meist mangelhafte) Strategienutzung die Effektivität von Prompts zu steigern, da diese dann spezifisch für die Probleme der Lerner sind. Auch andere Autoren schlagen vor, Prompts adaptiv zu gestalten (z. B. Azevedo et al. 2004), da durch eine stetig angepasste Unterstützung die Strategienutzung bereits während des Lernens überdacht und verbessert werden kann (vgl. Leutner 2004). Neben diesen metakognitiven Aspekten sprechen jedoch auch motivationale Gründe für eine Adaptivität von Prompts. Die Überzeugung, dass Prompts hilfreich sind, kann durch die Adaptivität gefördert werden (Schwonke et al. 2006). Entsprechend sind Lerner möglicherweise eher bereit, die Tipps zu nutzen.

Zusammengefasst sprechen die verschiedenen Überlegungen für die Förderlichkeit einer Präsentation von adaptiven Prompts. Allerdings existieren bislang nur wenige Studien, die den Effekt adaptiver Prompts untersucht haben (z. B. Azevedo et al. 2004;

Schwonke et al. 2006). Entsprechend ist die erwartete stärkere Lernförderlichkeit noch empirisch zu bestätigen.

Prompts ergänzt mit Rückmeldung

Eine weitere Möglichkeit, Prompts effektiver zu gestalten, könnte sich aus einer Ergänzung mit Feedback ergeben. Die generelle Lernwirksamkeit von Feedback steht außer Frage (Bangert-Drowns et al. 1991; Azevedo und Bernard 1995; Kluger und DeNisi 1996). Es bietet sich an, weil es an den genannten Faktoren (Mangel an metakognitiver Kontrolle und Mangel an Motivation) ansetzen kann. Theoretisch erörtern Butler und Winne (1995), wie das Geben einer Rückmeldung die metakognitiven Fähigkeiten eines Lerner unterstützen kann. Eine Rückmeldung von außen kann das interne Feedback, das Lerner sich selbst beim Selbstbeobachten geben, bestätigen, aber auch Diskrepanzen dazu aufzeigen. Das interne Feedback und somit die Regulation der Strategienutzung, die Lernern häufig Schwierigkeiten bereitet (Manlove et al. 2007), können folglich durch Feedback von außen unterstützt werden. Feedback wirkt zudem über affektiv-motivationale Prozesse, es kann Selbstvertrauen und Selbstwirksamkeit erhöhen (Tuckman und Sexton 1992). Als besonders motivationsförderlich hat sich zudem Feedback erwiesen, welches eine individuelle Bezugsnorm zur Bewertung nutzt (Krampen 1987). Lernern kann dadurch der individuelle Lernfortschritt verdeutlicht werden, was motivierend wirkt.

Wenn Lerner also eine Rückmeldung zu ihrer Strategienutzung bekommen, sollten sie mögliche Fehler und Mängel ihrer bisherigen Strategienutzung erkennen und motiviert sein, diese zu verbessern. Die Forschung zu Feedback hat zudem ergeben, dass neben einer reinen Rückmeldung zusätzliche Tipps oder erklärende Informationen die Effektivität von Feedback steigern; man bezeichnet diese Art von Feedback als elaboriertes Feedback (Bangert-Drowns et al. 1991; Azevedo und Bernard 1995; Narciss 2006). Solche Tipps können auch als Prompts betrachtet werden, die beispielsweise an die bisherige Strategienutzung angepasst sind. Es scheint der Feedback-Forschung nach somit erfolgversprechend zu sein, diese adaptiven Prompts um eine Rückmeldung zur individuell gezeigten Strategienutzung zu ergänzen.

Aus der bisherigen Literatur zu Feedback lässt sich folglich ableiten, dass die Effektivität von adaptiven Prompts durch ergänzende Rückmeldungen bezogen auf die bisherige Strategienutzung gesteigert werden kann. Diese Ergänzung sollte sich positiv auf die Strategienutzung und die Motivation auswirken.

2 Fragestellung

Unter Berücksichtigung des Vorliegens eines Produktionsdefizits beim selbstregulierten Lernen durch Experimentieren wird in dieser Studie die Wirksamkeit verschieden gestalteter Prompts zur Förderung der Strategienutzung getestet. An die gezeigte Strategienutzung adaptierte Prompts sollten einen größeren Unterstützungseffekt bezüglich der Strategienutzung aufweisen als nicht-adaptive Prompts, da sie nicht auf einem allgemeinen Lernprozessablauf beruhen, sondern an das tatsächlich gezeigte Verhalten des Individuums angepasst sind. Dieser Vorteil von adaptiven Prompts gegenüber nicht-adaptiven Prompts soll empirisch geprüft werden.

Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern?

Adaptive Prompts, die mit einer Rückmeldung zur bisherigen Strategienutzung ergänzt werden, sollten die Strategienutzung noch stärker fördern. Das zusätzliche Feedback sollte erstens bei der metakognitiven Kontrolle der Strategienutzung helfen. Zweitens sollte der adaptive Prompt durch die vorangestellte Rückmeldung für den Lerner nachvollziehbarer werden. Durch eine individuelle Bezugsnorm beim Feedback kann der Lerner im Verlauf des Lernprozesses zudem erfahren, inwieweit die Umsetzung der gegebenen Hinweise Verbesserungen gebracht haben, was positive motivationale Effekte nach sich ziehen kann.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende zwei Forschungsfragen:

1. Fördern Prompts, die an die individuelle Nutzung von Experimentierstrategien adaptiert sind (adaptive Prompts), sowohl die Strategienutzung als auch die Motivation der Lerner stärker als nicht-adaptive Prompts?
2. Fördert die Ergänzung des adaptiven Prompts mit einer strategiebezogenen Rückmeldung sowohl die Strategienutzung als auch die Motivation der Lerner stärker als adaptive Prompts ohne Rückmeldung?

3 Methode

3.1 Material und Messinstrumente

Computerbasierte Lernumgebung

In der Studie wurde eine computerbasierte Lernumgebung eingesetzt (s. Wirth et al. 2008; Marschner 2011). In dieser können Lerner durch Experimente zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ selbstgesteuert die Beziehungen, die zwischen den Variablen bestehen, erlernen. Lerner generieren dabei Hypothesen, führen simulierte Experimente durch und können Schlussfolgerungen festhalten. Dabei werden Mausclicks und Reaktionen des Systems automatisch in sogenannten *logfiles* gespeichert. Durch Auswertung der *logfiles* können Strategienutzungsmaße gebildet werden und die Unterstützung kann adaptiv gestaltet werden.

Abbildung 1 zeigt einen Screenshot der eingesetzten Lernumgebung. Der Aufbau der Lernumgebung richtet sich nach dem theoretischen ‚Scientific-Discovery-as-Dual-Search‘ (SDDS)-Modell von Klahr und Dunbar (1988). Der Experimentierzyklus wird dort als Interaktion zwischen zwei Repräsentationsräumen (Hypothesen- und Experimenterraum) veranschaulicht. Er verläuft in den Schritten, (1) prüfbare Hypothesen aufstellen, (2) dazu passende valide Experimente durchführen und (3) daraus (in Rückbezug zur Hypothese) Schlussfolgerungen ziehen.

Der im Modell beschriebene Hypothesenraum ist in der Lernumgebung in Form eines virtuellen Notizblocks dargestellt. Beim sogenannten Notizblock handelt sich um ein grafisches *tool*, mit dem Zusammenhänge zwischen den Variablen dargestellt und so Hypothesen und Schlussfolgerungen festgehalten werden können. Der Notizblock hat das Aussehen eines Flipcharts, auf dem alle Begriffe angebracht sind, die man braucht, um die explorierbaren Zusammenhänge darzustellen. Diese Begriffe (z. B. Dichte des Körpers) können per *drag-and-drop* verschoben werden. Es gibt *tools*, die dazu dienen, Pfeile

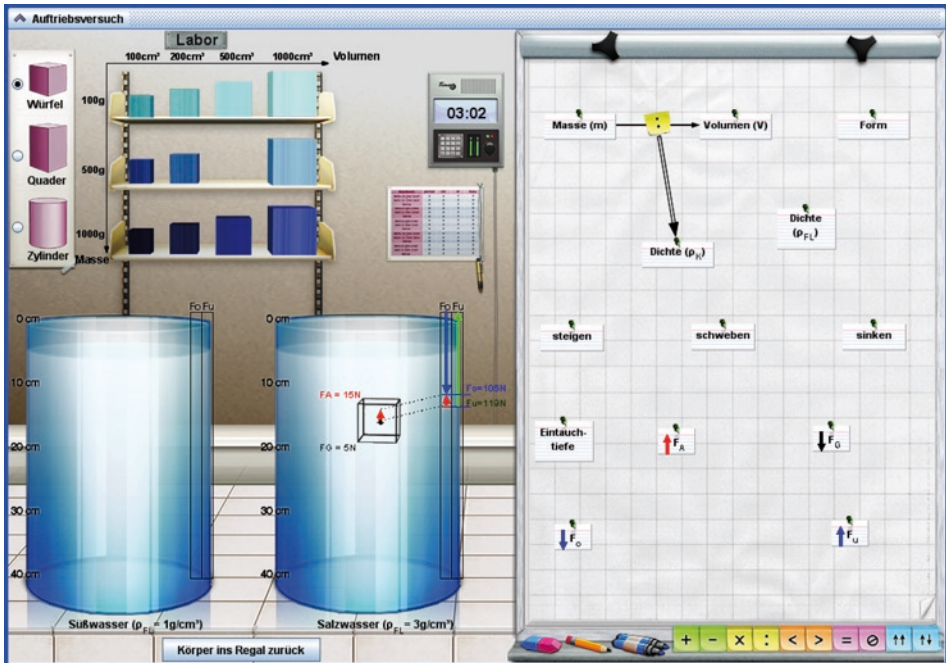


Abb. 1: Screenshot der computerbasierten Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“

zwischen den Begriffen und so Beziehungen einzuzeichnen und zu entfernen. Mathematische Beziehungen bzw. Wenn-Dann-Beziehungen können so dargestellt werden.

Der im Modell beschriebene Experimenterraum ist in Form eines virtuellen Labors dargestellt. Im Labor befinden sich zwei gefüllte Gefäße, deren Flüssigkeiten eine unterschiedliche Dichte haben. Des Weiteren gibt es ein Regal mit 12 Körpern. Die Körper unterscheiden sich in Masse und Volumen und folglich in ihrer Dichte. Diese wird durch einen *tool-tip* auf den Körper angezeigt. Per *drag-and-drop* können die Körper in die Gefäße gezogen werden. Darauf startet die Simulation, der Körper sinkt, steigt oder schwebt. Mithilfe von Animationen werden die wirkenden Kräfte angezeigt.

Wie die einzelnen *tools* und Funktionen zu benutzen sind, wird den Lernern zu Programmbeginn in zwei Tutorials erklärt und durch kleine Übungen trainiert.

Übungseinheit „Wie kann ich aus Experimenten lernen?“

Eine kurze Übungseinheit zu dem Thema „Wie kann ich aus Experimenten lernen?“ wurde entwickelt, um – wengleich im Durchschnitt von einem Produktionsdefizit auszugehen ist – bei jedem Schüler ein Grundniveau an Strategiewissen sicherzustellen. Diese Übungseinheit besteht aus einem zweiseitigen Arbeitsblatt. An einem Alltagsbeispiel werden dort die grundlegenden Informationen zum Experimentierzyklus mit den drei Strategien 1) Hypothese aufstellen, 2) diese in einem Experiment mit isolierender Variablenkontrolle (IVK-Experiment) testen und 3) eine Schlussfolgerung daraus festhalten beschrieben. Ein weiteres Beispiel wird dann von Testleiter und Schülern gemeinsam bearbeitet.

Logfile-basierte Strategienutzungsmaße

Jeder Mausklick, den ein Lernender beim Arbeiten mit der computerbasierten Lernumgebung tätigt, wird automatisch in ein *logfile* eingetragen. Diese *logfiles* wurden genutzt, um verhaltensbasierte Strategienutzungsmaße zu entwickeln (s. Gößling 2010). Es gibt Maße für die einzelnen Strategien „valide Experimente mit isolierender Variablenkontrolle durchführen“ (IVK-Maß) und „prüfbare Hypothesen aufstellen“ (Hypothesen-Maß) sowie für den gesamten Experimentierzyklus (Experimentierzyklus-Maß), der aus Hypothese, IVK-Experiment und Schlussfolgerung besteht. Wie die unten stehende Beschreibung der Maße zeigen wird, bauen die Maße aufeinander auf.

Ein Experiment mit isolierender Variablenkontrolle (IVK-Experiment) kann erfasst werden durch die Aktionen, die ein Lerner im virtuellen Labor durchführt. Die Beschreibung des IVK-Maßes lautet wie folgt:

Die Strategie der isolierenden Variablenkontrolle (IVK) wird registriert, wenn zwei aufeinanderfolgende Experimente durchgeführt werden und im zweiten dieser Experimente alle Variablen bis auf eine konstant gehalten werden. Das IVK-Maß gibt den Anteil der Experimente mit durchgeführter IVK an allen durchgeführten Experimenten wieder. Es variiert somit zwischen 0 und 1.

Auf dem virtuellen Notizblock können Relationen zwischen Variablen eingezeichnet werden, diese Informationen finden sich ebenfalls in den gespeicherten *logfiles*. Um diese Relationen als Hypothesen werten zu können, wird der Bezug zu einem passenden IVK-Experiment in das Maß mit aufgenommen. So werden eingezeichnete Relationen, die nicht die Intention einer Hypothese besitzen, sondern z. B. aus Spielerei eingezeichnet werden, nicht fälschlicherweise als Hypothesen gewertet. Das Hypothesen-Maß lässt sich entsprechend beschreiben:

Als Hypothese wird eine eingezeichnete Relation dann gewertet, wenn nachfolgend ein dazu passendes IVK-Experiment gemacht wird bzw. ihr ein solches Experiment vorausgeht. Das Hypothesen-Maß gibt den Anteil der auf dem Notizblock festgehaltenen Hypothesen an allen darauf festgehaltenen Notizen wieder. Als Notiz werden alle eingezeichneten Relationen gewertet unabhängig davon, ob sie in Experimenten überprüft werden oder nicht. Das Maß variiert zwischen 0 und 1.

Ebenfalls werden Aktionen im Notizblock analysiert, um den vollständigen Experimentierzyklus zu erfassen. Hierfür wird neben den bereits beschriebenen Funktionen die Funktion genutzt, dass eingezeichnete Relationen zunächst blinken und erst durch einen Doppelklick fixiert werden können. Den Lernern wird im Tutorial vermittelt, dass mit dem Fixieren einer blinkenden Relation aus einer Idee eine gesicherte Aussage gemacht werden kann. Der Lerner kann so ausdrücken, dass es sich nun um eine Schlussfolgerung und keine Hypothese mehr handelt. Damit kann der dritte Schritt, neben Hypothese und IVK-Experiment, des Experimentierzyklus vollzogen werden. Das Experimentierzyklus-Maß umfasst diese drei Schritte und lässt sich wie folgt beschreiben:

Ein vollständiger Experimentierzyklus wird erfasst, sobald eine eingezeichnete Relation, der ein passendes IVK-Experiment folgt bzw. vorausgegangen ist (vgl. Hypothesen-Maß), durch einen Doppelklick als Schlussfolgerung festgehalten wird.

Im Experimentierzyklus-Maß wird der Anteil der vollständigen Experimentierzyklen an allen Hypothesen wiedergegeben, die Werte variieren zwischen 0 und 1.

Die Qualität des strategischen Experimentierens ist im Experimentierzyklus-Maß somit umfassender repräsentiert als in den anderen beiden Maßen, da hier alle drei Schritte des Experimentierens vollzogen werden. In diesem Sinne handelt es sich hierbei um das Maß unter den drei beschriebenen Maßen, das die vollständige Experimentierstrategienutzung wiedergibt.

Fragebogen zur aktuellen Motivation

Um die aktuelle Motivation vor und nach dem computerbasierten Experimentieren zu erfassen, wurden die Skalen ‚Herausforderung‘ und ‚Interesse‘ aus dem Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM; vgl. Rheinberg et al. 2001) eingesetzt. Die Items für den Posttest wurden leicht modifiziert, zum Beispiel „Nach dem Bearbeiten der Aufgabe [anstatt ‚Nach dem Lesen der Instruktion‘] erscheint sie mir sehr interessant.“ Die Items sind auf einer 7-stufigen Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (7) zu beantworten. Der Gesamtscore errechnet sich, indem die Summe aller Werte durch die Itemanzahl dividiert wird. Der Test besaß mit einem Cronbachs $\alpha=0,88$ eine gute Reliabilität.

Fragebogen zu demografischen Daten

Hier wurden demografische Daten erfragt, wie Alter, Geschlecht, Muttersprache und die Schulnoten in den Fächern Physik, Chemie, Mathematik, Deutsch und Englisch.

Weitere Testinstrumente

Zur Erfassung von Kontrollvariablen wurden folgende Testinstrumente eingesetzt: Inhaltswissenstest zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ (Gößling 2010; Marschner 2011), Strategiewissenstest zum Experimentieren (Marschner 2011), Interesse-Fragebogen zu Physik (Baumert et al. 1986) und die Skala „Figurale Analogien“ des Kognitiven Fähigkeitstests (KFT, Heller et al. 1985).

3.2 Design der Studie

Im experimentellen Design dieser Studie wurden drei Experimentalgruppen, die während des Lernens unterschiedliche Unterstützungen erhielten, und eine Kontrollgruppe, die ohne Unterstützung lernte, realisiert. Die Probanden wurden zufällig auf diese Gruppen aufgeteilt.

Über die 20-minütige Lernphase verteilt, erhielten die Experimentalgruppen je vier Unterstützungsbotschaften, jeweils im Abstand von vier Minuten. Sie wurden in die computerbasierte Lernumgebung implementiert und erschienen in *Pop-up*-Fenstern. Diese konnten durch die Lerner per Mausklick geschlossen werden.

Die Unterstützung zielte auf den Dreischritt beim Experimentieren ab, bestehend aus den Strategien 1) prüfbare Hypothesen aufstellen, 2) diese in systematischen Experimenten überprüfen (hier IVK-Strategie) und 3) Schlussfolgerungen daraus festhalten.

Experimentalgruppe 1 (EG 1) erhielt nicht-adaptive Prompts. Die vier verschiedenen Prompts waren für jeden Lerner dieser Gruppe gleich in Wortlaut und Reihenfolge. Die Prompts waren Tipps zum guten strategischen Verhalten beim Experimentieren. Ein

Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern?

Prompt bezog sich z. B. auf das Anwenden der IVK-Strategie. Er lautete: „Versuche zu deinen Ideen strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei nachfolgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Experimentalgruppe 2 (EG 2) erhielt adaptive Prompts. Die Lerner bekamen einen Tipp entsprechend ihrer in den vier Minuten zuvor gezeigten Strategienutzung.

Experimentalgruppe 3 (EG 3) erhielt adaptive Prompts, die um eine strategiebezogene Rückmeldung ergänzt wurden. Vor den Promptbotschaften bekamen Lerner also individuelle Rückmeldungen zur gezeigten Strategienutzung der letzten vier Minuten.

Um die adaptive Unterstützung in EG 2 und EG 3 umsetzen zu können, wurde ein Algorithmus benutzt, der hier kurz erläutert wird (für eine ausführlichere Beschreibung siehe Marschner 2011):

Die dem Algorithmus zugrunde liegende *logfile*-Analyse bezieht sich zunächst darauf, ob und in welchem Ausmaß eine Interaktion zwischen Hypothesen- und Experimenterraum (im Sinne des SDDS-Modells) gezeigt wurde. Ursache für eine geringe bzw. fehlende Interaktion kann eine geringe bzw. fehlende Nutzung einer oder beider „Räume“ oder eine mangelnde bzw. fehlende Verknüpfung beider „Räume“ sein. Je nach Ursache sind unterschiedliche Prompts als Unterstützung angebracht. Deshalb zielte die *logfile*-Analyse im Weiteren auf das Ausmaß der Nutzung des Hypothesenraums und der Nutzung des Experimenterraums ab.

Somit werden im Algorithmus drei Variablen berücksichtigt: 1) Anzahl der eingezeichneten Relationen, die mit einem zugehörigen IVK-Experiment verbunden wurden; 2) Anzahl der eingezeichneten Notizen, also alle eingezeichneten Relationen auch ohne zugehöriges IVK-Experiment; 3) Anzahl aller durchgeführten IVK-Experimente. Für die Entwicklung der adaptiven Unterstützung wurden die Werte dieser Variablen in geringe und hohe Werte eingeteilt und diese dann untereinander kombiniert. Die Einteilung orientierte sich an Daten zur spontanen Strategienutzung aus einer vorherigen Studie.

Die Prompts fokussierten dann auf die Strategie, die bisher zu wenig gezeigt wurde. Es wurde den Lernern geraten, diese stärker umzusetzen. Wenn z. B. die Auswertung der Variablen zeigte, dass noch keine eingezeichneten Relationen mit IVK-Experimenten verbunden wurden, wobei schon viele Relationen eingezeichnet, aber wenig IVK-Experimente durchgeführt worden sind, dann zielte der Prompt darauf ab, IVK-Experimente zu den Ideen durchzuführen. Der adaptive Prompt zu dieser Kombination lautete: „Versuche zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“ Der adaptive Prompt ergänzt um eine Rückmeldung lautet entsprechend: „Du hast bisher schon viele Ideen auf dem Notizblock eingezeichnet, aber diese nicht in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Versuche zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“ Die beiden Botschaften unterscheiden sich also nur in der vorangestellten strategiebezogenen Rückmeldung (siehe erster Teil der Botschaft).

Nach der ersten Unterstützungsbotschaft wurde zudem für die Rückmeldung eine individuelle Bezugsnorm umgesetzt. Das heißt, es wurde geprüft, ob die Werte in den Variab-

len gleichblieben oder größer bzw. geringer wurden und dieses entsprechend zurück gemeldet.

3.3 Stichprobe

Die Probanden waren Neuntklässler aus insgesamt fünf Klassen von zwei Gymnasien aus Nordrhein-Westfalen. Diese Schüler hatten das Thema der Lernumgebung „Auftrieb in Flüssigkeiten“ noch nicht im Unterricht behandelt. Auswertbare Daten lagen von $N=93$ Schülern vor. Diese hatten ein Durchschnittsalter von $M=14,62$ ($SD=0,62$) Jahren, es waren 64 % Mädchen und 36 % Jungen.

Die Schüler wurden den Experimentalbedingungen zufällig zugeteilt. Aufgrund fehlender Personen waren in den Gruppen nur annähernd gleich viele Schüler ($KG=27$, $EG\ 1=25$, $EG\ 2=23$, $EG\ 3=18$).

3.4 Durchführung

Getestet wurde zur Unterrichtszeit in der Schule. Insgesamt gab es zwei Testtage à 90 Min. Da am zweiten Testtag ausschließlich Daten erhoben wurden, die für die hier behandelten Fragestellungen nicht relevant sind, soll an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden. Jede Klasse bekam für die Teilnahme 50 € und es bestand die Chance auf weitere 50 € für die Klasse, die am besten abschnitt.

Zu Beginn wurde der Ablauf erklärt, ohne dass über die Unterstützungen und die genaue Fragestellung der Untersuchung informiert wurde. Nach Ausfüllen des Fragebogens zu Demografie und Interesse, gingen die Probanden gemeinsam mit dem Testleiter die Übungseinheit „Wie kann ich aus Experimenten lernen“ durch, was ca. 10 bis 15 Min. dauerte. Danach begann jeder Schüler für sich allein mit der Arbeit am Computer. Die Schüler beantworteten zunächst die PC-basierten Tests zu Inhaltswissen und Strategiewissen. Jeder machte dies in seinem eigenen Tempo. Im Anschluss wurden über zwei Tutorials die Funktionen und die Bedienung der Experimentierumgebung erläutert und eingeübt. Es folgte der Fragebogen zur aktuellen Motivation (2–3 Min.). Hierauf starteten die 20 Min. Lernzeit, in der die Lernumgebung je nach Gruppenzugehörigkeit mit entsprechender Unterstützung bearbeitet wurde. Im Anschluss folgte die erneute Messung der aktuellen Motivation. Zum Abschluss bearbeiteten die Schüler einen zu dem Prätest parallelen Posttest zum Inhaltswissen und noch einmal den Strategiewissenstest, der sich nur in der Item-Reihenfolge vom Prätest unterschied. Danach war die Arbeit am Computer für die Schüler beendet und der Testtag abgeschlossen.

4 Ergebnisse

Um zunächst zu prüfen, ob Gruppenunterschiede in den Eingangsvoraussetzungen vorlagen, wurden Varianzanalysen (ANOVAs) zur Vorhersage der erhobenen Kontrollvariablen anhand der Gruppenvariable gerechnet. Die Gruppen unterschieden sich weder in den kognitiven Fähigkeiten ($F(3,83)=0.584$; $p=0.627$; $\eta^2=0.021$), der Eingangsmotivation ($F(3,87)=1.170$; $p=0.326$; $\eta^2=0.039$), dem Physik-Interesse ($F(3,89)=0.228$; $p=0.877$;

Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern?

$\eta^2=0.008$), noch im Inhaltswissen ($F(3,89)=0.061$; $p=0.980$; $\eta^2=0.002$) oder Strategiewissen ($F(3,89)=0.911$; $p=0.439$; $\eta^2=0.030$). In den nachfolgenden Analysen wurde daraufhin keine dieser Kontrollvariablen als Kovariate berücksichtigt.

Zur übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse werden im Folgenden für die einzelnen abhängigen Variablen, die nahezu unkorreliert waren und kein gemeinsames Konstrukt wiedergaben, ANOVAs berichtet.² Den ANOVAs folgen berechnete Kontraste, welche einseitig getestet wurden, da sie gerichtete Hypothesen prüfen.

Die Forschungsfragen bezogen sich auf Unterschiede in der Strategienutzung in Abhängigkeit von der Unterstützung, die die Lerner bekamen. Dabei wird vermutet, dass sich adaptive Prompts positiver als nicht-adaptive Prompts auf die gezeigte Strategienutzung auswirken, die adaptiven Prompts ergänzt mit Rückmeldungen sollten wiederum positiver als adaptive Prompts wirken.

Tabelle 1 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen in den Strategienutzungsmaßen für die Gruppen getrennt wieder.

Es zeigte nur die ANOVA zur Vorhersage des Experimentierzyklus-Maßes anhand der Gruppenvariable tendenzielle Unterschiede zwischen den Gruppen an ($F(3,86)=2.220$; $p=0.092$; $\eta^2=0.072$).

Berechnete Kontraste prüften gemäß der ersten Forschungsfrage zunächst, ob sich die Gruppe mit den adaptiven Prompts von der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts und der Kontrollgruppe unterschied. Dabei zeigten sich keine statistisch bedeutsamen Unterschiede. Auch die Gruppe mit den nicht-adaptiven Prompts unterschied sich nicht von der Kontrollgruppe; überraschenderweise hatte diese Gruppe deskriptiv in allen Strategienutzungsmaßen die niedrigste Ausprägung noch hinter der Kontrollgruppe (s. Tab. 1).

Als nächstes wurden Kontraste zur zweiten Forschungsfrage berechnet, die die Unterschiede zwischen der Gruppe mit ergänzter Rückmeldung und den anderen Gruppen testeten. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe mit ergänzter Rückmeldung und der Kontrollgruppe ($t(86)=-1.898$; $p<0.05$ (einseitig)) und zwischen der Gruppe mit ergänzter Rückmeldung und der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts ($t(86)=-2.514$; $p<0.01$ (einseitig)). Die Gruppe mit ergänzter Rückmeldung hatte einen deskriptiv höheren Mittelwert als die Gruppe mit adaptiven Prompts, der Unterschied erwies sich aber als nicht signifikant.

Die Forschungsfragen bezogen sich des Weiteren auf Motivationsunterschiede in Abhängigkeit von der eingesetzten Unterstützung. Auch hier wird vermutet, dass sich

Tab. 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzungsmaße

Gruppe	IVK-Maß M (SD)	Hypothesen-Maß M (SD)	Schlussfolgerungs-Maß M (SD)
KG	0.515 (0.232)	0.314 (0.223)	0.212 (0.260)
EG 1 (nicht-adaptive Prompts)	0.436 (0.231)	0.281 (0.232)	0.156 (0.262)
EG 2 (adaptive Prompts)	0.567 (0.248)	0.304 (0.209)	0.250 (0.301)
EG 3 (Rückmeldung + adaptive Prompts)	0.553 (0.276)	0.285 (0.148)	0.377 (0.307)

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Motivation

Gruppe	Motivation prä M (SD)	Motivation post M (SD)	Residuale Motivation M (SD)
KG	0.478 (0.219)	0.407 (0.246)	0.144 (0.907)
EG 1 (nicht-adaptive Prompts)	0.452 (0.226)	0.345 (0.256)	-0.179 (0.833)
EG 2 (adaptive Prompts)	0.553 (0.149)	0.390 (0.232)	-0.267 (1.258)
EG 3 (Rückmeldung + adaptive Prompts)	0.467 (0.186)	0.443 (0.180)	0.401 (0.810)

adaptive Prompts positiver als nicht-adaptive Prompts auf den Motivationszuwachs auswirken und weiterhin, dass die Ergänzung der adaptiven Prompts mit Rückmeldungen positivere Auswirkungen auf den Motivationszuwachs der Lerner hat als die adaptiven Prompts. Dabei wurde als abhängige Variable die Motivationszunahme nach Bearbeiten der Lernumgebung verwendet, so werden auch Unterschiede in der Eingangsmotivation kontrolliert. Hierfür wurden standardisierte Residuen per Regressionsanalyse berechnet, in der die Motivation nach Bearbeiten der Lernumgebung vorhergesagt wurde durch die Motivation vor Bearbeiten der Lernumgebung. Tabelle 2 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Gruppen für die Motivation vor und nach der Intervention sowie für die Motivationszunahme (residuale Motivation) an.

Die ANOVA zeigte einen tendenziellen Gruppenunterschied ($F(3,86)=2.175$; $p=0.098$; $\eta^2=0.071$).

Berechnete Kontraste zur ersten Fragestellung zeigten keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen der Gruppe mit adaptiven Prompts und der nicht-adaptiven Gruppe bzw. der Kontrollgruppe. Deskriptiv lagen die EG 1 und EG 2 noch unter der Kontrollgruppe.

Die berechneten Kontraste zur zweiten Fragestellung zeigten signifikante Unterschiede zwischen EG 3 und EG 1 ($t(86)=-1.891$; $p<0.05$ (einseitig)) und zwischen EG 3 und EG 2 ($t(86)=2.276$; $p<0.05$ (einseitig)). Dabei hatte erwartungsgemäß jeweils die Gruppe mit um Rückmeldungen ergänzten adaptiven Prompts (EG 3) den höheren Mittelwert in der Motivationszunahme.

Im nächsten Schritt wurde zur weiteren Analyse dieses Ergebnisses explorativ geprüft, ob die Motivation in der EG3 zunahm oder ob sie in den anderen Gruppen abnahm. T-Tests für gepaarte Stichproben zeigten eine signifikante Abnahme der Motivation für EG 1 ($t(22)=4.075$; $p<0.01$), für EG 2 ($t(22)=3.493$; $p<0.01$) und für die KG ($t(25)=2.279$; $p<0.05$). Bei der EG3 zeigte sich dagegen kein signifikanter Unterschied zwischen der Motivation vor und nach der Intervention.

5 Zusammenfassung und Diskussion

Die erste Fragestellung nach der vermuteten höheren Lernförderlichkeit bezüglich Strategienutzung und Motivation von adaptiv gestalteten Prompts konnte nicht bestätigt werden.

Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern?

Die Gruppe mit den adaptiven Prompts zeigte keine signifikant höhere Strategienutzung oder Motivation als die Gruppe ohne adaptive Prompts oder die Kontrollgruppe.

Dagegen lässt sich die Frage nach der Lernförderlichkeit der adaptiven Prompts ergänzt mit strategiebezogenen Rückmeldungen positiver beantworten. Das Hinzufügen einer zusätzlichen Rückmeldung über das strategische Verhalten scheint die Strategienutzung, zumindest im Sinne des vollständigen Experimentierzyklus, zu verbessern und die Motivation aufrecht zu erhalten. Im Experimentierzyklus-Maß zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe mit adaptiven Prompts ergänzt um Rückmeldungen und der Kontrollgruppe sowie der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts. Gegenüber der Gruppe mit adaptiven Prompts war nur deskriptiv ein Vorteil zu sehen. Wie bereits erwähnt, sind im Experimentierzyklus-Maß das Aufstellen von Hypothesen, das Testen dieser Hypothesen in IVK-Experimenten und das Aufstellen von Schlussfolgerungen enthalten. Dieses Maß umfasst also die Gesamtheit des Experimentierzyklus und beschränkt sich nicht auf Einzelaspekte wie die anderen beiden Maße. Gerade die Nutzung aller Schritte scheint gutes strategisches Experimentieren auszumachen (vgl. Gößling 2010). Ebenfalls zeigte sich für die Gruppe mit ergänzter Rückmeldung ein signifikanter Effekt auf die Motivationszunahme. Die Experimentalgruppen, die nur Prompts ohne Rückmeldung erhielten, und die Kontrollgruppe zeigten eine signifikante Motivationsabnahme nach der Intervention, bei der Gruppe mit Rückmeldung blieb die Motivation der Lerner bestehen.

Die Adaptivität der Prompts bezog sich darauf, dass die Inhalte der Prompts an die individuell (direkt zuvor) gezeigte Strategienutzung angepasst waren. Es scheint, dass in diesem Fall allein die Umsetzung dieser Form von Adaptivität nicht ausreicht, um Prompts effektiver zu gestalten. Nur mit zusätzlicher Rückmeldung wirken sich diese positiv auf Strategienutzung und Motivation aus. Das mag daran liegen, dass Lerner auch erkennen müssen, dass Prompts adaptiv, also an ihr strategisches Verhalten angepasst, sind. Da Lerner, wie erwähnt, Schwierigkeiten haben sich selbst zu beobachten, ist dieses nicht selbstverständlich. Die zusätzliche Rückmeldung zur bisherigen Strategienutzung wirkt hier unterstützend und liefert den Lernern eine Erklärung, warum gerade dieser Prompt folgt. Nur die Prompts zu bekommen, scheint für die Lerner weniger nachvollziehbar zu sein und wird so vielleicht als irritierend empfunden, weshalb sie diese weniger nutzen und zudem ihre Motivation sinkt. Dagegen scheint die Rückmeldung durch die individuelle Bezugsnorm zusätzlich die Motivation zu fördern, weil Lernern so ihre Fortschritte sichtbar gemacht werden.

Das Ergebnis, dass die adaptiven Prompts keinen signifikanten Effekt auf die Strategienutzung hatten, sondern nur die mit Rückmeldungen ergänzten adaptiven Prompts, lässt nicht den eindeutigen Schluss zu, dass das Entscheidende für die Wirksamkeit das Vorliegen von beidem (adaptiver Prompt und Rückmeldung) ist. In der hier berichteten Studie wurde der Frage nachgegangen, wie sich die Wirksamkeit von Prompts sukzessive optimieren lässt durch Hinzufügen von adaptiver Gestaltung und einer individuellen Rückmeldung. Insofern wurde nicht überprüft, inwieweit schon eine strategiebezogene Rückmeldung ohne das Folgen von adaptiven Prompts diesen förderlichen Effekt zeigen würde. Eine weitere Studie ist nötig, um diese Möglichkeit ausschließen zu können. Ergebnisse aus der Feedback-Forschung sprechen allerdings dafür, dass eine reine Rückmeldung ohne zusätzliche Informationen, wie sie z. B. durch die Prompts gegeben wären, nicht lernförderlich sein sollte (Narciss 2006). Vielmehr sind elaborierte Feedbackformen

– die hier realisierte Unterstützung aus adaptiven Prompts und Rückmeldung lässt sich als solch eine Form verstehen – Feedbackformen mit minimalen Informationen zur Korrektheit überlegen.

Erstaunlich scheint, dass die Kontrollgruppe nicht signifikant schlechter abschneidet als alle Experimentalgruppen. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die Prompts die Lerner in den Experimentalgruppen alle vier Minuten in ihrem Lernprozess unterbrechen. So wurde eventuell auch Lernen behindert (vgl. Corno und Snow 1986), da die Aufmerksamkeit und kognitiven Verarbeitungsprozesse möglicherweise gestört wurden. Eine Überlegung wäre, Lerner zu informieren, dass und wann sie einen (nächsten) Prompt bekommen. So könnten Lerner ihren Lernprozess entsprechend planen. Hierzu wäre weitere Forschung nötig.

Theoretische und praktische Implikationen

Das gefundene Ergebnis, dass die adaptiven Prompts mit Rückmeldungen sich positiv auf die Strategienutzung auswirkten, spricht dafür, Befunde aus der Feedback-Forschung zu berücksichtigen, um Prompts effektiver zu gestalten. Weil Lerner ihre eigene Strategienutzung selbst nicht immer angemessen einschätzen können, hilft hier externes Feedback als Ergänzung zu den adaptiven Prompts. Somit wird der von Butler und Winne (1995) theoretisch formulierte Ansatz zum Zusammenhang von Feedback und der Regulation von Strategienutzung bekräftigt. Zudem ist die Motivation der Lerner entscheidend für die Wirksamkeit von Prompts (vgl. Bannert 2007), auch diese konnte nur durch die Ergänzung mit Rückmeldungen aufrechterhalten werden. Diese Studie bestätigt also die Befunde zur positiven motivationalen Wirkung von Feedback. Die eingesetzte Unterstützung beinhaltete eine Rückmeldung mit individueller Bezugsnorm und strategischen Informationen in Form von adaptiven Prompts, was laut Feedback-Forschung besonders positiv für die Lernmotivation und die Selbstwirksamkeit ist (Krampen 1987; Narciss 2006).

Die Ergebnisse sprechen zudem für die theoretische Annahme, dass mangelnde metakognitive Fähigkeiten sowie mangelnde Motivation Ursachen für das Vorliegen eines Produktionsdefizits sind. Denn nur das Geben von zusätzlichen Rückmeldungen zu den adaptiven Prompts, welches korrigierend auf die metakognitive Regulation wirken konnte und positive motivationale Effekte zeigte, verbesserte die Strategienutzung signifikant.

Um dem Produktionsdefizit bezüglich der Nutzung von Experimentierstrategien entgegenzuwirken, reichen nach den hier gefundenen Ergebnissen Prompts alleine nicht aus, auch nicht, wenn sie adaptiv gestaltet sind. Förderlich war vielmehr, wenn adaptive Prompts mit Rückmeldungen über die individuelle Strategienutzung ergänzt wurden. Obwohl in diesem Artikel das selbstregulierte Lernen durch Experimentieren betrachtet wurde, ist davon auszugehen, dass sich dieses Ergebnis auch auf andere Formen des selbstregulierten Lernens, in denen ein Produktionsdefizit vorliegt, übertragen lässt.

Die gefundenen Ergebnisse sind aufgrund der zentralen Bedeutung des Experimentierens als naturwissenschaftliche Arbeitsweise für den naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. Prenzel und Parchmann 2003) auch von praktischem Interesse. So könnten ergänzend zu herkömmlichen Unterrichtsmethoden computerbasierte Lernumgebungen genutzt werden, um die Strategienutzung der Schüler zu fördern. Diese Lernumgebungen bieten den Vorteil, nötige adaptive Unterstützung, in Form von um Rückmeldungun-

gen ergänzte Prompts, zu realisieren, die nicht an einen menschlichen Tutor, also Lehrer, gebunden ist und so vielen Schülern gleichzeitig gegeben werden kann.

Anmerkungen

- 1 In diesem Artikel wird aus Gründen der Platzersparnis für die Beschreibung beider Geschlechter lediglich die maskuline Form verwendet.
- 2 Einzelne Variablen (Experimentierzyklus-Maß) waren nicht normalverteilt, sondern links-schief und flachgipflig. Linksschiefe Verteilungen stellen bei der ANOVA kein großes Problem dar, flachgipflige Verteilungen können die Power des F-Tests verringern (Field 2009). Da die ANOVA bei ausreichend großen Stichproben relativ robust gegenüber Verletzungen ihrer Voraussetzungen ist (Bortz 2005), wurde sie hier dennoch berechnet.

Literatur

- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann.
- Azevedo, R., & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, *13*, 111–127.
- Azevedo, R., Cromley, J. G., & Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporary Educational Psychology*, *29*, 344–370.
- Bangert-Drowns, R. L., Kulik, C. C., Kulik, J. A., & Morgan, M. T. (1991). The instructional effect of feedback in test-like events. *Review of Educational Research*, *61*, 213–238.
- Bannert, M. (2006). Effects of reflection prompts when learning with hypermedia. *Journal of Educational Computing Research*, *4*, 359–375.
- Bannert, M. (2007). *Metakognition beim Lernen mit Hypermedien*. Münster: Waxmann.
- Baumert, J., Roeder, P. M., Sang, F., & Schmitz, B. (1986). Leistungsentwicklung und Ausgleich von Leistungsunterschieden in Gymnasialklassen. *Zeitschrift für Pädagogik*, *32*, 639–660.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Butler, D. L., & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, *65*, 245–281.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variable strategy. *Child Development*, *70*, 1098–1120.
- Corno, L., & Snow, R. E. (1986). Adapting teaching to individual differences among learners. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (3. Aufl., S. 605–629). New York: Macmillan.
- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, *68*, 179–201.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3. Aufl.). London: Sage.
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Hrsg.), *The nature of intelligence* (S. 231–235). Hillsdale: Erlbaum.
- Göbbling, J. M. (2010). *Selbstständig entdeckendes Experimentieren – Lernwirksamkeit der Strategieanwendung*. Diss. Universität Duisburg-Essen. <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-25874/Dissertation.pdf>. Zugegriffen: 5. Jan. 2012.
- Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In G. Nold (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien. Welche Rolle spielen kognitive Verstehensstrukturen?* (S. 35–63). Tübingen: Narr.

- Heller, K. A., Gaedicke, A. K., & Weinländer, H. (1985). *Kognitiver Fähigkeitstest KFT 4–12+*. Weinheim: Beltz.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge: MIT Press.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1–48.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119, 254–284.
- Krampen, G. (1987). Differential effects of teacher comments. *Journal of Educational Psychology*, 79, 137–146.
- Leutner, D. (2004). Instructional design principles for adaptivity in open learning environments. In N. M. Seel & S. Dijkstra (Hrsg.), *Curriculum, plans, and processes in instructional design*. Mahwah: Erlbaum.
- Leutner, D., & Leopold, C. (2003). Selbstreguliertes Lernen als Selbstregulation von Lernstrategien. Ein Trainingsexperiment mit Berufstätigen zum Lernen aus Sachtexten. *Unterrichtswissenschaft*, 31, 38–56.
- Lin, X., & Lehman, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 837–858.
- Manlove, S., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2007). Software scaffolds to promote regulation during scientific inquiry learning. *Metacognition and Learning*, 2, 141–155.
- Marschner, J. (2011). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*. Diss. Universität Duisburg-Essen. http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-27679/Diss_Marschner.pdf. Zugegriffen: 5. Jan. 2012.
- Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback*. Münster: Waxmann.
- Prenzel, M., & Parchmann, I. (2003). Kompetenz entwickeln. Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. *Naturwissenschaften im Unterricht: Chemie*, 14(76/77), 15–19.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47, 57–66.
- Rosenshine, B., Meister, C., & Chapman, S. (1996). Teaching students to generate questions: A review of the intervention studies. *Review of Educational Research*, 66, 181–221.
- Schwonke, R., Hauser, S., Nückles, M., & Renkl, A. (2006). Enhancing computer-supported writing of learning protocols by adaptive prompts. *Computers in Human Behavior*, 22, 77–92.
- Thillmann, H. (2008). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Diss. Universität Duisburg-Essen. http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-18970/Dissertation_Thillmann_online-Version.pdf. Zugegriffen: 5. Jan. 2012.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J., & Leutner, D. (2009). Is it merely a question of „what“ to prompt or also „when“ to prompt? The role of point of presentation time of prompts in self-regulated learning. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 105–115.
- Tuckman, B. W., & Sexton, T. L. (1992). The effects of informational feedback and self-beliefs on the motivation to perform a self-regulated task. *Journal of Research in Personality*, 26, 121–127.
- Veenman, M. V. J., Kerseboom, L., & Imthorn, C. (2000). Test anxiety and metacognitive skillfulness: Availability versus production deficiencies. *Anxiety, Stress, and Coping*, 13, 391–412.
- Veenman, M. V. J., van Hout-Wolters, B. H. A. M., & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1, 3–14.
- Wild, K.-P. (2000). *Lernstrategien im Studium*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. (2009). Promoting self-regulated learning through prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 91–94.

Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern?

Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, J., Fischer, H. E., & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht – Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54, 361–375.