

# Einfluss derivationaler und transformationaler Beispielformate auf Beispielnutzung und Problemlöseleistung

Kleinbeck, Stefan  
Gerjets, Peter  
Scheiter, Katharina  
Schmid, Ute

Kontaktadresse der Autoren  
Universität des Saarlandes  
Fachrichtung Psychologie / SFB 378: Ressourcenadaptive kognitive Prozesse  
Postfach 15 11 50  
D - 66041 Saarbrücken

**Abstract** Es wurden zwei instruktionelle Beispielformate hinsichtlich ihres Einflusses auf die Beispielnutzung und die anschließende Problemlöseleistung verglichen. Instruktionsmaterial und isomorphe bzw. neuartige Probleme aus dem Bereich Kombinatorik wurden in einer Hypertextumgebung bearbeitet. Das "transformationale Beispielformat" basiert auf der Theorie des "Structure Mappings" und fördert den Erwerb von Wissen, das eine entsprechende analoge Problemlösestrategie nahe legt. Das "derivationale Beispielformat" basiert auf der Annahme, dass Problemlösungen zusammen mit Informationen über ihre Herleitung gespeichert werden (z.B. über Unterziele und Entscheidungen). Diese Form der Beispielrepräsentation sollte die Konstruktion von Lösungen für neuartige Probleme fördern, da sie Informationen darüber enthält, welches Prinzip einzelnen Lösungsschritten zugrunde liegt. Unsere experimentelle Hypothese, dass das "derivationale Beispielformat" zu einer besseren Problemlöseperformanz führt, konnte empirisch bestätigt werden.

## Wissenserwerb aus Beispielen

Zahlreiche Forschungsarbeiten der letzten 15 Jahre aus dem Bereich Lernen und Problemlösen konnten die Nützlichkeit von ausgearbeiteten Beispielen (sogenannten Lösungsbeispielen) beim Wissenserwerb nachweisen (Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000; Reed, 1999). Lösungsbeispiele können als Quellprobleme beim analogen Problemlösen eingesetzt werden (Carbonell, 1984; Gick & Holyoak, 1983) und erleichtern den Erwerb abstrakter Schemata und Prozeduren (Cummins, 1992; Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998). Schemata spielen eine wichtige Rolle beim erfolgreichen Transfer des erworbenen Wissens. Der Einsatz von Lösungsbeispielen zum Wissenserwerb ist jedoch mit zwei wesentlichen Schwierigkeiten behaftet, die sich in der anschließenden Wissensnutzung beim Problemlösen zeigen:

- Problemlöser greifen häufig auf Quellprobleme zurück, die nur oberflächliche Ähnlichkeit zum aktuellen Problem aufweisen (Ross, 1987, 1989). Diese Schwierigkeit beruht darauf, dass Lerner nur unzureichend in der Lage sind, von oberflächlichen Beispielmerkmalen abzusehen und die lösungsrelevanten strukturellen Merkmale aus Beispielen zu abstrahieren. Novick (1988) wies nach, dass oberflächliche Ähnlichkeiten zwischen Beispielaufgaben und Testaufgaben selbst bei Experten zu negativen Transfereffekten führen können.
- Problemlöser zeigen vor allem dann Performanzeinbußen, wenn sie neuartige Probleme bearbeiten sollen, die strukturelle Unterschiede zu bekannten Lösungsbeispielen aufweisen (Reed, Dempster & Ettinger, 1985). Novick und Holyoak (1991) konnten zeigen, dass Problemlöser in erster Linie daran scheitern, einen bekannten Lösungsweg an die neuen Anforderungen zu adaptieren. Diese Schwierigkeit kann darauf zurückgeführt werden, dass Lerner nur ein unzureichendes Verständnis für die Funktion und die Begründung einzelner Schritte einer Problemlösung entwickeln (Carbonell, 1984; Catrambone, 1998).

Diesen beiden Schwierigkeiten kann mit unterschiedlichen instruktionellen Maßnahmen begegnet werden:

- Die Abstraktion über Oberflächenmerkmale und die Induktion allgemeiner Schemata kann insbesondere durch die Vorgabe multipler Beispiele unterstützt werden (Cummins, 1992; Gick & Holyoak, 1983; Reed & Bolstad, 1991). Vor allem die Verwendung von Beispielskombinationen, in denen die Oberflächenmerkmale innerhalb einer Aufgabenkategorie variiert werden, ist nützlich, um den Erwerb struktureller Aufgabenmerkmale zu fördern (Quilici & Mayer, 1996).
- Um ein Verständnis für die Funktion und die Begründung einzelner Lösungsschritte zu erzielen, haben sich insbesondere Elaborationen von Lösungsbeispielen als nützlich erwiesen. Diese können entweder vom Lerner selbst in Form von *Selbsterklärungen* vorgenommen werden (Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989), oder sie können in Form von *instruktionellen Elaborationen* vorgegeben werden (Chi, 1996). Um Lerner zu Selbsterklärungen anzuregen, haben sich *unvollständige Beispiellösungen* (Stark, 1999) und die *unterzielbasierte Strukturierung von Beispiellösungen* (Catrambone, 1998) bewährt.

Den genannten Schwierigkeiten bei der Nutzung von Beispielwissen und den entsprechenden instruktionellen Maßnahmen, durch die sie behoben werden sollen, können zwei theoretische Ansätze zum analogen Problemlösen zugeordnet werden:

- Der Ansatz der *transformationalen Analogie* basiert auf der Theorie des "Structure-Mapping" (Gentner, 1983; Gentner & Markman, 1997). Dabei werden Objekte und Relationen eines Zielproblems den entsprechenden Merkmalen einem isomorphen Quellproblems zugeordnet. In einem zweiten Schritt wird die Problemlösung des Quellproblems als Ganzes auf das Zielproblem übertragen (Schmid, Wirth & Polkoehn, submitted). Für dieses Vorgehen ist weniger ein Verständnis von Lösungsprozeduren erforderlich als vielmehr die Fähigkeit, über oberflächliche Problemmerkmale hinweg strukturell äquivalente Objekte und Relationen zu erkennen und einander zuzuordnen. Dieser Ansatz beruht damit wesentlich auf Abstraktionsprozessen und resultiert in der Bildung von Aufgabenkategorien und Problemlöseschemata.
- Der Ansatz der *Herleitungsanalogie* (Carbonell, 1984, 1986; Schmid & Carbonell, 1999) betont im Gegensatz zur transformationalen Analogie weniger die Kategorisierung von Aufgaben als vielmehr das Verständnis von Lösungsprozeduren. Die Grundidee ist dabei, dass Wissen über die Funktion und Begründung einzelner Schritte einer bekannten Problemlösung genutzt werden kann, um eine Lösung für ein neuartiges Problem herzuleiten. Es wird nicht vorausgesetzt, dass eine Isomorphie zwischen Quell- und Zielproblemen bestehen muß. Stattdessen ist es für die Herleitung einer Zielproblemlösung aus der Quellproblemlösung ausreichend, dass bei der Lösung des Zielproblems ähnliche Unterziele erreicht werden müssen wie bei der Bearbeitung des Quellproblems. Ein Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass Lösungsschritte oder Gruppen von Lösungsschritten aufgrund ihrer modularen Repräsentation auch einzeln übernommen werden können. Damit ist dieser Ansatz besonders zur analogen Bearbeitung neuartiger Probleme geeignet, die eine Modifikation bekannter Lösungswege erforderlich machen.

Im folgenden sollen diese beiden Ansätze zum analogen Problemlösen zur Entwicklung von zwei Beispielformaten herangezogen werden, in denen die Beispiellösungen so repräsentiert sind, dass sie entweder eine transformationale oder derivationale Nutzung des erworbenen Wissens beim späteren Problemlösen nahelegen. Diese Beispielformate unterscheiden sich dabei lediglich in der inhaltlichen Darstellung des Lösungsweges (Fokussierung auf Strukturmerkmale versus Fokussierung auf die Herleitung einer Lösung) und nicht im Ausmaß formaler Gestaltungsmerkmale wie der Variation von Oberflächenmerkmalen, der Vorgabe

instruktioneller Elaborationen, unvollständiger Beispiellösungen oder unterzielbasierter Strukturierungen. Die Beispielformate werden im folgenden Abschnitt erläutert.

### Transformationales und derivationales Beispielformat in der Kombinatorik

In unseren Untersuchungen verwenden wir eine hypertextbasierte Lern- und Problemlöseumgebung (HYPERCOMB), in der ausgearbeitete Beispielaufgaben und Testaufgaben aus dem Bereich der Kombinatorik präsentiert werden (vgl. Gerjets, Scheiter & Tack, 2000). Es werden dabei sechs Kategorien von Kombinatorikaufgaben unterschieden (Permutation, Variation und Kombination jeweils mit und ohne Wiederholung), in denen es jeweils um die Anzahl möglicher Anordnungen oder Auswahlen von Elementen aus einer Menge als Voraussetzung für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses geht. Die betrachteten Aufgabenkategorien können anhand der Ausprägung von drei strukturellen Merkmalen voneinander abgegrenzt werden:

- *Reihenfolge*: Ist die Reihenfolge der Elemente in einer Anordnung oder Auswahl relevant?
- *Wiederholung*: Können Elemente wiederholt in einer Anordnung oder Auswahl auftreten?
- *Auswahl/Anordnung*: Werden alle gegebenen Elemente betrachtet oder nur eine Auswahl?

Eine typische Kombinatorikaufgabe ist das Lottoproblem:

Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, beim Lottospielen (6 aus 49) sechs Richtige zu tippen?

Dieses Problem gehört zur Aufgabenkategorie *Kombination ohne Wiederholung*, weil es eine *Auswahl* betrifft, bei der die *Reihenfolge der ausgewählten Elemente irrelevant* ist und bei der Elemente *nicht wiederholt* in einer Auswahl auftreten dürfen. Die beiden untersuchten Beispielformate unterscheiden sich nun hinsichtlich der Herangehensweise, mit der dieses Problem gelöst wird.

Im *transformationalen Beispielformat* werden zunächst die strukturellen Eigenschaften einer Aufgaben identifiziert, um die Aufgabe einer Kategorie zuzuordnen. Jede Aufgabenkategorie ist mit einer Formel assoziiert, mit der Aufgaben dieser Kategorie gelöst werden können. Dabei müssen die Ausprägungen der benötigten Variablen  $n$  und  $k$  bestimmt und in die Formel eingesetzt werden, um die Anzahl möglicher Anordnungen und Auswahlen zu berechnen. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit, nach der in der Aufgabenstellung gefragt wird, erfolgt, indem man die Anzahl günstiger Anordnungen oder Auswahlen (in diesem Fall 1) durch die Anzahl möglicher Anordnungen oder Auswahlen dividiert. Bei diesem Ansatz werden also zunächst alle strukturellen Aufgabenmerkmale identifiziert, bevor ein für Aufgaben der entsprechenden Kategorie geeignetes Lösungsschema angewendet wird. Die Aufgabelösung des Lottoproblems im transformationalen Beispielformat sieht daher wie folgt aus:

Aufgabeneigenschaften: In der geschilderten Beispielaufgabe geht es um die *Auswahl* von 6 bestimmten Zahlen aus einer Menge von 49 Zahlen. Dabei ist es *irrelevant*, in welcher Reihenfolge die Zahlen gezogen werden. Es ist zu beachten, dass jede Zahl nur *einmal* ausgewählt werden kann (*ohne Wiederholung*).

Formel: Um die Anzahl möglicher Auswahlen einer Menge von Elementen (ohne Berücksichtigung der Reihenfolge und ohne Wiederholungen von Elementen) aus einer Menge von Elementen zu bestimmen, gibt es eine Formel. Sie lautet  $A = n! / (n-k)!k!$ . Die Abkürzung  $A$  steht für die Anzahl möglicher Ereignisse,  $n$  steht für die Anzahl der Elemente, aus denen  $k$  ausgewählt werden.

Einsetzen:  $n = 49$ ,  $k = 6$  □ Anzahl möglicher Auswahlen:  $A = 49! / 49-6)!6! = 13.983.816$ .

Ergebnis: Da es in diesem Beispiel **ein** günstiges Ereignis gibt (nämlich die 6 richtigen Zahlen auszuwählen), ist die Wahrscheinlichkeit, richtig zu tippen,  $1/13.983.816 = 0,0000072\%$ .

Im *derivationalen Beispielformat* wird hingegen ein komplexes Ereignis (z.B. Auswahl von 6 Zahlen) zunächst in eine Sequenz von Einzelereignissen zerlegt, für die jeweils eine Einzelwahrscheinlichkeit berechnet wird. Diese Einzelwahrscheinlichkeiten werden dann miteinander multipliziert, um die Gesamtwahrscheinlichkeit des Ereignisses zu bestimmen, nach dem in der Aufgabe gefragt wird. Im derivationalen Ansatz führt die Identifikation eines strukturellen Merkmals zur direkten Umsetzung in einen Aspekt des Lösungsweges. Der Lösungsweg wird dabei nicht als ein Lösungsschema vorgegeben, das nicht weiter in seine Einzelbestandteile zerlegt werden kann, sondern es wird eine Sequenz von Lösungsschritten konstruiert, wobei einzelne Lösungsschritte auf der Grundlage struktureller Aufgabenmerkmale begründet werden. Das derivationale Beispielformat zeichnet sich somit durch eine hohe Modularität und einer daraus resultierenden Adaptierbarkeit an neuartige Problemstellungen aus. Die Aufgabenlösung des Lottoproblems im derivationalen Beispielformat sieht wie folgt aus:

Vorgehensweise: Um diese Aufgabe zu lösen, kann man sich für **jedes** der sechs Kreuze überlegen, welche *Wahrscheinlichkeit* besteht, zufällig eine der sechs Gewinnzahlen anzukreuzen. Dabei kann man alle Kreuze *nacheinander* durchgehen:

Schritt 1: Um mit dem ersten Kreuz eine Gewinnzahl zu tippen, hat man *sechs* günstige Optionen, da sechs Zahlen aus der Menge von 49 Zahlen Gewinnzahlen sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass die erste getippte Zahl zu den sechs Gewinnzahlen gehört, liegt damit bei  $6/49$  ( $\square 12,2\%$ )

Schritt 2: Beim Ankreuzen der zweiten Zahl sind zwei Dinge zu beachten. Da die gleiche Zahl nicht zweimal getippt werden kann, stehen nur noch *fünf* Gewinnzahlen zur Auswahl (unter der Annahme, dass bereits mit dem ersten Kreuz eine der Gewinnzahlen ausgewählt wurde). Außerdem reduziert sich dadurch die Anzahl der Zahlen, die getippt werden können, auf 48. Beim zweiten Ankreuzen ist damit die Wahrscheinlichkeit, eine der übrigen fünf Gewinnzahlen zu tippen,  $5/48$  ( $\square 10,4\%$ ).

Folgeschritte: **Entsprechend** wird mit den weiteren Kreuzen verfahren.

Letzter Schritt: Es handelt sich um eine Abfolge von Schritten, von denen jeder voraussetzt, dass die vorherigen Schritte mit ihrer jeweiligen Wahrscheinlichkeit bereits eingetreten sind. Die Wahrscheinlichkeiten der richtigen Vorhersagen werden multipliziert, um die Gesamtwahrscheinlichkeit zu bestimmen. So ergibt sich eine *Gesamtwahrscheinlichkeit* von  $6/49 * 5/48 * 4/47 * 3/46 * 2/45 * 1/44 = 720/10.068.347.520 \square 0,0000072\%$  dafür, sechs Richtige zu tippen.

Die beiden Beispielformate werden in der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich ihres Nutzens für die spätere Bearbeitung isomorpher und neuartiger Testprobleme miteinander verglichen. Isomorphe Testprobleme unterscheiden sich nur in ihren Oberflächenmerkmalen von den Beispielaufgaben, während neuartige Testprobleme so konstruiert wurden, dass in ihnen zwei Auswahl- bzw. Anordnungsprozesse auftreten, die miteinander verknüpft werden müssen, um die richtige Lösung zu berechnen. Die Testprobleme haben folgende Form:

**Isomorphes Testproblem:** Ein Kind ist mit seiner Mutter im Supermarkt, um für den am nächsten Tag stattfindenden Schulausflug in die Heide Verpflegung einzukaufen. Es darf mit verbundenen Augen aus einer Lostrommel mit zehn Süßigkeiten drei unterschiedliche Dinge auswählen. Wie wahrscheinlich ist es, dass es per Zufall seine drei Lieblings Süßigkeiten auswählt?

**Neuartiges Testproblem:** In einem Karnevalsverein, der sich aus neun Frauen und elf Männern zusammensetzt, soll per Losverfahren ein Festausschuß aus zwei Frauen und drei Männern bestimmt werden. Wie wahrscheinlich ist es, dass per Zufall die beiden ältesten Frauen und die drei jüngsten Männer ausgelost werden?

Zusätzlich wird die für die beiden Formate benötigte Lernzeit erfasst und gemessen, wie ausführlich Lerner in der Problemlösephase auf Beispielaufgaben aus der Lernphase zurückgreifen.

## Hypothesen

- Das derivationale Beispielformat ist dem transformationalen Beispielformat hinsichtlich der resultierenden Problemlöseperformanz überlegen, da es das Verständnis für die Funktion und Begründung einzelner Lösungsschritte fördert.
- Der Vorteil des derivationalen Beispielformats zeigt sich vor allem bei der Bearbeitung neuartiger Testprobleme, da diese Probleme eine Modifikation bereits bekannter Lösungswege erforderlich machen.
- Die Überlegenheit des derivationalen Beispielformats zeigt sich vor allem für Versuchspersonen mit niedrigem Vorwissen, da diese von einer Erleichterung des Verständnisses besonders stark profitieren, während Versuchspersonen mit hohem Vorwissen auch den eher abstrakten bzw. schematischen transformationalen Lösungsansatz hinreichend nachvollziehen können.
- Das Lernen mit dem derivationalen Beispielformat benötigt mehr Zeit als das Lernen mit dem transformationalen Beispielformat. Während nämlich im transformationalen Format nur die Verbindungen zwischen den Strukturmerkmalen der Aufgaben und den entsprechenden Lösungsformeln gelernt werden müssen, ist es beim derivationalen Beispielformat erforderlich, die genaue Herleitung einer Aufgabenlösung nachzuvollziehen.
- Lerner mit derivationalem Beispielformat greifen in der Problemlösephase weniger ausführlich auf Beispielaufgaben aus der Lernphase zurück als Lerner mit transformationalem Beispielformat. Lösungsschritte, die im derivationalen Format präsentiert wurden, sind aufgrund ihrer höheren Verständlichkeit leichter aus dem Gedächtnis rekonstruierbar und müssen daher nicht aus externen Informationsquellen abgerufen werden.
- Lerner mit niedrigem Vorwissen greifen in der Problemlösephase ausführlicher auf Beispielaufgaben aus der Lernphase zurück als Lerner mit hohem Vorwissen. Dieser Unterschied tritt besonders beim transformationalen Beispielformat auf, da Versuchspersonen mit niedrigem Vorwissen eher überfordert sind, den abstrakteren bzw. schematischen Lösungsweg in diesem Beispielformat zu memorieren und aus dem Gedächtnis zu rekonstruieren.

## Experiment

**Versuchspersonen** An dem Experiment nahmen 32 Studierende unterschiedlicher Fachrichtungen (20 Frauen und 12 Männer) im Alter zwischen 19 und 35 Jahren teil. Sie wurden für ihre Teilnahme am Experiment finanziell entschädigt.

**Material und Durchführung** Für die Durchführung des Experiments wurde eine Variante der hypertextbasierten Lern- und Problemlöseumgebung HYPERCOMB verwendet (Gerjets, Scheiter & Tack, 2000). HYPERCOMB umfasst eine Einführung in den Gegenstandsbereich der Kombinatorik, die Erläuterung von sechs verschiedenen Aufgabenkategorien und sechs von

den Versuchspersonen zu bearbeitende Testaufgaben. Als Instruktionsmaterial werden zwei ausgearbeitete Beispielaufgaben für jede Aufgabenkategorie dargeboten, deren Lösung je nach Versuchsbedingung entweder im transformationalen oder im derivationalen Format beschrieben wird. Auswahl und Abfolge dieser Informationsseiten werden von der Versuchsperson selbst festgelegt, jedoch kann das zweite Beispiel jeder Aufgabenkategorie nur im Anschluss an das erste Beispiel aufgerufen werden. Zur Bearbeitung der Testaufgaben müssen die richtigen Wahrscheinlichkeitswerte in einer Multiple-Choice Tabelle angekreuzt werden. Diese Tabellen enthalten jeweils neben der richtigen Lösung elf Distraktoren, die so ausgewählt sind, dass eine detailliertere Fehleranalyse möglich ist (z.B. Vertauschung von Aufgabenkategorien, Verwechslung der Variablen  $n$  und  $k$ ). Da die Versuchspersonen die Wahrscheinlichkeiten berechnen müssen, wird ihnen ein geeigneter Taschenrechner zur Verfügung gestellt, dessen Bedienung in der Instruktionsphase erläutert und geübt wird. Während der Klausurphase ist ein Rückgriff auf die Beispiele aus der Lernphase möglich.

**Design** Als erste unabhängige Variable wurde das *Format der instruktionellen Beispiele* in der Lernphase von HYPERCOMB interindividuell variiert. Die ausgearbeiteten Beispielaufgaben wurden entweder im transformationalen oder im derivationalen Beispielformat dargeboten. Als zweite unabhängige Variable wurde das *domänenspezifische Vorwissen* der Versuchspersonen eingesetzt. Dieses wurde zu Beginn des Experiments mit Hilfe eines in HYPERCOMB integrierten Vorwissenstests erhoben. Die Versuchspersonen wurden anhand von Mediansplits den Bedingungen mit niedrigem bzw. hohem Vorwissen zugeordnet. Zusätzlich wurde als dritte unabhängige Variable die *Transferdistanz* intraindividuell manipuliert, indem den Versuchspersonen in jeder der vier Versuchsgruppen drei isomorphe sowie drei neuartige Testprobleme zur Bearbeitung vorgegeben wurden. Als abhängige Variablen wurden der Prozentsatz richtiger Lösungen bei der Bearbeitung der Testaufgaben, die Lernzeit sowie die Rückgriffszeit auf Lernbeispiele in der Problemlösephase erfasst. Die Zeitdaten wurden mit Hilfe von Logfile-Analysen ermittelt.

## Ergebnisse

Versuchspersonen in den Bedingungen mit transformationalem und derivationalem Beispielformat unterscheiden sich nicht hinsichtlich ihres Vorwissens ( $F_{(1,28)} = 0.32$ ;  $p = .86$ ). Zusätzlich gibt es keine Interaktion zwischen den Faktoren Beispielformat und Vorwissen hinsichtlich des Vorwissens ( $F_{(1,28)} = 1.14$ ;  $p = .29$ ). Zur Überprüfung des Einflusses der beiden Beispielformate und des Vorwissens auf die Problemlöseleistung wurde eine ANOVA mit drei Faktoren (Beispielformat x Vorwissen x Transferdistanz) durchgeführt (siehe Abbildung 1).

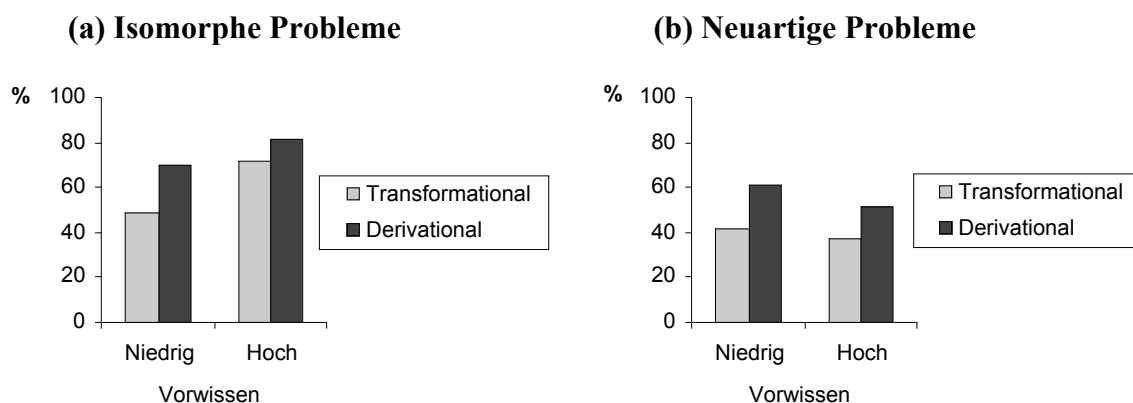


Abbildung 1: Prozentsatz korrekter Problemlösungen für (a) isomorphe und (b) neuartige Probleme in Abhängigkeit vom Beispielformat und vom Vorwissen

Wie erwartet zeigen sich für das derivationale Beispielformat im Vergleich zum transformationalen Beispielformat bessere Problemlöseleistungen ( $F_{(1,28)} = 10.62$ ;  $p = .003$ ). Spezifische Kontraste zeigen, dass bei isomorphen Testaufgaben nur eine tendenzielle Überlegenheit des derivationalen Beispielformats vorliegt ( $t_{30} = 1.58$ ;  $p = .06$ ; einseitig), während sich bei der Bearbeitung neuartiger Testprobleme ein hochsignifikanter Unterschied ergibt ( $t_{30} = 4.22$ ;  $p < .001$ ; einseitig). Die Interaktion zwischen den Faktoren Beispielformat und Transferdistanz ist jedoch nicht signifikant ( $F_{(1,28)} = .56$ ;  $p = .46$ ). Wie erwartet sind isomorphe Probleme deutlich leichter zu lösen als neuartige Probleme ( $F_{(1,28)} = 20.02$ ;  $p < .001$ ). Es ist hingegen kein Haupteffekt des Vorwissens nachweisbar ( $F_{(1,28)} = 1.62$ ;  $p = .21$ ), jedoch ergibt sich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Vorwissen und Transferdistanz ( $F_{(1,28)} = 6.58$ ;  $p = .02$ ): Vorwissen nützt lediglich bei der Bearbeitung isomorpher Probleme, nicht jedoch bei der Bearbeitung neuartiger Probleme.

In einem zweiten Schritt wurde zur Analyse des Einflusses der beiden Beispielformate und des Vorwissens auf die Lernzeit sowie auf die Rückgriffszeit auf Lernbeispiele in der Problemlösephase jeweils eine zweifaktorielle ANOVA (Beispielformat x Vorwissen) durchgeführt (Abbildung 2).

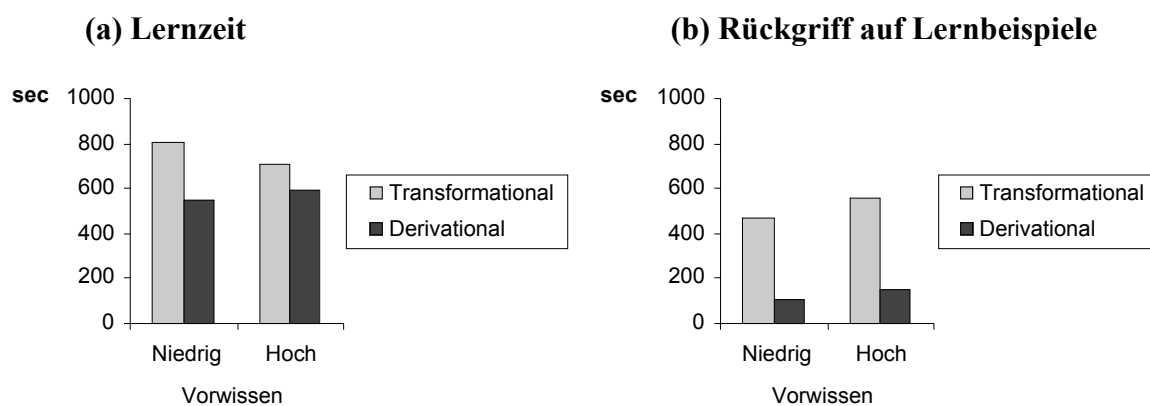


Abbildung 2: (a) Lernzeit und (b) Rückgriffszeit auf Lernbeispiele in der Problemlösephase in Abhängigkeit vom Beispielformat und vom Vorwissen

Entgegen unserer Erwartungen benötigen Lerner für den Wissenserwerb in den derivationalen Beispielbedingungen tendenziell weniger Zeit als Lerner in den transformationalen Beispielbedingungen ( $F_{(1,28)} = 3.25$ ;  $p = .08$ ). Es findet sich weder ein Haupteffekt des Vorwissens auf die Lernzeit ( $F_{(1,28)} = 0.06$ ;  $p = .80$ ) noch eine Interaktion ( $F_{(1,28)} = 0.47$ ;  $p = .50$ ). Wie erwartet greifen Lerner in den transformationalen Beispielbedingungen in der Problemlösephase ausführlicher auf Lernbeispiele zurück als Lerner in den derivationalen Beispielbedingungen ( $F_{(1,28)} = 10.71$ ;  $p = .003$ ). Es ist weder ein Haupteffekt des Vorwissen ( $F_{(1,28)} = 0.31$ ;  $p = .58$ ) noch eine Interaktion nachweisbar ( $F_{(1,28)} = 0.04$ ;  $p = .85$ ).

## Diskussion und Ausblick

Der Vergleich des derivationalen und transformationalen Beispielformats, die jeweils aus Theorien des analogen Problemlösens abgeleitet wurden, ergibt zusammenfassend eine deutliche Überlegenheit des derivationalen Beispielformates, die über unsere Erwartungen hinausgeht:

- Lerner in Bedingungen mit derivationalem Beispielformat zeigen sowohl bei neuartigen als auch bei isomorphen Testproblemen bessere Problemlöseleistungen.

- Darüber hinaus benötigen Lerner in Bedingungen mit derivativem Beispielformat weniger Zeit zum Lernen, obwohl das derivationale Beispielformat es erforderlich macht, die genaue Herleitung einer Aufgabenlösung nachzuvollziehen, während im transformationalen Format nur die Verbindungen zwischen den Strukturmerkmalen der Aufgaben und den entsprechenden Lösungsformeln gelernt werden müssen. Möglicherweise benötigen Lerner in den transformationalen Bedingungen in der Lernphase mehr Zeit für die Elaboration und Abstraktion von Beispiellösungen als Lerner in den derivationalen Bedingungen.
- Zusätzlich greifen Lerner in Bedingungen mit derivativem Beispielformat in der Problemlösephase weniger auf Lernbeispiele zurück als Lerner in den Bedingungen mit transformationalem Beispielformat. Wir interpretieren diesen Befund so, dass Lösungsschritte, die im derivationalen Format präsentiert wurden, aufgrund ihrer höheren Verständlichkeit leichter aus dem Gedächtnis rekonstruierbar sind und daher nicht aus externen Informationsquellen abgerufen werden müssen.
- Die Vorteile des derivationalen Beispielformats zeigen sich ungeachtet des Vorwissens der Lernenden. Entgegen unserer Erwartungen profitieren Lerner mit hohem Vorwissen ebenso von einem das Verständnis erleichternden derivationalen Format wie Lerner mit niedrigem Vorwissen.

Diese Ergebnisse soll in weiteren Untersuchungen genauer spezifiziert werden. In einem ersten Schritt soll dabei geprüft werden, ob sich auch für andere Inhaltsdomänen ein derivationales Beispielformat konstruieren und nutzbringend einsetzen läßt. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob sich der Vorteil des derivationalen Beispielformats auch in anderen Effektivitätsmaßen für Lernprozesse nachweisen läßt (z.B. im Erwerb deklarativen Faktenwissens, im Verständnis für abstrakte Konzepte oder im Erwerb von Überblickswissen). Zusätzlich interessiert die Frage, inwieweit Versuchspersonen mit hohem bzw. niedrigem Vorwissen das derivationale Beispielformat auswählen, wenn sie selbst bestimmen können, welches Beispielformat sie zur Illustration einer Aufgabenkategorie abrufen. Auf der Basis früherer eigener Untersuchungen (Gerjets, Scheiter & Tack, 2000) kann vermutet werden, dass insbesondere Lerner mit niedrigem Vorwissen Schwierigkeiten haben, ein geeignetes Beispielformat auszuwählen. Es kann angenommen werden, dass sie sich leichter von Oberflächenmerkmalen - wie beispielsweise der scheinbar leichteren Verständlichkeit des transformationalen Beispielformats - zu einer ungeeigneten Beispielselektion verleiten lassen.

## Literatur

- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. W. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research*, 70.
- Carbonell, J. G. (1984). Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience. In R. S. Michalski, J. G. Carbonell & T. M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An intelligence approach* (pp. 137-161). Berlin: Springer.
- Carbonell, J. G. (1986). Derivational Analogy: A theory of reconstructive problem solving and expertise acquisition. In R. S. Michalski, J. G. Carbonell & T. M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An intelligence approach* (Vol. II, pp. 371-392). Los Altos, CA: Morgan Kaufman Publishers.
- Catrambone, R. (1998). The subgoal learning model: Creating better examples to improve transfer to novel problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127, 355-376.
- Chi, M. T. H. (1996). Constructing self-explanations and scaffolded explanations in tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 33-49.

- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, *13*, 293-332.
- Cummins, D. D. (1992). Role of analogical reasoning in the induction of problem categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*, 1103-1124.
- Gentner, D. (1983). Structure mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, *7*, 155-170.
- Gentner, D. & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, *52*, 45-56.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Tack, W. H. (2000). Resource-adaptive selection of strategies in learning from worked-out examples. In L. R. Gleitman & A. K. Joshi (Eds.), *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 166-171). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, *15*, 1-38.
- Novick, L. R. (1988). Analogical transfer: Processes and individual differences. In D. H. Helman (Ed.), *Analogical Reasoning* (pp. 125-145). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Novick, L. R. & Holyoak, K. J. (1991). Mathematical problem solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*, 398-415.
- Quilici, J. L. & Mayer, R. E. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, *88*, 144-161.
- Reed, S. K. (1999). *Word Problems*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Reed, S. K. & Bolstad, C. A. (1991). Use of examples and procedures in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*, 753-766.
- Reed, S. K., Dempster, A. & Ettinger, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *11*, 106-125.
- Ross, B. H. (1987). This is like that: The use of earlier problems and separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 629-639.
- Ross, B. H. (1989) Distinguishing types of superficial similarities: Different effects on the access and use of earlier problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 456-468.
- Schmid, U. & Carbonell, J. (1999). Empirical evidence for derivational analogy. In I. Wachsmuth & B. Jung (Hrsg.), *KogWis99: Proceedings der 4. Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft* (S. 116-121). St. Augustin: Infix.
- Schmid, U., Wirth, J. & Polkehn, K. (submitted). A closer look at structural similarity in analogical transfer.
- Stark, R. (1999). *Lernen mit Lösungsbeispielen. Einfluß unvollständiger Lösungsbeispiele auf Beispiellelaboration, Motivation und Lernerfolg*. Bern: Huber.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, *10*, 251-296.