

Lind, Gunter; Friege, Gunnar; Kleinschmidt, Lars; Sandmann, Angela

Beispielern und Problemlösen

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 10 (2004), S. 29-49



Quellenangabe/ Reference:

Lind, Gunter; Friege, Gunnar; Kleinschmidt, Lars; Sandmann, Angela: Beispielern und Problemlösen - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 10 (2004), S. 29-49 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315932 - DOI: 10.25656/01:31593

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315932>

<https://doi.org/10.25656/01:31593>

in Kooperation mit / in cooperation with:



IPN

Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

<https://www.leibniz-ipn.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS

DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation

Informationszentrum (IZ) Bildung

E-Mail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

GUNTER LIND, GUNNAR FRIEGE, LARS KLEINSCHMIDT UND ANGELA SANDMANN

Beispielern und Problemlösen

Zusammenfassung

Das eigenständige Problemlösen und die Bearbeitung von Beispielaufgaben mit kommentierten Musterlösungen, sogenannten worked examples, sind zwei Methoden des Lernens, mit denen Wissen durch Anwendung auf verschiedene, typische Situationen flexibel genutzt werden soll, um nicht „träge“ zu bleiben. In einer empirischen Studie wurde untersucht, welche Gelegenheiten zur Elaboration beide Methoden bieten und wie Schüler mit unterschiedlichem Vorwissen („Experten“ und „Novizen“) diese Gelegenheiten nutzen. Die Fragestellungen der Studie beziehen sich auf die Lernaktivität und die Art der Elaboration beim Lernen mit beiden Methoden sowie auf die Existenz von charakteristischen Lernprofilen. Das Untersuchungsmaterial bestand aus einer Sequenz von Beispielaufgaben zur Himmelsmechanik und einer Sequenz von ähnlichen, eigenständig zu lösenden Problemen. Von den untersuchten Personen wurden Protokolle des lauten Denkens beim Lernen mit beiden Methoden erhoben, transkribiert und nach einem entwickelten Kategoriensystem analysiert. Die Ergebnisse der Studie legen eine Relativierung der mit dem Lernen mit Beispielaufgaben in der Literatur oft geäußerten Hoffnung nahe: Auch hier spielt wie beim eigenständigen Problemlösen das Vorwissen eine entscheidende Rolle und zwar sowohl was die Quantität (Lernaktivität) als auch was die Qualität (Art der Elaboration) angeht. Inwiefern Beispielaufgaben beim Lernen differenziert, d.h. innerhalb von Lerngruppen mit einer Varianz im Vorwissen, eingesetzt werden können, und welche Vorteile sie gegenüber dem eigenständigen Problemlösen bieten, wird diskutiert.

Abstract

Independent problem-solving and working on problems with commented solutions, so called ‚worked examples‘, are two methods of learning where knowledge should be used flexibly by applying it to different typical situations, avoiding that the knowledge remains ‚inert‘. An empirical survey shall reveal which opportunities for elaboration are given by both methods and how pupils with different previous knowledge („experts“ and „novices“) use them. The survey regards the question of learning activity and the manner of elaboration while learning with both methods as well as the existence of characteristic learning profiles. The examination material was made up of a sequence of ‚worked examples‘ regarding the celestial mechanics and a sequence of similar problems, which were to be solved independently. Thinking aloud recordings were taken from the subjects while they were learning with both methods, transcribed and analysed with aid of a category system. The results of the survey suggest the relativisation of hope embodied in the literature regarding the learning with ‚worked examples‘: (as in independent problem solving) previous knowledge plays also here a crucial part concerning quantity (learning activity) as well as quality (manner of elaboration). To what extent ‚worked examples‘ are suitable for groups with varying previous knowledge and which advantages they have compared with independent problem solving, is been discussed.

1 Theoretischer Hintergrund und Hypothesen

Das Lernen aus Texten und das Lernen durch Problemlösen werden im Physikunterricht typischerweise verschiedenen Unterrichts-

phasen zugeordnet. Lehrtexte und andere darbietende Unterrichtsformen dienen eher der Einführung neuen Stoffes, Problemlösen wird eher zur Festigung dieses Stoffes verwendet. Diese Zuordnung spiegelt sich auch in einer häufig zu findenden Gliederung der Kapitel in

Schulbüchern: Am Anfang steht ein Lehrtext, in dem die zu erwerbenden Begriffe und Gesetze eingeführt werden. Danach folgt eine Reihe von Problemen/Übungsaufgaben, die typische Anwendungsfälle dieser Begriffe und Gesetze darstellen. So soll erreicht werden, dass das Wissen nicht „träge“ bleibt, sondern in verschiedenen typischen Anwendungssituationen flexibel genutzt werden kann.

Allerdings stellt man oft zu hohe Anforderungen an den Schüler, wenn man das selbstständige Problemlösen unmittelbar auf die direkte Instruktion folgen lässt, auch wenn diese in einem anwendungsbezogenen Zusammenhang steht. Vielmehr ist es notwendig, das problemorientierte Lernen zunächst zusätzlich zu unterstützen oder Formen des gelenkten Problemlösens zu praktizieren. Dies kann in unterschiedlicher Art und Weise geschehen: Eine einfache Möglichkeit ist es, zunächst nur sehr einfache Aufgaben zu stellen („Einsetzungsaufgaben“) und erst danach zu den eigentlich interessanten Anwendungen überzugehen. Der Nachteil ist, dass diese Aufgaben oft durch allgemeine, schwache Strategien lösbar sind und dann kaum auf die komplexeren Aufgaben vorbereiten. Eine andere Möglichkeit ist, dass der Lehrer zunächst Aufgaben vorführt, und erst danach die Schüler selbstständig arbeiten („apprenticeship teaching“). Bei den üblichen theoretischen Physikaufgaben erfüllt die Vorgabe ausgearbeiteter Beispielaufgaben mit Lösungen in schriftlicher Form („worked examples“) denselben Zweck. Beispielaufgaben haben gegenüber der Modellierung des Aufgabenlösens durch den Lehrer sogar gewisse Vorteile: Die eigenständige Arbeit mit dem Beispieltext regt stärker zur Elaboration des Beispiels an und durch eine entsprechende Gestaltung des Textes (die Möglichkeiten reichen von einer vollständigen, detaillierten Ausarbeitung der Lösung bis hin zu knappen prozessunterstützenden Hilfen und der Ergebnisangabe) kann die Beispiellösung dem Niveau des Schülers angepasst werden.

Im Folgenden sollen das Lernen mit ausgearbeiteten Beispielaufgaben und das Lernen durch eigenständiges Problemlösen entsprechender Aufgaben miteinander verglichen

werden. Es wird danach gefragt, welche Gelegenheiten zur Elaboration des Problems beide Methoden bieten und wie Schüler mit unterschiedlichem Vorwissen („Experten“ und „Novizen“) diese Gelegenheiten nutzen.

Belege für die Effektivität des Lernens mit ausgearbeiteten Beispielen, gerade auch im Vergleich zum Lernen durch Problemlösen liegen aus verschiedenen Domänen vor (Sweller & Cooper, 1985; Zhu & Simon, 1987; Paas & Van Merriënboer, 1994; Renkl, Stark, Gruber & Mandl, 1998; Renkl, Gruber, Weber, Lerche & Schweizer, 2003; zusammenfassend Atkinson, Derry, Renkl & Worthham, 2000).

Theorien der Expertiseentwicklung unterscheiden drei Phasen beim Lernen des Problemlösens auf einem Gebiet (Anderson, 1987; Van Lehn, 1996; Schmalhofer, 1996). Am Anfang muss zunächst das für die Problemlösung notwendige deklarative Wissen erworben werden, im Physikunterricht also die Begriffe und Gesetze, die für das Problemlösen auf einem Teilgebiet der Physik notwendig sind. Auf der zweiten Stufe wird das deklarative Wissen mit prozeduralem und situativem Wissen über bestimmte Problemtypen verbunden. Es wird aufgabentypspezifisches, anwendungsorientiertes Wissen erworben. Dazu erscheinen sowohl das gelenkte als auch das eigenständige Problemlösen geeignet. Auf der letzten Stufe schließlich werden die erworbenen Produktionsregeln eingeübt und automatisiert. Das Problemlösen wird schnell und sicher und damit „expertenhaft“. Diese letzte Stufe wird im Physikunterricht kaum je erreicht werden und man mag bezweifeln, ob sie für den allgemeinbildenden Unterricht überhaupt ein sinnvolles Ziel darstellt.

Diese Modelle betonen also eher die Gemeinsamkeiten des Lernens mit Beispielaufgaben und des Lernens beim nicht routinierten Problemlösen. Beide gehören zur gleichen Stufe der Expertiseentwicklung und verfolgen im Prinzip das gleiche Ziel: Das deklarative Wissen auf verschiedene Anwendungssituationen zuzuschneiden. Dazu sollen aufgabentypspezifische Lösungsstrategien gebildet werden. Diese bestehen in Inferenzregeln, die dem Schüler sagen, welche Schlüsse in welchen

Situationen erfolgsversprechend sind, und ihm so eine „interpretative Wissensanwendung“ (Fortmüller, 1991) erlauben.

Dementsprechend wird in der kognitiven Psychologie neuerdings der Zusammenhang zwischen dem Lernen mit Beispielen (oder mit Texten allgemein) und dem Problemlösen betont (Kintsch & Ericsson 1996). Das Verstehen schwieriger, wenig kohärenter Texte und das nicht routinierte Problemlösen auf wohl vertrautem Gebiet ähneln einander. Insbesondere lassen sich in beiden Fällen dieselben leistungsbegrenzenden kognitiven Prozesse identifizieren: Dies ist zum einen die Wissensaktivierung. Wo sie nicht gelingt, ist nicht nur die interpretative Wissensanwendung beim Problemlösen unmöglich, sondern auch ein tiefes Verständnis des Beispiels. Zum anderen sind dies die Kapazitätsbeschränkungen des Arbeitsgedächtnisses. Zwar wird nach der Cognitive-Load-Theorie (Sweller et al., 1998) die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses beim selbstständigen Problemlösen wesentlich leichter überschritten, aber auch bei komplexen Beispielen kann dieser Fall eintreten, wenn dem Lernenden eine fachlich angemessene Reduktion der Informationsfülle nicht gelingt.

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Lernmethoden liegt in der Lenkung des Lernprozesses. Durch das ausgearbeitete Beispiel erhält der Lernprozess einen hohen Organisationsgrad. Die Reihenfolge der Lernprozesse ist weitgehend vorgeschrieben, was ein flüssiges Enkodieren erleichtert. Diese Leitung fehlt beim Problemlösen, so dass die entsprechende Sequenz von kognitiven Prozessen selbst entwickelt werden muss (oder von einem bereits bekannten Problem übertragen). Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit von Irr- und Holzwegen, belastet evtl. den Prozess mit strukturell irrelevanten Details und macht ihn langsam und fehleranfällig. In der Sprache der Cognitive-Load-Theorie (Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998) heißt dies: Beim Problemlösen ist „extraneous load“, die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Aufgaben, die nicht unmittelbar dem Wissenserwerb dienen, größer, und es bleibt demnach weniger Raum

für die eigentlichen Lernprozesse, für „germane load“. Den Lernenden angemessene Probleme werden deshalb auch meist einfacher und weniger komplex sein als angemessene Beispiele.

Die Ähnlichkeiten zwischen den beiden Lernmethoden spiegeln sich auch in den kognitionspsychologischen Methoden ihrer Untersuchung. Das laute Denken, das ursprünglich in der Problemlösepsychologie eingeführt wurde, wird inzwischen auch mit Erfolg in der Textverständlichkeitsforschung angewendet, Voraussetzung für eine Erfolg versprechende Anwendung ist dabei gerade die Ähnlichkeit der Lernsituationen: Die Beispiele müssen schwierig und inkohärent genug sein, um Verständnisschwierigkeiten zu bieten (sonst wird der Text einfach gelesen) und die Probleme dürfen nicht so komplex und unbekannt sein, dass sie dem Verständnis zu große Hürden in den Weg stellen (sonst stockt das laute Denken).

Chi et al. (1989) haben in der ersten Untersuchung, in der das Lernen mit Beispielaufgaben und das anschließende selbstständige Lösen physikalischer Aufgaben miteinander verglichen wurden, einen bestimmten Typ von Äußerungen des lauten Denkens als besonders relevant für den Lernerfolg herausgestellt, die sog. „Selbsterklärungen“. Um zu verstehen, muss der Lernende sich die einzelnen Schritte einer Beispiellösung aktiv erarbeiten. Er muss die Kohärenzlücken im Text füllen und die präsentierte Information auf sein Vorwissen beziehen. So erklärt er sich das Beispiel. Aber auch das Lösen von Problemen kann man als einen Erklärungsprozess betrachten. In der Wissenschaftstheorie ist das eine gängige Auffassung und die exakten Naturwissenschaften können dann als erklärende Wissenschaften bestimmt werden (Toulmin, 1969; Nagel, 1971). An die Stelle der Kohärenzlücken im Beispieltext treten hier die Hindernisse, Ungereimtheiten oder Widersprüche, die im Verlauf der Lösungsversuche auftreten. In beiden Fällen kann man von erklärungsbasiertem Lernen sprechen, bei dem der Lernende sein Wissen selbstständig erweitert, indem er unter Verwendung seines

Vorwissens und der präsentierten Information Schlussfolgerungen zieht.

Selbsterklärungen können als Lernstrategien betrachtet werden. Auch Chi (2000) benutzt diesen Begriff. Zum Selbsterklären werden gerechnet: 1. die Elaborationsstrategien, die der Integration neuen Wissens in das vorhandene Wissen dienen und 2. die Reduktions- oder Organisationsstrategien, die der Ordnung der Wissensfülle zum Zweck der leichteren Verarbeitung oder Speicherung dienen. Nicht zum Selbsterklären gehören etwa Wiederholungsstrategien, metakognitive Strategien oder Strategien zur Planung und Gestaltung der Lernsituation. Im Folgenden werden wir uns nur auf die Analyse der Elaborationsstrategien beschränken, da Reduktionsstrategien beim eigenständigen Problemlösen praktisch nicht vorkommen.

Wir verfolgen in dieser Arbeit vier Fragestellungen, die sich mehr oder weniger präzise in Hypothesen konkretisieren lassen:

(1) Vergleich der Lernaktivität beim Lernen mit Beispielaufgaben und beim Lösen analoger Problemaufgaben

In welcher der beiden Lernsituationen lernen die Schüler intensiver? Gibt es Unterschiede zwischen Experten und Novizen? Es gibt einige empirische Untersuchungen, die das Lernen mit Beispielen und durch eigenständiges Problemlösen in dieser Hinsicht miteinander vergleichen und die Ergebnisse sind nicht eindeutig. Teils arbeiteten die Schüler mit den Beispielaufgaben länger (z.B. Neber, 1997), teils mit den Problemaufgaben (z.B. Sweller & Cooper, 1985; Paas & Van Merriënboer, 1994). Gesichert scheint zu sein, dass Experten mit Beispielaufgaben angemessener Schwierigkeit intensiver lernen als Novizen. Ob das Gleiche für Problemaufgaben gilt, scheint nicht untersucht worden zu sein.

Es ist zu vermuten, dass die Antworten auf derartige Fragen von der Art und dem Schwierigkeitsgrad des verwendeten Aufgabenmaterials abhängen. Da die in der Literatur dargestellten Untersuchungen durchweg mit deutlich weniger komple-

xem Material arbeiten als wir es verwendet haben, sind die Ergebnisse nicht einfach übertragbar.

Wir erwarten, dass bei Beispielaufgaben, die genügend Elaborationsanreize bieten und bei Problemaufgaben mit nicht zu hohem Schwierigkeitsgrad Experten sich intensiver mit den Beispielen beschäftigen als mit den analogen Problemen. Je größer das Wissen eines Schülers, desto mehr Anregungen zur Elaboration kann ihm ein Beispiel bieten und desto weniger Zeit wird er für die Problemlösung benötigen.

Wir erwarten, dass Experten mit solchen Beispielen intensiver lernen als Novizen, die mangels einschlägigen Wissens das Beispiel nur oberflächlich verstehen und die neue Information nicht mit vorhandenem Wissen in Beziehung setzen können.

Für das Lernen der Novizen in beiden Situationen und für den Experten-Novizen-Vergleich beim Problemlösen lassen sich keine eindeutigen Erwartungen formulieren, da beim Problemlösen von Novizen zwei gegenteilige Effekte eintreten können, je nach der subjektiv empfundenen Schwierigkeit: sehr intensive Lösungsversuche oder schnelles Aufgeben.

(2) Art der Elaboration beim Lernen mit Beispielaufgaben

Der Hauptzweck der Elaboration einer Beispielaufgabenlösung ist das Füllen der Argumentationslücken, die der Lernende beim Durcharbeiten der Lösung empfindet (Van Lehn, Johnes & Chi, 1992). Praktisch jeder komplexe wissenschaftliche Text ist für einen Lernenden irgendwo inkohärent, auch wenn die Darstellung ausführlich ist. In hierarchisch strukturierten Domänen wie der Physik ist es praktisch unmöglich, das gesamte, in einen Text eingehende Hintergrundwissen anzuführen und Teile dieses Wissens wird der Lernende im vorgegebenen Zusammenhang evtl. nicht parat haben oder sogar falsche Vorstellungen dazu besitzen. So entsteht „Erklärungsinkohärenz“ (McNamara, Kintsch et al., 1996).

Der Vorgang der Kohärenzherstellung kann

mit dem Construction-Integration-Modell der Erstellung einer Textrepräsentation im Langzeitgedächtnis beschrieben werden (Kintsch, 1988, 1994; Ericsson & Kintsch, 1995). Danach kann man beim Textverstehen zwei Repräsentationsstufen unterscheiden:

- die Textbasis (begriffliche Repräsentation des Textes und seiner Struktur). Sie ermöglicht ein „oberflächliches“ Verstehen des Textes. Der Lernende kann den Text zusammenfassen, auswendig lernen und später wiedererkennen oder reproduzieren. Die Information bleibt jedoch an das episodische Textgedächtnis gebunden. Es wird kein Domänenwissen gelernt.
- das Situationsmodell (Modell des im Text beschriebenen Inhalts). Dadurch wird die Textinformation in das Domänenwissen integriert. Der Text wird tiefgründiger verstanden und die gespeicherte Information kann beim Verstehen anderer Fachtexte oder beim Problemlösen verwendet werden. Der Begriff „Situationsmodell“ entstammt Vorstellungen über das Verständnis narrativer Texte. Bei naturwissenschaftlichen Beispielaufgaben ist damit ein „Problemmodell“ verbunden (Nathan, Kintsch & Young, 1992). Diese Detaillierungen betreffen jedoch nur die Art des jeweils relevanten Domänenwissens, nicht die prinzipielle Vorwissensabhängigkeit des Lernens.

Danach sind zwei Dimensionen der Elaboration von Beispielaufgaben zu unterscheiden, die „tiefe“ Elaboration, die überwiegend von Experten erreicht wird, und die „oberflächliche“ Elaboration, die eher für Novizen typisch ist. Beide sollen aufgrund der Ergebnisse des lauten Denkens für das Lernen mit physikalischen Beispielaufgaben inhaltlich präzisiert werden.

- (3) Art der Elaboration beim Lernen durch selbstständiges Problemlösen
Beim Lösen von wissenszentrierten Problemen des von uns verwendeten Typs kann

man zwei Arten der Problemlösung unterscheiden (Lind & Friege, 2003):

- Schemabasiertes Problemlösen: Unter Problemschemata (Van Lehn, 1989) versteht man kognitive Strukturen, die deklaratives und prozedurales Wissen zu einer Problemsituation miteinander verbinden. Ein physikalisches Gesetz ist dann mit Anwendungsbedingungen und Aktionsplänen zur Verwendung des Gesetzes in bestimmten Situationen verbunden. Durch solche Problemschemata, die sich mit der Praxis des Problemlösens ausbilden, wird das Problemlösen routiniert, schnell, sicher, kurz expertenhaft. Der Problemlöser lernt beim schemabasierten Problemlösen vor allem neue Produktionsregeln und automatisiert bereits vorhandene.
- Interpretative Wissensanwendung: Wenn Problemschemata fehlen, was bei Novizen die Regel ist, aber auch bei Experten in Nicht-Routinesituationen, muss das Wissen erst durch „interpretative Wissensanwendung“ (Fortmüller, 1991) auf die vorliegende Problemsituation zugeschnitten werden. Dies kann ein langwieriger und fehleranfälliger Prozess sein, der die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses stark beanspruchen kann. Der Problemlöser lernt dabei in erster Linie deklaratives Wissen zu situieren und zu prozeduralisieren.

Bei den von uns gewählten komplexen Problemen werden auch die Experten mit dem Vorbild nur einer Beispielaufgabe kaum völlig schemabasiert vorgehen können. Auch ihr Problemlösen wird Phasen interpretativer Wissensanwendung enthalten, jedoch evtl. auch für Teilschritte auf Problemschemata zurückgreifen können. Wenn man annimmt, dass bei ihnen das zur interpretativen Anwendung zu bringende Wissen in effektiven Abrufsystemen gespeichert ist, sollte sich insgesamt ein expertenhaft – nicht routiniertes Vorgehen mit relativ hoher Erfolgswahrscheinlichkeit und vielen Lerngelegenheiten ergeben. Bei Novizen wird das beim Beispiellernen

erworbene Wissen noch relativ isoliert sein, so dass Abrufprobleme wahrscheinlich sind und die interpretative Wissensanwendung stockt. Ein anderer Grund für das Stocken des Prozesses ist die Überlastung des Arbeitsgedächtnisses beim Versuch, mehrere isolierte Wissensseinheiten zueinander in Beziehung zu setzen. Das Stocken des Prozesses kann als Überforderung interpretiert werden und zum Abbruch der Lösungsversuche führen.

Wir erwarten also auch beim Problemlösen zwei Dimensionen der Elaboration mit Beziehungen zu den entsprechenden Dimensionen der Elaboration mit den Beispielaufgaben und damit auch zum Vorwissen. Beide Dimensionen erscheinen hier jedoch nicht unabhängig voneinander, sondern eher als unterschiedliche Ausprägungen eines Prozesses, der interpretativen Wissensanwendung

(4) Lernprofile

Die in unserer Untersuchung betrachtete Sequenz von Lernsituationen, nämlich zunächst das Lernen mit einer gelösten Beispielaufgabe und danach das eigenständige Lösen eines analogen Problems, wird auch im Unterricht die naheliegende sein, wenn man beide Lernformen einsetzen will. Es erscheint deshalb sinnvoll, die beiden Lernsituationen im Zusammenhang zu betrachten und nach typischen Lernprofilen der Schüler und der relativen Bedeutung beider Lernsituationen für das Lernergebnis zu fragen.

Man wird erwarten, ein typisch expertenhaftes und ein typisch novizenhaftes Lernprofil zu finden. Bei Ersterem sollten die Schüler hohes Vorwissen besitzen, in beiden Lernsituationen expertenhaft elaborieren und schließlich gute Ergebnisse beim Problemlösen vorweisen können. Das novizenhafte Profil sollte den Gegenpol dazu bilden. Vom pädagogischen Gesichtspunkt interessant ist die Frage, ob es darüber hinaus noch andere Profile gibt, die weniger durch das Vorwissen determiniert sind. Gibt es Schüler, die einen Mangel an Vorwissen

(wenigstens teilweise) durch bestimmte Elaborationsmerkmale oder hohe Elaborationsaktivität kompensieren können? Und welche der beiden Lernsituationen spielt dabei die größere Rolle?

Empirische Untersuchungen zur Sequenz von Beispiellernen und Problemlösen gibt es bislang nur wenige (Sweller & Cooper, 1985; Trafton & Reiser, 1993; Mwungi & Sweller, 1998; Renkl, Atkinson, Maier & Staley, 2002). Sie zeigen, dass eine solche Sequenz günstiger ist als reines Lernen durch Problemlösen, wenn die Probleme in beiden Situationen analog sind und der Lernende die Zuordnung der Probleme leicht treffen kann. Renkl et al. (2002) schlagen Übergangsformen zwischen beiden Lernformen vor.

2 Methode

2.1 Stichprobe und Durchführung

Die Stichprobe bestand aus 34 Schülern, 16 bzw. 18 erfolgreichen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der dritten Wettbewerbsstufe der nationalen Auswahlwettbewerbe zur Internationalen Biologie- bzw. Physikolympiade (hier Biologie- bzw. Physikolympioniken genannt). Dabei handelt es sich um Leistungskursschüler (aus der ganzen Bundesrepublik), denen ein im Vergleich zu einem durchschnittlichen Leistungskursschüler vergleichsweise hoher Expertisegrad in ihrem Fach zukommt und die beträchtliche Erfahrungen im eigenständigen Erlernen neuer Gebiete ihres Faches gesammelt haben. Ein großer Teil des in den Auswahlrunden vorausgesetzten Wissens geht über den Schulstoff hinaus, so dass nur Schüler diese Wettbewerbsstufe erreichen, die bereit und fähig sind, selbstständig und ohne Anleitung zu lernen. Beide Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Vorwissens in Physik beträchtlich, eignen sich also für einen Experten-Novizen-Vergleich. Sie sollten jedoch hinsichtlich ihrer Selbsterklärungskompetenz vergleichbar sein, so dass Unterschiede im Selbsterklären nicht auf mangelnde Erfahrung zurückgeführt werden können.

Die in diesem Artikel dargestellten Ergeb-

nisse wurden in einer Lernsitzung von etwa drei Stunden erhoben. Jeder Schüler arbeitete allein und außer ihm befand sich nur ein Versuchsleiter im Raum, der das kontinuierliche laute Denken sicherzustellen hatte, ansonsten aber nicht eingriff. Die Lernsitzung begann mit einer Einführung in das laute Denken anhand von Beispielen ohne Bezug zum Lernmaterial. Es folgte die Bearbeitung eines kurzen Einführungstextes in die wichtigsten Gesetze des behandelten Gebiets, das Gravitationsgesetz und die Keplergesetze. Dadurch sollte das Vorwissen aufgefrischt werden, da die Behandlung des Gebiets im Unterricht bei den einzelnen Schülern verschieden weit zurücklag. Danach schlossen sich die beiden Lernaufgaben an, zunächst die Bearbeitung der Beispielaufgaben, danach das selbstständige Problemlösen, jeweils im Mittel gut eine Stunde. Die Lernzeit wurde nicht begrenzt. Nach den Ergebnissen von Renkl (1997) und Renkl et al. (1998) konnte angenommen werden, dass ihr Einfluss auf die Lernergebnisse nur gering ist. Dies bestätigte sich auch in unserer Untersuchung. Die relevante Variable ist nicht die Lernzeit, sondern die Lernaktivität (Zahl der Lernstatements beim lauten Denken).

Außer den Protokollen des lauten Denkens bei beiden Lernsitzungen wurden die folgenden Daten erhoben:

- **Problemlöseleistung:** Die Leistungen der Schüler beim selbstständigen Lösen der Problemaufgabe wurden bewertet und dienten als Maß für das Lernergebnis von Beispiellernen und Problemlösen.
- **Ergebnis der antizipatorischen Beispielbearbeitung:** Der Begriff „antizipatorische Beispielbearbeitung“ ist von Renkl (1997) eingeführt worden und meint den Versuch, eine vorgegebene Beispielaufgabe zunächst selbstständig zu lösen, bevor der angegebene Lösungsweg durchgearbeitet wird. Während dies in der Untersuchung Renkls eine eher seltene Sache war, war es bei unseren Vpn. eine gängige Lernstrategie, die von den meisten Vpn. gezeigt wurde, wenn sie sie für erfolgversprechend hielten. Das Ergebnis der antizipatorischen Beispielbearbeitung wurde nach denselben Kriterien

bewertet, wie die Problemaufgaben zur Messung des Lernerfolgs. Allerdings wurde nur der Lösungsansatz bewertet, da die detaillierte Durchführung der Lösung meist nicht antizipatorisch bearbeitet, sondern der Beispiellösung entnommen wurde.

Hierdurch ergab sich die Möglichkeit, das relativ grobe Expertisekriterium Physikolympionike/Biologieolympionike durch ein zweites, themenspezifisches Vorwissensmaß zu ergänzen. Die beiden Variablen „Domäne“ und „Erfolg bei der antizipatorischen Beispielbearbeitung“ wurden faktorenanalytisch zu einem Vorwissensmaß zusammengefasst.

Die hier vorgestellten Ergebnisse stammen aus einem Projekt, in dem außer mit physikalischen auch mit biologischen Beispielaufgaben und Problemen gearbeitet wurde. Bei den Beispielaufgaben verlief die Datenanalyse in beiden Fächern genau parallel (Lind & Sandmann, 2003; Lind, Friege & Sandmann, 2004). Beim Problemlösen wurden die biologischen Daten jedoch unter teils anderen Fragestellungen ausgewertet, weshalb sich der Vergleich beider Lernsituationen hier nur auf den physikalischen Teil bezieht. Hierfür mussten leider 6 der ursprünglich 40 Vpn. ausgeschlossen werden, da ein Versuchsleiter beim Problemlösen nicht nur auf den Fluss des lauten Denkens achtete, sondern bestimmte Äußerungen verstärkte.

2.2 Lernmaterialien

Für das Beispiellernen wurde eine Sequenz von fünf unterschiedlichen Aufgaben verwendet, die inhaltlich miteinander verbunden und durch kurze Zwischentexte aufeinander bezogen waren, so dass sie zusammengenommen einen kurzen Lehrgang darstellten. Das Thema war der swing-by einer Raumsonde am Jupiter. Vorausgesetzt wurden das Newtonsche Gravitationsgesetz und die Keplerschen Gesetze. Ausgangspunkt war die Frage, warum bislang keine Sonde auf direktem Weg zur Sonne geschickt wurde. Die Eingangsfrage führt zu zwei Aufgaben zum „freien Fall“ einer Raumsonde von der Erdbahn zur Sonne: (1) Bestimmung der notwendigen Abschussgeschwindigkeit, (2) Bestimmung der „Fallzeit“ (Betrachtung der Fallstrecke als entartete Kepler-Bahn). Die not-

wendige große Abschussgeschwindigkeit führt zur Diskussion einer energetisch günstigeren Lösung, dem swing-by der Raumsonde am Jupiter, bevor sie von dessen Bahn zur Sonne „fällt“, (3) qualitative Beschreibung der Relativbewegung Jupiter-Sonde, (4) Bestimmung der Bahnform und Geschwindigkeit der Sonde im Bezugssystem des Jupiter, (5) Bestimmung der Bahnform und Geschwindigkeit der Sonde im Bezugssystem der Sonne.

Die Lösungen waren relativ ausführlich ausgearbeitet und in einzelne Sinneinheiten unterteilt, die auf getrennte Seiten gedruckt wurden, so dass nach jeder Sinneinheit umgeblättert werden musste. Dies ist günstig, um sicherzustellen, dass zum Text tatsächlich Selbsterklärungen verbalisiert werden und er nicht nur laut vorgelesen wird (Ericsson & Simon, 1993).

Die Aufgaben für das selbstständige Problemlösen bezogen sich auf die Beispielaufgaben, d.h. sie waren mit dort behandelten Inhalten und dort vorgestellten Verfahren vollständig lösbar. Sie waren jedoch weniger komplex und erforderten weniger quantitative Ausarbeitungen, d.h. es wurde berücksichtigt, dass der Schwierigkeitsgrad von Problemaufgaben bei noch geringer Übung deutlich kleiner sein muss als der Schwierigkeitsgrad anregender Beispielaufgaben.

Das Thema war hier der Flug einer Sonde zum Mars derart, dass das Perihel der Sondenbahn auf der Erdbahn und das Aphel auf der Marsbahn liegt: (1) Bestimmung der Flugzeit, (2) Abschätzung der Geschwindigkeit in Marsnähe, im Vergleich zur Marsgeschwindigkeit, (3) qualitative Argumentation, ob die Sonde in Marsnähe beschleunigt oder abgebremst wird, (4) Bahnform und Geschwindigkeit der Sonde in Marsnähe, im Bezugssystem des Mars, (5) qualitative Diskussion der Bahnform vom Abstand Sonde-Mars.

2.3 Das Kategoriensystem

Es wurden für die hier vorgestellten Auswertungen nur diejenigen Statements des lauten Denkens berücksichtigt, die der Elaboration des Beispiels bzw. des Problems dienen. Beim Lernen mit den Beispielen gibt es daneben

noch andere Lernstrategien. Insbesondere sind dies Wiederholungsstrategien und Strategien zur Textorganisation (Zusammenfassungen, Schwerpunktsetzungen etc.). Für die Auswertung dieser, im Vergleich zur Elaboration relativ wenigen Statements sei auf Lind & Sandmann (2003) verwiesen. Auch auf Statements, die dem Monitoring zuzurechnen sind (Äußerungen von Interesse, Verständnis oder Missverständnis etc.) wird hier nicht eingegangen.

Nach der Taxonomie der Inferenzen beim Textverstehen von Kintsch (1993) kann man die Elaborationsstatements grob in zwei Gruppen einteilen:

- (1) Bereitstellung von Wissen durch Wissensabruf,
- (2) Bereitstellung von Wissen durch Wissensgenerierung mittels Inferenzen.

Häufig wird ein Statement beide Aspekte enthalten und ist dann doppelt zu kodieren.

Zur Kategorie 1 gehört der Abruf von Wissen aus dem Gedächtnis (Kat. 1.1.1 und 1.1.2), aber auch der Abruf aus externen Quellen (noch einmal lesen im Text oder der Aufgabe oder Nachschlagen bereits bearbeiteter Textstellen, Kat. 1.3.1 und 1.3.2). Schließlich werden Statements hier eingeordnet, die auf erfolglose Versuche des Wissensabrufs hindeuten, z.B. wenn es nicht gelingt, eine Beziehung zu rekonstruieren (Kat. 1.2). Die Kodierung ist beim Lernen mit Beispielen und beim selbstständigen Problemlösen sehr ähnlich. Es wurden 5 Unterkategorien unterschieden, die allerdings beim Problemlösen zu 3 Unterkategorien zusammengefasst wurden.

Die Kategorie 2 wurde wesentlich stärker differenziert und hier war es auch sinnvoll für das Beispiellernen und das Problemlösen unterschiedliche Kategoriensysteme zu entwickeln, die allerdings viele Parallelen aufweisen. Zunächst sei das Kategoriensystem für das Beispiellernen beschrieben. Hier wurde das Construction-Integration-Modell des Textverstehens von Kintsch (1988) zugrunde gelegt. Danach wird beim Aufbau einer Textrepräsentation zwischen der Textbasis („oberflächliches“ Verstehen) und dem Situationsmodell („tiefes“ Verstehen) unterschieden. Bei Ersterem geht es schwerpunktmäßig um Inferenzen

zum Füllen der Argumentationslücken im Text, bei Letzterem um Inferenzen zur Integration des Beispielinhalts in das eigene Vorwissen.

(2.1) Inferenzen, die dem Aufbau einer Textbasis dienen (Paraphrasieren, Verbalisieren von Formeln, Skizzen und Text aufeinander beziehen etc., 4 Unterkategorien).

(2.2) Inferenzen, die dem Aufbau eines Situationsmodells dienen.

Hierzu gehört zunächst der Versuch, ein Situationsmodell eigenständig, ohne Benutzung des Beispieltexes zu erarbeiten. Renkl (1997) hat hierfür den Begriff antizipatorische Beispielbearbeitung eingeführt. Diese bezieht sich in der Regel nur auf den Lösungsansatz und danach geht der Schüler zu der im Text gegebenen Lösung über.

(2.2.1) Antizipatorische Beispielbearbeitung

(2.2.2) Situationsmodell des Textes (Schlussfolgerungen, Herleiten von Formeln, Zahlenrechnungen, 3 Unterkategorien)

Einige andere Typen von Statements, die im Prinzip als Unterkategorien von 2.2.2 hätten eingeordnet werden können, werden separat aufgeführt, um den Vergleich mit den unten dargestellten Problemlösekatégorien klarer zu machen.

(2.2.3) Evaluation des Lernprozesses (Diagnose eigener Fehler beim Elaborieren)

(2.2.4) Weiterführende Inferenzen (Bemerkungen zum methodischen Vorgehen, eigene Ideen zum Beispielinhalt, insbesondere auch Kritik, Bewertung des Textes, 4 Unterkategorien)

Für die Kategorisierung der Statements beim selbstständigen Problemlösen hat es sich als sinnvoll erwiesen, ein Phasenmodell des Problemlösens zugrunde zu legen (Friege, 2001). Die darin unterschiedenen Phasen lassen sich zwanglos den dargestellten Kategorien für das Beispiellernen zuordnen. Im Folgenden wird für analoge Kategorien der gleiche Zifferncode benutzt.

(2.1) Repräsentationsphase (Paraphrasieren des Aufgabentextes, Beschreibung der Aufgabensituation, Zusammenstellen von Information aus der Aufgabe, 3 Unterkategorien)

Zunächst versucht der Schüler, den vorgegebenen Aufgabentext zu verstehen und so zu erarbeiten, worin die Aufgabe überhaupt besteht. Diese Problemrepräsentation entspricht weitgehend dem Aufbau einer Textbasis des Aufgabentextes. Bei Experten ist sie oft sehr knapp und geht unmittelbar in die Lösungsphase über. Novizen können auch während ihrer Lösungsbemühungen wieder hierauf zurückkommen. Ob das dann noch dem Verständnis der Aufgabe dient, oder schlicht ein Zeichen dafür ist, dass man mit der Aufgabe nicht zurechtkommt, ist kaum zu entscheiden.

(2.2) Problemlösung

(2.2.1) Lösungsansatz (Nennung eines Lösungsansatzes oder einzelner Lösungsschritte, Adaptation eines Problemschemas für den vorliegenden Fall, 2 Unterkategorien)

Diese Kategorie entspricht der antizipatorischen Beispielbearbeitung, bei der es in den allermeisten Fällen auch nur um den Lösungsansatz geht, und die Details der Lösung dann aus dem Beispiel entnommen werden.

(2.2.2) Durchführung der Lösung (Anfertigung von Skizzen, Anwendung verschiedener wissenschaftlicher Methoden wie methodische Annahme, Vereinfachungen oder Vernachlässigungen, Rechenprozesse, Notieren von Lösungsschritten, Formulieren eines Ergebnisses, 5 Unterkategorien)

Da die Probleme in den Lernmaterialien mit Skizzen illustriert waren, wurde die Anfertigung von Skizzen durch die Lernenden dieser Kategorie und nicht der auch denkbaren Kategorie (2.1) Repräsentationsphase zugeordnet.

(2.2.3) Evaluation der Lösung (Überprüfung der Lösung und Feststellung von Fehlern oder Ungereimtheiten, 2 Unterkategorien)

(2.2.4) Weiterführende Inferenzen

Die letzte Kategorie wurde nicht in die Auswertung einbezogen, weil sie beim selbstständigen Problemlösen zu gering besetzt war. Bei zwei Kategorien war es nicht möglich, sie in diese an den Phasen des Lösungsprozesses orientierte Gliederung einzuordnen, weil sie innerhalb jeder der Kategorien 2.2.1 bis 2.2.4

vorkamen. Sie wurden deshalb als eigene Kategorien angefügt.

(2.2.5) Schlussfolgerungen durchführen

(2.2.6) Inhaltliche Frage an sich selbst

3 Ergebnisse

3.1 Lernaktivität

Es gibt mehrere Indikatoren für die Aktivität des Lernens mit Beispielaufgaben bzw. beim selbstständigen Problemlösen. Direkte Maße sind die Zahl der während des Lernens geäußerten Selbsterklärungsstatements (Elaborationsaktivität) und die davon abhängige Lernzeit. Indirektere Indikatoren lassen sich aus dem Monitoring gewinnen, z.B. die Zahl der Äußerungen von Interesse, Verständnis oder Missverständnis. Bei unseren Untersuchungen hat sich die Elaborationsaktivität als diejenige dieser Variablen erwiesen, die am besten zwischen Experten und Novizen differenziert (Lind, Friege & Sandmann, 2004). Im Folgenden wird sie deshalb als Maß der Lernaktivität verwendet. Wir bezeichnen mit E(B) die Elaborationsaktivität beim Lernen mit den Beispielen und mit E(P) diejenige beim Problemlösen.

Die Mittelwerte der Aktivitäten bei den beiden etwa gleich langen und mit analogen Aufgaben befassten Lernsituationen waren $E(B) = 185$ und $E(P) = 126$. Der Unterschied ist hochsignifikant ($t = 4,2$ bei $df = 33$). Unsere Schüler haben also erwartungsgemäß im Mittel bei der Beispielbearbeitung eine größere Elaborationsaktivität gezeigt als beim Problemlösen. Dies gilt für Experten und Novizen. Diesen Unterschied kann man natürlich nicht einfach auf die Wirkung der beiden Methoden zurückführen. Er kann auch von der spezifischen Gestaltung unserer Beispiele und Probleme abhängen.

Interessanter als die Absolutwerte der Elaborationsaktivitäten ist deshalb ihr Zusammenhang. Dieser lässt sich durch zwei Effekte beschreiben.

1. Die Korrelation zwischen E(B) und E(P) ist recht hoch ($r = 0,57^{**}$) und hat für Experten und Novizen nahezu den gleichen Wert. Ein Schüler, der beim Beispiellernen eine hohe Aktivität zeigt, wird also wahrscheinlich auch beim Problemlösen aktiv sein. Beim Beispiellernen haben Experten erwartungs-

gemäß im Durchschnitt höhere Werte als Novizen. Die Korrelation zwischen dem Vorwissen und E(B) ist $r = 0,48^{**}$. Die Korrelation zwischen dem Vorwissen und E(P) ist hingegen gering ($r = 0,19$ ns). Die Lernintensität beim Problemlösen hängt also stärker mit der Lernintensität beim Arbeiten mit den Beispielaufgaben zusammen als mit dem Vorwissen.

2. Die Abnahme der Elaborationsaktivität von der Beispielbearbeitung zur Problembearbeitung E(B) - E(P) ist praktisch nur vom Ausgangswert E(B) abhängig. Die Korrelation zwischen beiden Variablen ist $r = 0,90^{**}$. Je höher also die Elaborationsaktivität eines Schülers beim Beispiellernen ist, desto stärker ist die Abnahme der Aktivität zur Problemsituation. Dieses Ergebnis ist praktisch unabhängig vom Vorwissen. Bei Ausparialisierung des Vorwissens sinkt die Korrelation nur wenig auf $r = 0,87^{**}$. Wer sehr intensiv mit den Beispielaufgaben gelernt hat, muss beim Problemlösen vielleicht nicht ähnlich intensiv elaborieren, da ihm die der Beispielaufgabe analoge Problemsituation schon gut bekannt ist (was nicht unbedingt heißt, dass er das Problem auch selbstständig lösen kann). Schüler, die sich nur wenig intensiv mit den Beispielaufgaben beschäftigt haben, behalten die Höhe ihrer Elaborationsaktivität beim Problemlösen praktisch bei.

Bei den beiden genannten Effekten spielt (sicher neben anderen Faktoren) das Wissen eine wesentliche Rolle. Vielleicht kann man die Ergebnisse folgendermaßen deuten: Themenspezifisches deklaratives Wissen (in Physik also Wissen über Begriffe, Gesetze) wirkt sich generell positiv auf die Elaborationsaktivität aus, sowohl beim Lernen mit Beispielaufgaben als auch beim Problemlösen. Beim Problemlösen spielt jedoch zusätzlich das Wissen über die spezielle Problemsituation eine Rolle. Solches Wissen vermindert die Elaborationsaktivität. Wer sein deklaratives Wissen für eine neue Situation zuschneiden will, wird intensiv lernen. Wer bereits weiß oder zu wissen glaubt, was die neue Situation erfordert, wird weniger intensiv lernen. (Entweder er hat es

nicht nötig, oder er vermutet, dass er überfordert sein wird).

3.2 Elaboration beim Beispiellernen

Von den insgesamt gut 9000 Sinneinheiten, die wir in den Protokollen des lauten Denkens aller 34 Schüler beim Lernen mit den Beispielaufgaben unterschieden haben, sind knapp 6000 den Elaborationen zuzuordnen (65%). Die restlichen entfallen auf das Monitoring, Reduktionsstrategien, Wiederholungsstrategien und 3% Statements, die keiner Auswertungskategorie zugeordnet werden konnten. Der größte Teil des Lernens gilt also dem Bemühen, die Beispiele zu verstehen.

Alle 18 Elaborationskategorien sind genügend stark besetzt, um statistisch weiterverarbeitet werden zu können. Bei den Inferenzen dominieren diejenigen zum Aufbau einer Textbasis (mit der zentralen Kategorie des Paraphrasierens des Textes, d.h. der Text wird mit eigenen Worten ausgedrückt) und diejenigen zum Aufbau eines Situationsmodells (mit der zentralen Kategorie des Schlussfolgerns). Weiterführenden

de Inferenzen sind deutlich seltener und ein Zeichen einer Elaboration auf hohem Niveau. Auch der Evaluation zuzuordnende Statements sind nicht sehr häufig. Insgesamt ergibt sich ein vielfältiges Spektrum von Lernstrategien.

Die Statements in den 18 Elaborationskategorien wurden einer Faktorenanalyse unterworfen (Hauptkomponentenmethode mit anschließender schiefwinkliger Rotation, da nicht von vornherein angenommen werden kann, dass die extrahierten Dimensionen unabhängig voneinander sind). Nach den üblichen Kriterien waren 2 Faktoren zu extrahieren, die 54% der Varianz erklären. Die Korrelation zwischen den beiden Faktoren ist gering ($r = 0,24$) und nicht signifikant. Eine rechtwinklige Rotation (Varimax) führt deshalb zu einem ganz ähnlichen Ergebnis. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Ladungen der einzelnen Kategorien auf den beiden extrahierten Faktoren B1 und B2. Es wird nur zwischen hohen und mittleren Ladungen unterschieden und der Übersichtlichkeit halber sind Unterkategorien zusammengefasst.

Kategorie	Beispiellernen		Problemlösen		
	B1	B2	P1	P2	P3
Abruf aus dem Gedächtnis					
1.1.1 Wissen aus Lernmaterialien		+			
1.1.2 Vorwissen	+		+	0	
1.2 erfolgloser Abruf		+			+
1.3 nochmals lesen		+/0 ¹⁾			
2.1 Textbasis/Repräsentation	0 ²⁾	+/0 ³⁾		+	
2.2.1 antizip. Beispieltbearb./Lösungsansatz	+		+		
2.2.2 Situationsmodell/Durchführung	+	0 ⁴⁾	+	5)	6)
2.2.3 Evaluation	+		0	0	
2.2.4 weiterführende Inferenzen	+ ⁷⁾		-	-	-
2.2.5 Schlussfolgerungen	-	-	0	+	
2.2.6 Frage an sich selbst	-	-			+

Tabelle 1: Ladungsmatrizen der Faktorenanalysen über die Elaborationskategorien beim Beispiellernen und beim Problemlösen (+: hohe Ladung > 0,65; 0: mittlere Ladung zwischen 0,40 und 0,65; -: nicht relevant bzw. nicht ausgewertet).

1) eine Unterkategorie lädt hoch, eine mittel

2) 2 von 4 Unterkategorien

3) eine Unterkategorie lädt hoch, 3 mittel

4) 2 von 3 Unterkategorien“

5) nur eine von 5 Unterkategorien lädt mittel: „Nennung von Ergebnissen“

6) negative mittlere Ladung bei einer Unterkategorie: „Nennung von Ergebnissen“

7) 3 von 4 Unterkategorien

Die 2-Faktoren-Lösung zeigt also keine besonders klare Einfachstruktur, was aber auch nicht zu erwarten ist, da z.B. der Aufbau einer Textbasis bei jeder Elaboration nötig ist. Trotzdem sind die Faktoren sehr gut interpretierbar und beschreiben die dem Construction-Integration-Modell von Kintsch (1988) zugrunde liegende Unterscheidung von Tiefen- und Oberflächenstrategien (Marton & Säljö, 1984).

B1:tiefe Beispielelaboration

Der Lernende versucht, die Beispiele in allen Aspekten zu verstehen und die neue Information in sein Vorwissen zu integrieren. Er kann auf einschlägiges Vorwissen zurückgreifen und muss deshalb dem Aufbau einer Textbasis keine allzu große Aufmerksamkeit widmen, sondern kann sich auf die Erarbeitung eines umfassenden Situationsmodells konzentrieren. Dabei spielen antizipatorische, evaluative und die Beispiele weiterführende Inferenzen eine Rolle.

B2:oberflächliche Beispielelaboration

Dem Lernenden mangelt es an einschlägigem Vorwissen. Er muss deshalb bei der Elaboration weitgehend mit dem auskommen, was der Text bietet. Seine Elaboration widmet sich deshalb überwiegend dem Aufbau der Textbasis. So kann er das Beispiel wenigstens oberflächlich verstehen, seine Bemühungen zum Aufbau eines Situationsmodells bleiben jedoch bei Ansätzen stehen. Antizipatorische Beispielbearbeitung und weiterführende Überlegungen sind ihm nicht möglich.

Wenn diese Interpretation richtig ist, sollten die beiden Faktoren deutliche Beziehungen zum Vorwissen haben. In der Tabelle 2 sind die Korrelationen und die Partialkorrelationen bei Kontrolle der Elaborationsaktivität $E(B)$ gegeben.

Der Faktorwert einer Vp. auf einem Faktor liefert zwei Informationen, eine Information über die Bedeutsamkeit dieses Faktors für die Vp., im Vergleich zu anderen Faktoren, und eine Information über die Lernaktivität der Vp., die sich auf alle Faktoren auswirkt. Eine wenig aktive Vp., die überwiegend dem Faktor gemäß lernt, und eine sehr aktive Vp., die überwiegend anders lernt, können den gleichen Faktorwert haben. Da die Lernaktivität jedoch gleichfalls mit dem Vorwissen korreliert ($r = 0,48^{**}$), ist es sinnvoll, ihren Einfluss auf die Korrelationen zwischen dem Vorwissen und den Faktoren zu kontrollieren. Dann zeigt sich, dass die tiefe Elaboration hoch positiv und die oberflächliche hoch negativ mit dem Vorwissen korreliert. Wegen dieser engen Beziehung kann man aus der Art und Weise der Beispielbearbeitung mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das Vorwissen eines Schülers rückschließen. Ein multiple Regression mit den beiden Faktoren als Prädiktoren und dem Vorwissen als abhängiger Variable ergibt eine multiple Korrelation von $R = 0,84^{**}$. Die β -Gewichte sind $\beta_{B1} = 0,86^{**}$ und $\beta_{B2} = -0,31^{**}$. Auch hier zeigt sich also der engere Zusammenhang von B1 und dem Vorwissen.

3.3 Elaboration beim Problemlösen

Aus dem lauten Denken während des Problemlösens der 34 Schüler wurden knapp 6000 Statements kodiert, davon entfielen 82% auf Elaborationen und der Rest auf das Monitoring und 6% nicht zuzuordnende Statements. Die Kodierung wurde ursprünglich nach einem ausführlicheren Kategoriensystem vorgenommen als es oben geschildert wurde. Es stellte sich jedoch heraus, dass eine Reihe dieser Kategorien zu schwach besetzt war, um faktorenanalytisch weiter verarbeitet werden zu können. Es wurden deshalb, soweit sinnvoll,

		Korrelation	Partialkorrelation
B1	tiefe Elaboration	0,78**	0,81**
B2	oberflächliche Elaboration	- 0,11	- 0,69**

Tabelle 2: Korrelationen der Faktoren B1 und B2 mit dem Vorwissen und Partialkorrelationen bei Kontrolle von $E(B)$.

Kategorien zusammengefasst. Diejenigen Kategorien, bei denen dies nicht sinnvoll war, wurden aus der Analyse ausgeschlossen, so dass die im Folgenden geschilderte Faktorenanalyse auf etwa 4600 Statements (76% aller Statements) beruht.

Zu den ausgeschlossenen Kategorien gehörte auch die explizite Nennung von Analogien zwischen Beispielaufgabe und Problemaufgabe. Da die Problemaufgaben den Beispielaufgaben strukturell analog waren, hatten wir erwartet, dass Schüler diese Analogie bemerken und dann evtl. versuchen würden, den Lösungsgang der Beispielaufgabe zu rekonstruieren und entsprechend Schritt für Schritt das Problem zu lösen. Eine solche analogiebasierte Suche wird z.B. in dem zur Modellierung des Selbsterklärens entwickelten Programm CASCADE (VanLehn, Jones & Chi, 1992) angenommen. Ein solches Vorgehen war jedoch untypisch. Nur sehr selten (insgesamt 54-mal) wurden Analogien zu den Beispielaufgaben explizit gemacht, wenn auch selbstverständlich das mit den Beispielaufgaben gelernte Wissen verwendet wurde. Offenbar wurde dieses jedoch in der Regel aus dem Gedächtnis abgerufen, ohne dass eine genaue Rekonstruktion der Beispielsituation nötig war. Es gab also keinen Unterschied zwischen der Verwendung des mit den Beispielen gelernten Wissens und des bereits vorher vorhandenen Vorwissens. Eine statistische Auswertung der Analogienennungen war nicht sinnvoll, da 21 der 54 Nennungen auf nur drei Schüler entfielen und 14 Schüler keinerlei Analogien nannten. Eine Betrachtung der Streudiagramme lässt keine Beziehungen zu irgendeiner anderen der in dieser Untersuchung betrachteten Variablen erkennen.

Zu den ausgeschlossenen Kategorien gehörten auch die weiterführenden Inferenzen (nur 37 Nennungen in allen 4 Unterkategorien). Offenbar bietet das Problemlösen, im Unterschied zum Beispiellernen, für diese Art der Elaboration wenig Anreize.

Die dominierenden Kategorien sind „Beschreibung der Aufgabensituation“ als typisch für die Repräsentationsphase, verschiedene Arten von „Schlussfolgerungen“, die den gesamten

Elaborationsprozess begleiten und wohl am besten zeigen, dass die Problemlösesituation auch eine Lernsituation ist und einige Kategorien aus dem Bereich Durchführung der Lösung („schriftlich notieren“, „Ergebnis nennen“), die eher den mechanischen Teil der Durchführung widerspiegeln. Die stärker auf Lernprozesse hinweisenden Kategorien aus dem Bereich der Lösungsdurchführung (insbesondere „Anwendung wissenschaftlicher Methoden“) und der Bereich der Evaluation sind nicht sehr stark besetzt.

Die verbleibenden 16 Kategorien wurden wieder einer Hauptkomponentenanalyse mit anschließender schiefwinkliger Rotation unterworfen. Hier waren drei Faktoren zu extrahieren, mit einer Varianzaufklärung von 58%. Eine Korrelation ergab sich nur zwischen den beiden Faktoren P1 und P2, mit $r = 0,31$. Auch hier führt die Varimax-Rotation zu ganz ähnlichen Resultaten. Eine Beschreibung der Faktoren gibt Tabelle 1.

Hier ist die Einfachstruktur recht gut und eine Interpretation der Faktoren auch gut möglich.

P1: Reibungslose interpretative Wissensanwendung (routiniertes Problemlösen)

Der Schüler besitzt anscheinend genügend Wissen, um die Aufgabe bearbeiten zu können. Sein Wissen erlaubt es ihm, die Aufgabe unmittelbar zu verstehen, so dass Elaborationen zur Repräsentation entfallen. Alle anderen Phasen des Problemlösungsprozesses werden durchlaufen, wobei das Schwergewicht auf der Adaptation des eigenen Wissens an die Problemsituation liegt. Wenn wir hier von „routiniertem Problemlösen“ sprechen, so bezieht sich das auf unsere Stichprobe. Es ist die relativ routinierteste Art des Problemlösens, die bei Schülern erwartet werden kann. Es fehlt jedoch die weitgehende Automatisierung expertenhafter Schemaanwendung bei vertrauten Problemtypen.

P2: Interpretative Wissensanwendung bei Wissensmangel (nicht routiniertes Problemlösen)

Hier ist das notwendige Wissen vermutlich nicht vollständig vorhanden und der Schüler muss einen beträchtlichen Aufwand

betreiben, um die Aufgabe zunächst einmal zu verstehen und die Anforderungen einzusehen (Repräsentationsphase). Im weiteren Verlauf der Lösung spielt dann die Wissenskonstruktion durch verschiedenen Arten von Schlussfolgerungen eine Hauptrolle. Dies scheint auch zu gewissen Ergebnissen zu führen. Die Evaluation des Prozesses ist ähnlich intensiv wie bei P1.

P3: Misslingen

Konstitutiv ist der Mangel am notwendigen Wissen und das Infragestellen der eigenen Gedanken. Ergebnisse gibt es kaum. Das Bild des Scheiterns wird durch das Monitoring bestätigt. Der Faktor korreliert mit der Äußerung von Unverständnis ($r = 0,56^{**}$) und mit der Einschätzung, das Problem sei schwierig ($r = 0,33^{**}$).

Die Interpretation der Faktoren lässt Beziehungen zum Vorwissen erwarten und selbstverständlich sollte auch das Lernen mit den Beispielaufgaben eine Rolle spielen. Die folgende Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse.

Die Korrelationen zwischen den Problemlösefaktoren P1 und P2 und dem Vorwissen bzw. den Beispielelaborationsfaktoren B1 und B2 sind von der zu erwartenden Art, allerdings sind sie nicht sehr hoch. Partialkorrelationen bei Kontrolle der Problemlöseaktivität $E(P)$ sind nicht angegeben. Da $E(P)$ nur schwach mit dem Vorwissen korreliert, ändern sich die Korrelationen mit dem Vorwissen durch die Kontrolle von $E(P)$ auch kaum. Die Korrelationen mit B1 und B2 brechen durch die Kontrolle von $E(P)$ weitgehend zusammen. Sie sind also überwiegend nicht auf echte Beziehungen zwischen den Variablen zurückzuführen, sondern darauf, dass eine intensive Elaboration

der Beispiele meist auch mit hoher Problemlöseaktivität einhergeht. Man kann diese Ergebnisse folgendermaßen interpretieren:

1. Das Vorwissen wirkt beim Problemlösen nicht direkt, sondern vermittelt über das Beispiellernen. Deshalb ist die Beziehung auch weniger eng. Auch unsere Experten haben das zur Lösung der Probleme nötige spezifische Wissen überwiegend erst beim Durcharbeiten der Beispielaufgaben gelernt oder sich während des Problemlösens daraus erarbeitet. Dabei hat ihnen ihr Vorwissen natürlich geholfen.
2. Die Art der Elaboration beim Beispiellernen und beim Problemlösen sind nicht sehr stark voneinander abhängig. Nur die Faktoren B1 und P1 korrelieren bei Kontrolle von $E(P)$ noch substanziell. Die durch hohes Vorwissen bedingte expertenhafte Elaboration der Beispiele setzt sich beim Problemlösen fort.

Diese Ergebnisse weisen auf einen wichtigen Unterschied zwischen dem Lernen mit Beispielen und dem Problemlösen hin: Zum erfolgreichen Lernen mit Beispielen genügt ein relativ allgemeines Vorwissen, das die wichtigsten Begriffe und Gesetze des betreffenden Gebiets umfasst. Zum erfolgreichen Lernen mit Problemen würde ein solches Wissen zwar prinzipiell auch ausreichen, aber die dann notwendige umfangreiche interpretative Wissensanwendung würde den Problemlöser meist überfordern. Nur wenn relativ aufgabenspezifisches Wissen vorhanden ist, steigt die Erfolgswahrscheinlichkeit. Die Art und Weise der Elaboration beim Problemlösen ist dann vom Vorhandensein ganz spezifischer Wissensenselemente abhängig.

Charakteristisch für das Lernen durch Pro-

		P1	P2	P3
Vorwissen		0,49**	0,05	- 0,25
B1	tiefe Beispielelaboration	0,52**	0,24	- 0,01
B2	oberflächliche Beispielelaboration	0,29	0,33	0,41*
$E(P)$	Problemlöseaktivität	0,70**	0,75**	0,17

Tabelle 3: Korrelationen der Faktoren P1, P2 und P3 mit Vorwissen und Beispiellernen.

blemlösen ist der Faktor P3 (Misslingen), der kein Pendant beim Beispiellernen hat. Dies ist sicher ein Vorteil des Beispiellernens. Wovon das Misslingen abhängt, lässt sich aus den von uns betrachteten Variablen kaum erschließen. Es ergibt sich nur zu B2 eine substantielle Korrelation ($r = 0,41^{**}$). Oberflächliche Elaboration der Beispiele erhöht also die Wahrscheinlichkeit, dass das Problemlösen misslingt. Vermutlich wäre zu einer genaueren Erklärung der Bedingungen des Misslingens auch die Betrachtung spezifischer Wissensselemente notwendig und nicht nur eine Untersuchung des Elaborationsverhaltens.

Angedeutet ist auch ein negativer Zusammenhang von P3 mit dem Vorwissen. In der Tat haben die Experten in unserer Untersuchung im Mittel niedrigere Misslingenswerte als die Novizen. Es gibt jedoch einige Ausnahmen. Drei Schüler, die nach ihrem Vorwissen und nach den Kennzeichen ihres Lernens klar als Experten einzuschätzen sind, haben sehr hohe Misslingenswerte. Sie haben trotz hoher Problemlöseaktivität und überwiegend expertenhaftem Problemlöseverhalten nicht die von ihnen selbst erwarteten Ergebnisse erzielen können und waren darüber offenbar recht frustriert.

3.4 Lernprofile und Lernerfolg

Bisher wurden die Situationen des Beispiellernens und des Lernens durch Problemlösen getrennt betrachtet und es wurden die für beide Lernformen typischen Dimensionen des Lernens identifiziert: tiefes und oberflächliches Verstehen des Beispiels, routiniertes, nicht routiniertes und misslingendes Problemlösen. Bis auf Letzteres kann man die anderen vier Dimensionen wohl als Lernstrategien betrachten, die allerdings vom Lernenden nicht beliebig gewählt werden können, sondern deren Durchführbarkeit von seinem Vorwissen abhängt.

Nun sollen die beiden Lernsituationen im Zusammenhang betrachtet werden und es soll nach typischen Lernprofilen gefragt werden. Nach den dargestellten Ergebnissen sind ein expertenhaftes und ein novizenhaftes Lernpro-

fil zu erwarten. Interessant ist die Frage, ob es daneben noch weitere Profile gibt.

Das Vorgehen ist clusteranalytisch. Es wurden sieben Variablen in die Analyse einbezogen: Vorwissen, B1, B2, P1, P2, P3 und das Problemlöseergebnis. Da wir nur an den Variablenprofilen der einzelnen Cluster interessiert sind, d.h. daran, wie stark ein Cluster in einer Variable vom Gesamtmittelwert abweicht, haben wir Clusterzentrenverfahren verwendet. Alle Variablen sind z-standardisiert. Damit ist gesichert, dass alle in einer Clusteranalyse einbezogenen Variablen das gleiche Gewicht haben. Zunächst wurde eine hierarchische Clusterzentrenanalyse gerechnet (nach dem Ward-Verfahren). Hier kann in einfacher Weise aufgrund der Verschmelzungsniveaus bzw. der Zunahme der Streuungsquadratsumme zwischen den aufeinanderfolgenden Clusterungsschritten die Clusterzahl bestimmt werden. In unserem Fall war eine 3-Cluster Lösung zu präferieren. Als zweiter Schritt wurde mit einem partitionierenden Algorithmus geclustert, dessen Modellannahmen dem Ward-Verfahren entsprechen (K-Means-Verfahren). Dabei wurden die mit dem Ward-Verfahren ermittelten Clusterzentren als Startwerte benutzt. Durch ein solches Vorgehen kann der Anteil von Fehlklassifikationen reduziert werden (Bacher, 1994). Außerdem kann die Übereinstimmung beider Clusterungen als Maß für die Stabilität gelten. Eine Vp. wurde dabei anders zugeordnet und eine Vp. wurde wegen sehr großer Distanz zum Clusterzentrum ausgeschlossen. Die Abbildung 1 zeigt die Profile der drei Cluster. Es ergeben sich ein expertenhaftes und zwei novizenhafte Cluster mit ähnlichem qualitativem Verlauf, jedoch stark voneinander abweichenden Profilhöhen und Profilstreuungen.

Cluster 1 (12 Vpn.): Expertenhaftes Lernen, gekennzeichnet durch hohes Vorwissen, tiefe Beispielelaboration, routiniertes Problemlösen und hohen Lernerfolg. Bei den restlichen drei Variablen liegen die Gruppennittelwerte um den oder unter dem Durchschnitt. Bei P3 (Misslingen)

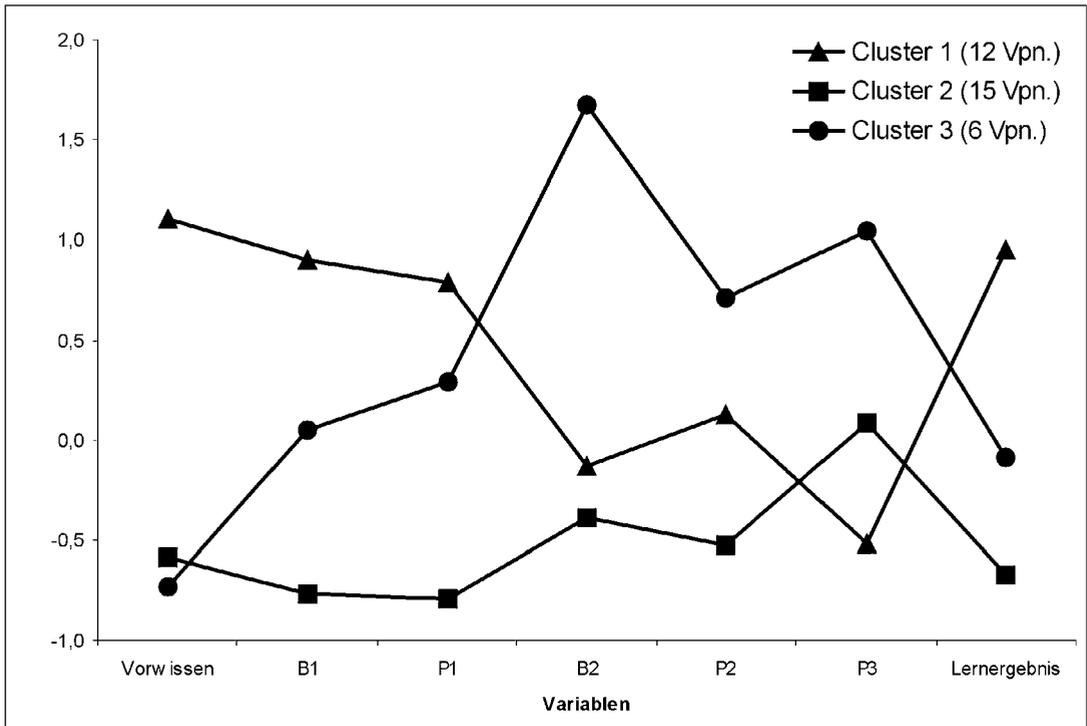


Abbildung 1: Profile der 3-Cluster-Lösung

ist der Wert der kleinste von allen Clustern.

Cluster 2 (15 Vpn.): Wenig intensives, novizenhaftes Lernen. Bei allen Variablen außer P3 und dem Vorwissen, das bei Cluster 3 ähnlich niedrig ist, hat Cluster 2 die niedrigsten Werte. Außerdem ist die Profilstreuung die geringste von allen drei Clustern. Hervorstechendes Kennzeichen ist also eine geringe Lernaktivität. Dabei haben die novizenhaften Variablen B2, P2 und P3 noch die relativ höchsten Werte. Den insgesamt höchsten Wert hat P3, wodurch das Misslingen des Problemlösens angezeigt wird. Die Mehrzahl der Novizen lernt nicht intensiv und bleibt erfolglos.

Cluster 3 (6 Vpn.): Intensives, novizenhaftes Lernen. Diese kleinere Gruppe von Novizen zeigt, dass trotz sehr geringen Vorwissens ein gewisser

Lernerfolg möglich ist. Diese Schüler sind besonders beim Beispiellernen, aber auch beim Problemlösen sehr aktiv, wenn auch ihr geringes Vorwissen nur überwiegend oberflächliche Beispielbearbeitung und nicht-routiniertes Problemlösen zulässt. Sie sind jedoch anscheinend aufgrund dieses sehr intensiven, novizenhaften Lernens sogar in der Lage, in begrenztem Umfang tief zu elaborieren und routiniert die Probleme anzugehen. Dies führt dann immerhin zu einem durchschnittlichen Lernergebnis. Interessant ist, dass in diesem Cluster die Durchschnittswerte von P3 (Misslingen) am höchsten sind. Ein solches intensives Elaborieren trotz fehlenden Vorwissens erfordert wohl eine gewisse Frustrationstoleranz.

Die Benennung der Cluster lässt erwarten, dass Cluster 1 die Experten und Cluster 2 und 3 die

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	
Physikolympioniken	12	3	2	17
Biologieolympioniken		12	4	16
	12	15	6	

Tabelle 4: Kreuztabelle Expertisegrad/Cluster.

Novizen aus unserer Untersuchung enthalten sollten. Wenn man die Physikolympioniken als „Experten“ zählt und die Biologieolympioniken als „Novizen“, erhält man für 85% der Schüler eine angemessene Zuordnung (siehe Tabelle 4). Teilt man nach dem Median des Vorwissens in Experten und Novizen, ergibt sich fast die gleiche Tabelle, mit gleichfalls 85% übereinstimmender Zuordnung.

Cluster 1 besteht nur aus Physikolympioniken, und alle Biologieolympioniken fallen in die Cluster 2 und 3. Die beiden Physikolympioniken, die Cluster 3 zugeordnet werden, haben innerhalb ihrer Gruppe ein recht geringes Vorwissen, so dass ihr eher novizenhaftes Lernen verständlich ist. Auch von den 3 dem Cluster 2 zugeordneten Physikolympioniken ist einer tatsächlich eher als Novize zu betrachten. Die anderen beiden sind Experten mit sehr geringer Elaborationsintensität, die aufgrund ihrer niedrigen Werte in allen Lernvariablen diesem Cluster zugeordnet werden (und große Distanzen zum Clusterzentrum haben).

Lässt man in die Clusteranalyse nur Variablen aus dem Lernen mit den Beispielaufgaben eingehen (wobei außer Elaborations- auch Reduktionsstrategien betrachtet wurden), so

ist diese Gruppe größer und bildet sich als eigenes Cluster ab (Lind, Friege & Sandmann, 2004), das „wenig intensive, expertenhafte Lernen“.

Welche der untersuchten Variablen hat den größten Einfluss auf den Lernerfolg, das Vorwissen, die Elaboration beim Beispiellernen gemäß B1 und B2 oder die Elaboration beim Problemlösen gemäß P1, P2 und P3? Leider ist es nicht möglich, diese Frage für die drei Cluster getrennt zu untersuchen, da die Versuchspersonenzahlen zu klein sind. Die Tabelle 5 gibt deshalb nur die Ergebnisse linearer Regressionen für die gesamte Stichprobe.

Das Vorwissen ist ein guter Prädiktor des Lernerfolgs. Seine Wirkung ist allerdings über das Beispiellernen vermittelt (die Korrelation bricht bei Auspartialisieren von B1 und B2 zusammen). Es fördert also den Wissenserwerb beim Beispiellernen. Die Beziehung ist sehr eng, so dass die Dimensionen des Beispiellernens B1 und B2 keinen sehr viel größeren Anteil der Lernerfolgsvarianz aufklären als das Vorwissen. Von den beiden Dimensionen B1 und B2 hat B1 den größeren prädiktiven Wert. Er ist demjenigen des Vorwissens weitgehend äquivalent.

unabhängige Variablen	R	R ² _{korrigiert}	β
Vorwissen	0,53**	0,28	
B1 und B2	0,60**	0,31	$\beta_{B1} = 0,61, \beta_{B2} = -0,18$
P1, P2 und P3	0,56**	0,25	$\beta_{P1} = 0,53; \beta_{P2} = -0,03; \beta_{P3} = -0,20$
P1	0,53**	0,27	
B1, B2 und P1	0,67**	0,40	$\beta_{B1} = 0,43; \beta_{B2} = -0,24; \beta_{P1} = 0,37$

Tabelle 5: Vorhersage des Lernergebnisses durch lineare Regression.

Interessanterweise ist der prädiktive Wert der Problemlösedimensionen P1, P2 und P3 geringer als derjenige der Dimensionen des Beispiellernens, obwohl der Lernerfolg doch das Ergebnis des Problemlösens darstellt. Nur P1 erklärt einen beträchtlichen Teil der Lernerfolgsvarianz, und zwar praktisch genau so viel wie das Vorwissen.

Eine Ursache für den unerwartet schwachen Zusammenhang zwischen Problemlösedimensionen und Lernerfolg sind die Personen aus Cluster 3. Wenn man sie aus der Stichprobe ausschließt, steigt die Korrelation zwischen P1 und dem Lernergebnis deutlich an, auf $r = 0,66^{**}$ und die multiple Korrelation von P1 und P3 mit dem Lernergebnis steigt entsprechend auf $R = 0,72^{**}$ ($R^2_{\text{komigiert}} = 0,48$). P2 ist auch hier redundant. Offenbar folgt das Problemlösen der Cluster 1 und 2 demselben Schema: je höher die Werte von P1 und je niedriger die Werte von P3, desto größer der Lernerfolg. Die Schüler in Cluster 3 haben demgegenüber, wie Abbildung 1 zeigt, ein anderes Profil. Die Korrelationen zwischen Lernerfolg und Vorwissen bzw. B1 und B2 sind in der Teilstichprobe aus Cluster 1 und 2 kaum anders als in der Gesamtstichprobe. Das abweichende Profil von Cluster 3 scheint also erst in der Problemlösungsphase ergebnisrelevant zu werden. Leider sind genauere Untersuchungen hier wegen der geringen Zahl von Vpn. in Cluster 3 nicht möglich. Vielleicht spielt hier die Dimension P2, die für den Lernerfolg der anderen beiden Cluster keine Bedeutung hat, eine Rolle: die Kombination eines lückenhaften Wissens mit intensiver Aufgabenanalyse und dem Versuch, die Wissenslücken durch intensives Schlussfolgern zu überbrücken.

4 Diskussion

In der pädagogischen Literatur wird das Lernen mit Beispielaufgaben in den letzten Jahren häufiger untersucht und manchmal werden große Hoffnungen damit verbunden. Diese ruhen in erster Linie auf der Elaboration des Beispieltextes beim Selbsterklären. Chi (2000) meint, das Selbsterklären sei „a learning activity that seems to be domain general, effective for learning both procedural and conceptual

type of domains, easily used, and beneficial to students of all abilities“. Sie glaubt aus ihren Untersuchungen schließen zu können, das Selbsterklären (und insbesondere die Zahl der generierten Selbsterklärungen) sei weitgehend vorwissensunabhängig, so dass auch Novizen hierdurch gute Lernergebnisse erreichen könnten.

Unsere Ergebnisse legen demgegenüber nahe, die Erwartungen bescheidener zu formulieren. Das Vorwissen spielt beim Selbsterklären von Beispielaufgaben (genau so wie beim selbstständigen Problemlösen) eine entscheidende Rolle, und zwar sowohl was die Quantität, wie auch die Qualität der Selbsterklärungen angeht. Es scheint auch nicht auszureichen, das für eine tiefe Beispielelaboration notwendige Hintergrundwissen zum Nachschlagen bereitzustellen (wie wir es getan haben). Ein Lexikon ersetzt kein gut vernetztes Wissen.

Das Beispiellernen macht hier gegenüber anderen, auf die eigenständige Konstruktion von Wissen zielenden Methoden keine Ausnahme: am meisten profitieren in der Regel die Experten. Novizen erfassen den Beispieltext nur oberflächlich und werden ihn nachher bestenfalls reproduzieren können. Wenn sie etwas Neues lernen sollen, reicht es nicht, nur das Lösungsbeispiel vorzustellen, man muss es ihnen zusätzlich erklären. Dabei geht es nicht darum, alle Rechenschritte im Detail zu diskutieren. Wichtig sind vielmehr der Lösungsansatz und die Logik des Gedankengangs. Sie sollten nicht nur vorgestellt, sondern begründet werden.

Eine auf die reine Darstellung der Lösungsschritte beschränkte Beispiellösung ist aber auch für die Experten nicht besonders günstig. Bei ihnen ist es wichtig, möglichst viele zusätzliche Hinweise zu geben, die zur weiterführenden Elaboration anregen: Zusatzinformationen, weiterführende Fragen, Anregungen, die nicht ausgearbeitet werden, Alternativen, Aspektierungen.

Eine Differenzierung könnte vielleicht so aussehen, dass Experten und Novizen die eigentliche Beispiellösung in der gleichen Form erhalten und dass diese für die Novizen mit einer Erklärung des Lösungsansatzes und für die

Experten mit vielfältigen Elaborationsanreizen angereichert wird.

Derart an das Vorwissensniveau der Schüler angepasste Beispielaufgaben vermeiden einige Nachteile des selbstständigen Problemlösens:

1. Problemlösen misslingt nicht selten und dann wird der Schüler frustriert, lernt aber wenig. Dies trifft in erster Linie die Novizen, kann aber auch bei Experten eintreten, denn die interpretative Wissensanwendung erfordert viele Informationsverarbeitungsprozesse und ist fehleranfällig.
2. Problemlösen erfordert einfachere Probleme, wenn man die Gefahr des Misslingens eindämmen will. Solche Probleme bieten dann meist auch weniger Neues, Interessantes und als Folge davon werden die Schüler ihre Elaborationsaktivität reduzieren, weil sie das Problem schon zu kennen glauben.
3. Problemlösen bietet den Experten weniger Gelegenheiten zu weiterführenden, über das Problem hinausgehenden Elaborationen. Andererseits sind oft eine Reihe von Informationsverarbeitungsprozessen nötig, die im Sinne des Lernziels irrelevant sind. Beim Beispiellernen kann der Schüler solche Teilschritte schlicht durchlesen, ohne sich intensiv mit ihnen zu befassen.

Da Problemlösen und Beispiellernen eine ähnliche Funktion haben, nämlich die Situierung und Prozeduralisierung des deklarativen Wissens, sollte man unseres Erachtens längere Phasen des Beispiellernens im Unterricht einplanen und dabei mit umfangreichem, vielseitigem Beispielmateriale arbeiten, dessen Gestaltung zunehmende Anforderungen an die Selbstständigkeit stellt. Natürlich bleibt die Problemlösekompetenz das Unterrichtsziel, aber Beispielaufgaben scheinen ein gangbarer Weg dorthin zu sein. Selbst zur Überprüfung der Problemlösekompetenz muss man nicht unbedingt Probleme lösen lassen. Es gibt andere, den Lösungsansatz stärker gewichtende Verfahren (Lind & Friege, 2003; Friege & Lind, 2004).

Ein wichtiges pädagogisches Ziel sollte es sein, die Zahl der „intensiv lernenden Novizen“ zu vergrößern, ihren Lernprozess zu unterstützen

und möglichst frustrationsarm zu gestalten und damit gleichzeitig die Zahl der wenig intensiv lernenden Novizen zu verringern, die kaum von den gebotenen Lerngelegenheiten profitieren und beim Problemlösen versagen. Dies ist sicher nur durch Beispiellernen oder andere Verfahren eines relativ stark gelenkten Problemlösens möglich.

Literatur

- Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94 (2), 192-210.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked-out examples research. *Review of Educational Research*, 70, 181-214.
- Bacher, J. (1994). Clusteranalyse. München, Wien: Oldenbourg.
- Chi, M. T. H. (2000). Self-explaining expository texts: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In R. Glaser (Ed.), *Advances in Instructional Psychology*, Mahwah, NJ: Erlbaum, 161-238.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-Explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 31, 145-182.
- Ericsson, K. A. & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review* 102, 211-245.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data* (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Fortmüller, R. (1991). Der Einfluß des Lernens auf die Bewältigung von Problemen: eine kognitionspsychologische Analyse des Problembereiches „Lerntransfer“. Wien: Manz.
- Friege, G. (2001). Wissen und Problemlösen – Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs. Berlin: Logos Verlag.
- Friege, G. & Lind, G. (2004). Leistungsmessung im Leistungskurs. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Heft 5.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Kintsch, W. (1993). Information accretion and reduction in text processing: Inferences. *Discourse Processes*, 16, 193-202.
- Kintsch, W. (1994). Text comprehension, memory and learning. *American Psychologist*, 49, 294-303.
- Kintsch, W. & Ericsson, A. (1996). Die kognitive Funktion des Gedächtnisses. In D. Albert & K. H. Stapf (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie*, C, II, 4. Göttingen: Hogrefe, 541-591.
- Lind, G. & Sandmann, A. (2003). Lernstrategien und Domänenwissen. *Zeitschrift für Psychologie*, 211(4), 171-192.
- Lind, G. & Friege, G. (2003). Wissen und Problemlösen – Eine Untersuchung zur Frage des „trägen Wissens“. *Empirische Pädagogik*, 17, 57-86.
- Lind, G., Friege, G. & Sandmann, A. (im Druck). Selbsterklären und Vorwissen. *Empirische Pädagogik*.
- Marton, F. & Säljö, R. (1984). Approaches to learning. In F. Marton, D. Hounsell & N. Entwistle (Eds.), *The experience of learning*, Edinburgh: Scottish Acad. Press, 36-55.
- McNamara, D. S., Kintsch, E., Butler Songer, N. & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction*, 14, 1-43.
- Mwungi, W. & Sweller, J. (1998). Learning to solve compare word problems: The effect of example format and generating self-explanations. *Cognition and Instruction*, 16, 173-199.
- Nagel, E. (1971). *The structure of science; Problems in the logic of scientific explanation*. London: Routledge & K. Paul, 3. Aufl.
- Nathan, M. J., Kintsch, W. & Young, E. (1992). A theory of algebra-word-problem comprehension and its implications for the design of learning environments. *Cognition and Instruction*, 4, 329-389.
- Neber, H. (1997). Wissensgenerierung durch Lernaufgaben: Lernen mit Beispielen und problemorientierter Erwerb im Bereich technischen Rechnens. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 11(1), 27-39.
- Paas, F. G. W. C. & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21, 1-29.
- Renkl, A., Atkinson, R. K., Maier, K. H. & Staley, R. (2002). From example study to problem solving:

- Smooth transitions help learning. *Journal of Experimental Education*, 70, 293-315.
- Renkl, A., Gruber, H., Weber, S., Lerche, Th. & Schweizer, K. (2003). Cognitive Load beim Lernen aus Lösungsbeispielen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17 (2), 93-101.
- Renkl, A., Stark, B., Gruber, H. & Mandl, H. (1998). Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 90-108.
- Schmalhofer, F. (1996). Maschinelles Lernen. In J. Hoffmann & W. Kintsch (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie*, C, II, 7, Göttingen: Hogrefe, 445-501.
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2, 59-89.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Toulmin, S. (1969). *Einführung in die Philosophie der Wissenschaft*. Göttingen: Vandenhoeck.
- Trafton, J. G. & Reiser, B. J. (1993). The contributions of studying examples and solving problems to skill acquisition. In M. Polson (Ed.), *Proceedings of the Fifteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Van Lehn, K. (1989). Problem solving and cognitive skill acquisition. In M. L. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science*. Cambridge MA: MIT Press, 527-579.
- Van Lehn, K. (1996). Cognitive skill acquisition. *Annual Review of Psychology*, 47, 513-540.
- Van Lehn, K., Jones, R. M. & Chi, M. T. H. (1992). A model of the self-explanation effect. *Journal of the Learning Sciences*, 2, 1-60.
- Zhu, X. & Simon, H. A. (1987). Learning mathematics from examples and by doing. *Cognition and Instruction*, 4, 137-166.
- Prof. Dr. Gunter Lind, Dr. Gunnar Friege und Lars Kleinschmidt sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung Didaktik der Physik am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel. Dr. Angela Sandmann ist Professorin für Biologiedidaktik an der Universität Duisburg-Essen. Alle zusammen arbeiten in der Forschungsgruppe "Expertiseforschung in den naturwissenschaftlichen Fächern".

Kontakt

Prof. Dr. Gunter Lind
 Dr. Gunnar Friege
 IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel
 Olshausenstr. 62
 24098 Kiel
lind@ipn.uni-kiel.de
friege@ipn.uni-kiel.de