

Autor: [Bernhard Jacobs](#), Medienzentrum der Philosophischen Fakultät der Universität Saarbrücken
created: 6.6.2001; last update 12.6.2001; [Download als Zip-Datei](#) (Version 12.6.2001) zum Offline-
Lesen; PDF-Fassung vom 26.8.2004 (keine inhaltlichen, nur formale Änderungen vorgenommen.)
URL des Originals: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/kombinatorik/index.htm>

Die Wirkung von Lösungsbeispielen, Aufgaben und Feedback auf das Lösen von Kombinatorikproblemen

[Zusammenfassung](#)

[Einleitung](#)

[Probleme der Forschung und Probleme der Lehre](#)

[Ausgangsposition der Untersuchung](#)

[Ziele der Untersuchung](#)

[Das Tutorium "Permutationen, Kombinationen Variationen"](#)

[Lehrziele des Tutoriums](#)

[Aufbau und Konzeption des Tutoriums](#)

[Die Instruktionsphase](#)

[Die experimentellen Vergleichsgruppen \(UV\) in der Übungsphase](#)

[Aufgaben mit elaborierten Rückmeldungen \(elaboriertes Feedback\)](#)

[Aufgaben mit sparsamen Rückmeldungen \(KCR\)](#)

[Fragen und direkte Rückmeldung \(Lösungsbeispiele\)](#)

[Nur Fragen bzw. Problemlöseaufgaben ohne jede Rückmeldung \(Nur Fragen\)](#)

[Verdeutlichung der experimentellen Bedingungen](#)

[Die Auswahl der Problemstellungen in der Übungsphase](#)

[Versuchsplan und Versuchsdurchführung](#)

[Hypothesen](#)

[Aufgaben des Lernerfolgstest \(AV\)](#)

[Ergebnisse](#)

[Studierzeiten des Tutoriums](#)

[Leistungsergebnisse im Lernerfolgstest](#)

[Bearbeitungszeiten im Lernerfolgstest](#)

[Die Tücken der Randomisierung](#)

[Bewertung der Hypothesen](#)

[Ergebnisse zur Akzeptanz des Tutoriums](#)

[Interesse und Lernerfolg](#)

[Diskussion](#)

[Diskussion der Ergebnisse](#)

[Alternative Lehrmethode zum Erlernen von Kombinatorikproblemen](#)

[Einige methodologische Überlegungen](#)

[Praktische Schlussfolgerungen](#)

[Schluss](#)

[Literatur](#)

Zusammenfassung:

Es wird ein WWW-Tutorium zum Erlernen von Kombinatorikproblemen vorgestellt und dessen Konzeption näher begründet. In der Instruktionsphase wurden allen Probanden ausgearbeitete Lösungsbeispiele dargeboten. Die experimentelle Variation bezieht sich auf die Übungsphase. Es wurden **4 bungsvarianten** gegeneinander getestet, die sich im wesentlichen hinsichtlich der Rückmeldung unterscheiden:

1. ausgearbeitete Lösungsbeispiele, **Aufgabenstellungen ohne Rückmeldung**
2. ausgearbeitete Lösungsbeispiele, **Aufgabenstellungen mit sparsamen Feedback**
3. ausgearbeitete Lösungsbeispiele, **Aufgabenstellungen mit ausführlichen Rückmeldungen**
4. ausgearbeitete Lösungsbeispiele, **ausgearbeitete Lösungsbeispiele**

Aufgaben mit Feedback bewirkten einen etwas höheren Lernerfolg als Aufgaben ohne Feedback. Das Ergebnis stützt bisherige Befunde und bestätigt den Lernvorteil auch für Transferaufgaben. Aufgaben mit sparsamem Feedback erzielten insgesamt die besten Lernergebnisse und Akzeptanzwerte. Der Lernvorteil von Aufgaben mit sparsamem Feedback ließ sich gegenüber Aufgabenstellungen ohne Rückmeldung und im Vergleich zu ausschließlichen Lösungsbeispielen statistisch sichern. Entgegen der Erwartung erbrachten elaborierte, ausführliche Rückmeldungen keine Lernvorteile gegenüber sparsamen Rückmeldungen.

Insgesamt wird der Versuch unternommen, theoretische Fragestellungen, experimentelle Prüfmethode und Verbesserungen für die Lehrpraxis miteinander zu verbinden, womit auch etliche Probleme der Lehr-Lernforschung angesprochen werden.

Einleitung

Permutationen, Variationen und Kombinationen gehören zu den Themen, die ich in meinem Studium nie so recht verstanden habe. Dieses Unverständnis ist nicht nur meiner Begriffsstutzigkeit anzulasten. Ich attribuiere es in nicht unbeträchtlichem Maße auf die mir damals vorgelegenen Lernmaterialien. Das war vor etwa 30 Jahren. Die Problematik ließ mir keine Ruhe, und als ich erst vor kurzem die Varianten der Kombinatorik verstanden zu haben glaubte, interessierte es mich, das Thema in einem Tutorium so aufzubereiten, daß ich es damals hätte verstehen können.

Heute wissen wir, dass es aus pädagogischer Sicht relativ wenig Sinn macht, in knapper, abstrakter Form einige Definitionen und Regeln zu nennen, um anschließend den Lerner mit der eigenständigen Erarbeitung von Problemstellungen alleine zu lassen. Insbesondere die von Sweller und Mitarbeiter (z.B. Cooper 1998) initiierten, und mittlerweile auch im deutschsprachigen Raum gut bestätigten Forschungen zum Lösen schwieriger Ziel-Mittel-Probleme konnten klar die Nützlichkeit von Lösungsbeispielen belegen. (z.B. Stark (1999)). Ausgearbeitete Lösungsbeispiele (Problemstellung + Lösungsschritte + Lösung) fördern den Lernerfolg des Anfängers mehr als eigenständige Problemlöseversuche. Am effektivsten aber sind Lösungsbeispiele in Kombination mit eigenständigem Problemlösen. Eine weitere wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang Fragen, instruktionale Erklärungen sowie das Feedback im Anschluss an die Aufgabenbearbeitung.

Wenngleich es als gesichert gelten kann, dass "Aufgaben stellen und Feedback geben" im Mittel Lernen verbessern (siehe z.B.: Jacobs 1998), so gibt es nur wenige zuverlässige Belege dafür, wie ein anspruchsvolles Feedback im Einzelnen aussehen soll und ob sich der Aufwand lohnt. Musterlösungen als Feedback wären eine elabo-

rierte Form der Rückmeldung und sind praktisch gleichzusetzen mit Lösungsbeispielen für die verlangte Problemstellung.

Viele Lerner nutzen das Lernpotential ausgearbeiteter Lösungsbeispiele nicht voll aus, weil sie die Beispiele zu oberflächlich bearbeiten (Renkl 2000). Es gibt daher Bestrebungen, den Lerner irgendwie zu mehr Eigeninitiative bzw. Bemühung um ein tieferes Verständnis zu bewegen. Sparsame Hilfen oder Rückmeldungen, die noch Denkarbeit vom Lerner verlangen, könnten hier möglicherweise nützlich sein. Vorliegende Arbeit hat sich zum Ziel gesetzt, die Auswirkungen von Lösungsbeispielen und Aufgabenstellungen ohne sowie mit verschiedenen Rückmeldevarianten auf den Transfer des Wissens zu überprüfen.

Probleme der Forschung und Probleme der Lehre

In der pädagogischen Praxis liegt meist ein klar umrissenes Problem zugrunde, etwa:

Wie soll ich den Schülern den Dreisatz beibringen?

Es mag verwundern, warum die pädagogischen Forscher selten derartige Fragen in den Mittelpunkt ihrer Überlegungen stellen und entsprechende Entwürfe vorlegen, die dann etwas zur Lösung des anstehenden Problems beitragen. Diese Arbeit überlässt man eher Fachdidaktikern. Daran ließe sich doch - mag manch einer meinen - eindeutig testen, ob sich zum Lösen von Dreisatzproblemen mehr Lerngewinn ableiten ließe aus radikal behavioristischen, kognitiv behavioristischen, kognitiven, kognitivistischen oder konstruktivistischen Theorien welcher Couleur auch immer. In der Konstruktion eines lehrzielvaliden Tests für Dreisatzprobleme sehe ich da jedenfalls keine gravierenden Probleme, womit man sich auf ein objektives Erfolgskriterium schon einigen könnte. Die Idee, den häufig unergiebigem Theorienstreit einmal praktisch auszutragen, finde ich jedenfalls gut.

Weil es offenbar nicht so einfach (letztlich unmöglich) ist, aus einer allgemeinen Lehr-Lerntheorie quasi ein Tutorium zu deduzieren, muss der Lehrautor meist in eklektischer Art und Weise unter massiver Hinzuziehung des gesunden Menschenverstandes und praktischer Lehrerfahrung einen umfassenden Vorschlag ausarbeiten. Hierbei kann er gelegentlich auf empirische Forschungsergebnisse zurückgreifen, die aber meist nur Teilaspekte betreffen, z. B.: "Knüpfe an das Vorwissen des Lerners an!", "Bringe eine klare Ordnung in der Lernmaterial!", "Drücke dich unmissverständlich aus!", "Verwende anschauliche Beispiele!", "Lass genug Zeit zum eigenen Durchdenken!", "Setze Bilder, Tabellen oder Concept-Maps ein!", "Nutze Analogien!", "Stelle Fragen und gib informative Rückmeldung usw.!" Selbst wenn der Lehrautor alle gesicherten Ergebnisse der Lehr-Lernforschung ernst nähme, so ließen sich aus diesen dennoch immer noch nicht klar ableiten, wie jetzt z.B. die Rückmeldung am besten auszusehen habe.

Aus der Sicht eines Forschers sieht die Lage etwas anders aus: Dieser will z.B. nachweisen, dass Tabellen das Behalten der Information eher ermöglichen als Fließtext. Hierbei spielen die sonstigen Aspekte des Unterrichts eine eher unbedeutende Rolle. Den Forscher interessiert nicht das optimale Tutorium, sondern ob eine unabhängige Variable die abhängige Variable 'am Beispiel eines eher beliebigen Lernthemas' beeinflusst, wobei er mit der Prüfung durchaus Erfolg haben kann, ohne das dadurch zwingend ein praktisch direkt verwertbarer Lernerfolg zustande kommen muss. Die Verbesserung der praktischen Verwertbarkeit lässt sich häufig nur um den Preis einer

schwächeren theoretischen Erklärbarkeit und experimentellen Überprüfbarkeit erreichen. Theoretisch gut erklärbare und empirisch schlüssig überprüfte Ergebnisse lassen sich aber auch nur unter gewissen Bedingungen für praktische Belange verwerten und sind allein nicht ausreichend.

Die Wirkung einer unabhängigen Variablen auf den Lernerfolg hängt immer auch vom sonstigen Unterrichtsgeschehen ab. Man findet eine Reihe von Befunden, aus denen hervorgeht, dass die unterschiedlichsten Maßnahmen das Lernen fördern (z. B. Lehrziele explizieren, Fragen stellen, Fragen stellen und Rückmeldung geben, Aufgaben vielfältig variieren, Wissensstrukturen in multiplen Repräsentationen oder unterschiedlichen Perspektiven darbieten, Advance Organizers voranstellen, Bilder einsetzen, Analogien verwenden, Tests absolvieren lassen, Schüler selbst Fragen stellen oder laut denken lassen, zum Notizen machen oder Concept-maps durcharbeiten anregen, Zusammenfassungen erstellen lassen usw. Zur näheren Konkretisierung und empirischen Fundierung etlicher dieser instruktionalen Maßnahmen siehe Marzano et al. (2000)). Hilft es dem Unterrichtsforscher nun weiter, wenn er aus der Liste der erfolgreichen Instruktionen eine weitere Maßnahme herausgreift und in sein Tutorium integriert? Würde man z.B. nur die Effektstärken der bei Marzano et al. 2000 aufgeführten unterschiedlichen instruktionalen Maßnahmen aufaddieren, so ergäbe sich eine gänzlich unrealistische Effektstärke von ca. $d = 7.5$, die man natürlich schon theoretisch gegenüber einer Kontrollgruppe gar nicht erreichen könnte, würde man alle bei Marzano beschriebenen Maßnahmen bei der EG anwenden. Man kann die Lerneffekte dieser Einzelmaßnahmen nicht einfach aufaddieren, weil sie sich zum Teil ausschließen und zum Teil kompensieren. Ansonsten müsste man ja auf über 100% Lernerfolg kommen.

Schwierig wird es, wenn man ein gutes Gesamttutorium anstrebt und zugleich die Wirkung einzelner spezieller Variablen erforschen will und dies kennzeichnet die Situation der nachfolgenden Untersuchung.

Ausgangsposition der Untersuchung

Zunächst habe ich versucht, ein aus meiner Sicht bestmögliches Tutorium zu entwickeln, in dem viele auch empirisch gesicherte Erkenntnisse der Pädagogik umgesetzt sind und was unmittelbar in der Praxis eingesetzt werden könnte. Nach dessen Fertigstellung wollte ich die Effizienz des Tutoriums irgendwie empirisch überprüfen und dabei kam mir zeitweise der an sich recht absurde Gedanke: "Was muss ich jetzt schlechter machen, damit ich einen Effekt nachweisen kann!" Es erschien mir dann aber doch zu banal, etwa die Probanden einer Vergleichsgruppe überhaupt nicht zu unterrichten, vielleicht mit einem Computerspiel oder einem lehrzielirrelevanten Lernprogramm zu beschäftigen, irgendeinen z.B. im WWW vorfindbaren Instruktionstext zum selben Thema vorzulegen oder den so genannten herkömmlichen Unterricht zu Kontrollzwecken zu bemühen, wengleich derartige Tricks in der Forschung durchaus vorkommen.

Der absurde Gedanke wich dann der Erkenntnis, nach Varianten Ausschau zu halten, die mit etwas weniger Aufwand vielleicht dennoch einen vergleichbaren Lerngewinn erbringen könnten, nebenbei auch zur Prüfung einiger theoretisch interessanter Hypothesen nützlich wären, aber darüber hinaus auch irgendeinen praktischen Verwertungsaspekt beinhalteten, wobei hier ein hoffentlich nicht fauler Kompromiss zwischen den Interessen des Lehrautors und denen des Forschers/Experimentators eingegangen werden musste.

Unter einer rein theoretisch experimentellen Perspektive sähe das nachfolgende Experiment sicher ganz anders aus, was hier an einem Beispiel angedeutet werden soll:

Um möglichst gut nachweisen zu können, dass elaborierte Rückmeldungen mehr Lernerfolg versprechen als die schlichte Rückmeldung des korrekten Ergebnisses, sollte man sich zunächst einmal Gedanken darüber machen, unter welchen sonstigen Bedingungen hier theoretisch gut begründbare Resultate zu erwarten wären. Ein möglicher Ansatz sähe etwa wie folgt aus: Ich müsste die Darbietung des Lehrstoffs (Instruktionsphase) möglichst abstrakt und recht knapp gestalten und vielleicht noch ein bisschen Zeitdruck reinbringen, damit der Durchschnittslerner gar nicht alles begreifen kann. Durch die nachfolgenden Übungsaufgaben werden die Probleme dann offensichtlich. Die Lerner machen notgedrungen viele Fehler. Elaborierte Erklärungen im Anschluss an diese Fehler, die nun in verstehbarer Weise aufzeigen, wie man zur Aufgabenlösung gelangt, würden das Verständnis bei etlichen Lernern fördern, während die einfache Rückmeldung der korrekten Antwort, z.B. "17 ist richtig" nicht ausreicht, um den Lösungsweg zu durchschauen.

Das klingt für den Unterrichtspraktiker alles etwas seltsam, aber einige Experimente der Feedbackforschung hätte man sich glatt schenken können, wenn man obigen Gedankengang nur einmal durchgespielt hätte. Viele Ungereimtheiten und Inkonsistenzen der Lehr-Lernforschung gehen letztlich darauf zurück, dass man die notwendigen Zusatzbedingungen für eine klare Erwartung an die Befunde (letztlich das Interaktionsgeflecht aller lernrelevanten Variablen) weder sieht noch überprüft, sondern erst im Anschluss an unerwartete Ergebnisse Ausschau danach hält. Wenn man die Untersuchung so plant, dass (theoretisch) ganz deutliche Ergebnisse herauskommen müssen, so liegt nicht selten der Verdacht nahe, dass man auf offensichtlich nahe liegende Maßnahmen einer Unterrichtsverbesserung von Beginn an verzichtet hat.

So trivial wie oben theoretisch gefordert, sollte die Sache nun doch nicht sein, weil es jeder praktischen Vernunft widerspricht, dem Lerner einen Sachverhalt nicht schon zu Beginn ordentlich zu erklären und dafür auch genügend Zeit zur Verfügung zu stellen. Jede Vergleichsvariante sollte innerhalb ihrer Möglichkeiten optimal gestaltet werden und alle nicht unmittelbar mit der Treatmentvariation zusammenhängenden Aspekte des Tutoriums müssen Lernen ebenfalls möglichst gut fördern. Dieser Ansatz erschwert aber den Nachweis experimenteller Effekte, weil die sonstigen pädagogischen Maßnahmen bereits hohe Lerneffekte zeitigen sollten und somit für die experimentellen Variablen weniger Lernpotential zur Verfügung steht. Hier wird somit aus versuchsplantechnischer Sicht ganz eindeutig gegen das Prinzip: "Maximiere die Primärvarianz" verstoßen. Ich betrachte dieses Vorgehen als eine Mischung aus praktischer Evaluation und theorieorientierter experimenteller Forschung mit dem Hauptziel, praktikable Möglichkeiten aufzuzeigen, Lehre zu verbessern.

Ziele der Untersuchung

Die Untersuchung verfolgt theoretische, unterrichtspraktische und unterrichtstechnologische Ziele.

1.) In der angemessenen Präsentation des Wissens liegt ein hohes Lernpotential. Es ist daher zweckmäßig, zunächst die Instruktion so weit wie möglich zu optimieren. Hohe Instruktionsqualität zur Darbietung des Wissens bedarf nur in sehr seltenen Fällen hohen medial technischen Aufwands und kann meist mit relativ sparsamen - vorwiegend didaktisch durchdachten - Mitteln erreicht werden. Lohnt es sich darüber hinaus, dann noch spezielle Übungsphasen einzuführen oder sollte der Lerner anhand der Instruktion die Probleme eigenständig erarbeiten, indem er die Instruktion vorlage gründlich elaboriert, sich seine eigenen Gedanken macht und selbst Fragen stellt und diese beantwortet? Chi et. al. (1994) konnten z.B. nachweisen, dass allein die Anwei-

sung, den Lehrtext gründlich selbst durch lautes Denken zu elaborieren, klare Lernvorteile erbrachte (siehe dazu auch: [Anregungen, sich selbst etwas verständlich zu machen?](#)

[<http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/feedback/selbstaktiv.htm#tuselbstwas>]).

In vielen Lehrtexten aus dem wissenschaftlichen Bereich sind spezielle Übungen gar nicht vorgesehen und der Lehrbuchautor geht davon aus, dass man den Lehrtext selbstständig erarbeiten kann. Auf eine beabsichtigte Kontrollgruppe, die innerhalb meines Tutoriums nur die Instruktion durcharbeiten und die Thematik eigenständig vertiefen sollte, musste leider aus Mangel an Versuchspersonen verzichtet werden.

2.) Eine Reihe von empirischen Untersuchungen belegt andererseits, dass Fragen (ohne Rückmeldungen) zum Lehrstoff den Lernerfolg deutlich steigern können. (z.B. [die Metaanalyse von Hamaker](#) 1986). Allerdings beziehen sich die Untersuchungen meist auf Textverstehen (prose learning). Die Lehrziele gehen oft nicht über Faktenwissen hinaus und selbst wenn, dann werden selten echte Transfertests zur Lernkontrolle eingesetzt (siehe auch Häfele (1995)). Durch die Fragen zum Text lösen die Lerner überwiegend nur solche Testaufgaben deutlich besser, die sich exakt auf die zuvor gestellten Fragen beziehen. Immerhin kann der Lehrer durch solche Fragestellungen erreichen, dass die Schüler die wichtigsten Themen besser behalten.

Bei anspruchsvollen Lernzielen ist es üblich, Problemlösesaufgaben zur Bearbeitung vorzulegen. Problemlöseaufgaben sind letztlich Übungsaufgaben und nichts anderes als Fragen, die es zu beantworten gilt. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Bearbeitung von Übungs- oder Testaufgaben Lernen fördert. Übungsaufgaben lassen sich ohne großen Aufwand in Lehrbücher eingliedern und die Aufgabebearbeitung erfordert keinen Einsatz des Computers. Eine zentrale Frage lautet: "Wie intensiv soll sich ein Lerner mit den Aufgaben befassen, bevor er eine Rückmeldung erhält?" In der pädagogischen Praxis liegt häufig der Fall vor, dass Aufgaben verordnet werden, die sehr spät oder gar nicht besprochen werden. Will der Schüler das korrekte Ergebnis in Erfahrung bringen, muss er sich eben notfalls ordentlich anstrengen und darüber hinaus in der Lage sein, seine Antwort selbst auf Korrektheit hin zu bewerten. Als pädagogische Begründungen könnte man anführen, so werde Oberflächlichkeit verhindert, tiefes Durcharbeiten erzwungen, Ausdauer gefördert und Eigenständigkeit angeregt. Eine experimentelle Variante sollte daher prüfen, wie hoch der Lernerfolg ausfällt, wenn über die Instruktion hinaus lediglich Fragen gestellt bzw. Problemlöseaufgaben vorgegeben werden.

3.) Untersuchungen zur Lerneffektivität von "Aufgaben mit bzw. ohne anschließendes Feedbacks" sprechen im Mittel allerdings klar für Lernvorteile von Aufgaben mit unmittelbarer Rückmeldung, wobei eine lernwirksame Rückmeldung mindestens das korrekte Ergebnis umfassen soll. Eine bisher in der Feedbackforschung unzureichend untersuchte Fragestellung lautet, ob elaborierte, über die Mitteilung der korrekten Antwort hinausgehende Rückmeldungen mehr Lerngewinn erbringen als die schlichte Rückmeldung des korrekten Ergebnisses (Knowledge of Correct Result (KCR)). Die bisherigen empirischen Befunde dazu hinterlassen ein inkonsistentes und recht verworrenes Bild. Eine Erklärung für die chaotische Befundlage vermute ich im jeweils der Übung zugrunde liegenden Lehrziel. Erfordert das Lehrziel lediglich Faktenwissen, wie z.B. bei Kulhavy, White, Topp, Chan, Adams (1985; siehe dazu: [Geringere Lerneffizienz durch informativeres Feedback ?](#)), dann bewirkt ausführliches Feedback im Vergleich zu KCR eine geringere Lerneffizienz. Wird hingegen Verständnis und ein gewisser Transfer verlangt, wie z.B. in der Untersuchung von Collins,

Carnine & Gersten (1987; siehe dazu: [Die Überlegenheit elaborierten Feedbacks gegenüber KCR](#)) erweist sich erklärendes Feedback der einfachen Rückmeldung der korrekten Antwort überlegen.

In manchen Lehrbüchern werden im Anschluss an eine Lerneinheit Aufgaben gestellt. Die korrekten Lösungen - häufig ohne hinreichende Erklärungen - kann man an irgendeiner Stelle einsehen und mit seiner Antwort vergleichen. Der Computer ist dafür nicht unbedingt notwendig, wenngleich er den Übungsablauf stringenter gestalten sowie die Rückmeldung konsequenter und bequemer mitteilen kann. Als Übungsaufgaben werden hier zur Förderung des Lernens komplexere Aufgabenstellungen gewählt. Die Problemlöseaufgabe wird in Teilaufgaben zerlegt, um einfachen Rückmeldungen eine höhere Erfolgchance zu geben. Die Aufgabenbearbeitung ist ohne Computer zwar nicht ganz unmöglich, wäre aber sehr umständlich, weswegen das Medium Computer dafür als relativ unverzichtbar eingestuft wird, insbesondere auch deshalb, weil bestimmte Rückmeldungen vom Lerner je nach Bedarf eingefordert werden können sollten. Es bleibt die Frage zu klären, wie man Rückmeldungen bei schwierigen Problemstellungen gestalten soll.

4.) Insbesondere bei etlichen anspruchsvollen Problemstellungen (meist Ziel-Mittel-Probleme) ist die Präsentation von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen eine echte, häufig die bessere Alternative im Vergleich zur eigenständigen Problemlösung. Insgesamt zeigte sich jedoch, dass die Kombination aus der Darbietung von Lösungsbeispielen und eigenständiger Aufgabenbearbeitung lernwirksamer ist als eine der Einzelmaßnahmen. (Stark 1999; siehe dazu auch: [Feedback mit oder ohne eigene Aufgabenbearbeitung ?](#) (Jacobs 2000)). Diese Fragestellung wird hier erneut überprüft und zwar in einer sehr freien Lernumgebung, die dem Lernen in der Praxis recht nahe kommt. Im Mittelpunkt steht die zentrale Frage, wie wichtig die Ernsthaftigkeit einer Aufgabenanforderung bzw. der Zwang zu einer selbständigen Lösungsbemühung für den Transfer von Problemlöseaufgaben ist. Sollten geeignete Lösungsbeispiele ausreichen, dann ließen sich diese ebenfalls mit sehr sparsamen Mitteln (z.B. ohne Computer) realisieren. Ein Lehrbuchautor müsste dann eben nur einige recht instruktive Lösungsbeispiele anführen, um Problemlöseprozesse hinreichend zu fördern.

Das Tutorium "Permutationen, Kombinationen, Variationen"

Hinweis: Das gesamte Tutorium (in leicht abgewandelter Form) findet der interessierte Leser im Internet unter der URL: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/seminar/kombinatorik/index.htm>

Lehrziele des Tutoriums

Zentrales Lehrziel des Tutoriums ist es, die verschiedenen Varianten der Kombinatorik zu vermitteln, also etwa klarzumachen, unter welchen Bedingungen der Problemtyp "Kombination ohne Wiederholung" vorliegt und wie man für ein konkretes Problem dann die Anzahl der Möglichkeiten berechnet. Hierzu ist es notwendig, dass der Lerner aus einer Textaufgabe den entsprechenden Problemtyp identifiziert und die konkreten Einsetzungen für die Formelbestandteile erkennt. Da die Zuordnung von Problemtyp zu Formel stets als Gedächtnishilfe vorgegeben wird, braucht der Lerner die Formeln nicht auswendig zu lernen. Die Formelberechnungen werden zwar ausgiebig vorgeführt, die entsprechenden mathematischen Kenntnisse sind für den Lernerfolgstest aber irrelevant, da der Lerner lediglich die Formelbestandteile eingeben muss und die Anzahl der Möglichkeiten automatisch errechnet wird.

Es werden keine systematischen Anstrengungen unternommen, die Formeln mathematisch näher herzuleiten. Es fehlen somit Erklärungen, warum z.B. die Formel für Variation ohne Wiederholung $N!/(N-k)!$ lautet oder wie aus einem konkreten Problem eine Formel quasi abgeleitet werden kann. Das Tutorium strebt zwar schon ein anspruchsvolles Problemlösen auf Anwendungsebene an, verzichtet jedoch auf mathematischen Tiefgang und vollkommenes Verständnis.

Aufbau und Konzeption des Tutoriums

Das Tutorium ist ein einfacher, Frame-freier WWW-Hypertext mit einigen interaktiven Elementen. Es umfasst mehrere thematisch abgegrenzte WWW-Seiten. Die übersichtliche, schlicht, aber konsistent gehaltene, Navigation erlaubt folgende Sprünge im Hypertext:

- Anklicken auf **weiter** navigiert zu der jeweils nächsten vom Programm vorgeschlagenen Lernwegseite.
- Anklicken auf **zurück** navigiert zur jeweils vorhergehenden Seite innerhalb des vom Programm vorgeschlagen Lernwegs.
- Anklicken auf **Übersicht** führt zur Überblicksseite, von der aus alle Seiten direkt ansteuerbar sind.

Sonstige Navigationsmöglichkeiten via Menuleiste usw. wurden unterbunden. Diese schlichte Navigationkonzeption wurde von den am Versuch beteiligten Probanden überwiegend als sehr übersichtlich eingestuft.

Der Lerner kann (bzw. muss) sich innerhalb des Tutoriums frei bewegen und wird programmtechnisch in keinsten Weise eingeeengt. Das Tutorium legt nicht fest, wie lange sich der Lerner auf welchen Seiten aufhalten muss. Das gilt auch für die Übungsphasen. Das Tutorium kontrolliert daher auch nicht, ob der Lerner etwa die Problemlöseaufgaben in der vom Tutorium vorgeschlagenen Weise bearbeitet, die Rückmeldungen durchliest oder alle Aufgaben überhaupt in Angriff nimmt. Das war z.B. bei Stark (1999) anders. Hier waren der Lernablauf klar vorgeschrieben und die Probanden angehalten, das Durcharbeiten der Lösungsbeispiele durch lautes Denken verbal zu kommentieren. Sie wurden quasi gezwungen, sich mit den Problemen geistig auseinander zu setzen, was den theoretisch experimentellen Vorteil hatte, dass zumindest die geistige Auseinandersetzung mit den Aufgabenstellungen garantiert war.

Das hier eingesetzte Tutorium ist demgegenüber als sehr freies Lernangebot aufzufassen. Wenngleich mir diese Konzeption für bildungswillige und motivierte Lerner ideal erscheint, - unter anderem auch deshalb, weil zu wenig pädagogisch abgesichertes Wissen vorliegt, um die zu aktivierende Lerntätigkeit programmbedingt zwingend festzulegen-, so hängt der potentielle Lernerfolg des Lernangebot in ganz besonderem Maße von der Konstruktivität der Lerner, insbesondere von dessen Lernbereitschaft, Lerninteresse und Lernausdauer ab. Diese Einschränkungen gelten aber fast idealtypisch auch für die pädagogische Praxis. Nur, wie soll man sowohl in der Praxis wie in einem Experiment erreichen, dass "die Motivation zur jeweiligen Aufgabenbearbeitung sowohl in der Lernphase .. als auch in der Anwendungsphase .. hoch, intrinsisch und möglichst identisch ist", weil nur so Transfer zu erwarten ist (Hasselhorn & Mähler 2000) ? Die Freiheit des Lerners erschwert natürlich die Schlüssigkeit der experimentellen Befunde. Die Hypothesen sind an spezielle Zusatzannahmen gebunden, für die es gewisse Vermutungen gibt, die aber im Einzelnen gar nicht alle abgeklärt werden können.

Das Tutorium kann in eine für alle Probanden verbindliche **Instruktionsphase** sowie in eine von der experimentellen Bedingung abhängige **Übungsphase** gegliedert werden.

Die Instruktionsphase

Nach einer kurzen Einführung zu den Lehrzielen des Tutoriums wird ein Auswahl-schema präsentiert, welches wichtige Begriffe wie Ausgangsmenge, Auswahlmenge, Anordnung sowie Auswahlvorgänge an einem konkreten Beispiel verdeutlichen. Einige Fragen weisen auf wesentliche Differenzierungspunkte hin, um den Lerner für die nachfolgenden Ausführungen zu sensibilisieren. Auf jeweils eigenen Seiten werden Permutation, [Kombination](#) und Variation jeweils in den beiden Varianten mit und ohne Wiederholung ausführlich erklärt und durch Beispiele verdeutlicht.

Die Beispiele in der Instruktionsphase

Innerhalb der Instruktionsphase wurden für alle Möglichkeitsvarianten 2 Lösungsbeispiele Schritt für Schritt dargeboten:

Das jeweils erste Beispiel war so gewählt worden, dass der Lerner das Prinzip des Auswählens anschaulich nachvollziehen konnte. Aus einer Menge von höchstens 4 Zahlen sollten 2 Zahlen gezogen werden. Alle Auswahlmöglichkeiten waren aufgelistet worden. Die einzelnen Objekte bzw. die einzelnen Auswahlen konnten direkt den Formelbestandteilen zugeordnet werden. Die Berechnung der Anzahl der Möglichkeiten wurde von der Formel bis zum Endergebnis vorgeführt.

Das jeweils zweite Lösungsbeispiel sollte als prototypisches Beispiel für die jeweilige Kombinatorikvariante dienen und mehrere Funktionen erfüllen: Das prototypische Beispiel (z.B. Zahlenschloss für die Variation mit Wiederholung) sollte

- leicht nachvollziehbar den für die Variante typischen Auswahlprozess verdeutlichen.
- einen hohen Bekanntheitsgrad aufweisen.
- leicht einprägsam und gut zu behalten sein.
- durch Analogiebildung einen Transfer auf andere Beispiele fördern.

Einige dieser prototypischen Beispiele wurden aus öffentlich zugänglichen Aufgabenstellungen zum Thema Kombinatorik entnommen.

Zusammenfassung und Gesamtsicht

Um die Gemeinsamkeiten und Unterschiede aller Kombinatorikvarianten zu verdeutlichen, wurden mehrere graphische und tabellarische Orientierungen angeboten. Dazu gehört eine kleine Concept Map, welche eine klare Abgrenzung der Begriffe mit und ohne Wiederholung, die Bedeutung des Begriffs mit und ohne Berücksichtigung der Reihenfolge sowie eine Unterscheidung von Permutation, Kombination und Variation verdeutlichen soll. Eine weitere Concept-Map liefert anhand der Kriterien "Wiederholung und Reihenfolge" die Differenzierung aller Kombinatorikvarianten. In einer Überblickstabelle sind alle Problemtypen anhand eines Beispiels mit farbigen Kugeln, der dazugehörigen Formeln sowie der Berechnung der Anzahl der Möglichkeiten gegenübergestellt. Hier kann man auf einen Blick alle Varianten miteinander vergleichen, um Ähnlichkeiten bzw. Unähnlichkeiten aufzudecken. Man kann diese Überblickstabelle zudem als drittes Lösungsbeispiel für jede Variante deuten. Allerdings handelt es sich dabei im Gegensatz zu den ersten beiden Lösungsbeispielen nicht um breit ausgearbeitete, sondern um recht knappe Beispiele, die vom Lerner mehr Selbsterklärungen verlangen. Der hier verlangte Transfer sollte den Lerner aber nicht über-

fordern und tut dies vermutlich auch nicht, da statt Zahlen nun lediglich farbige Kugeln ausgewählt werden mussten. Am Ende der Zusammenfassung wurde eine Übersichtstabelle aller Varianten mit den prototypischen Beispielen präsentiert. Der Lerner wurde aufgefordert, sich die prototypischen Beispiele einzuprägen und der jeweiligen Variante zuzuordnen. Anhand eines prototypischen Beispiels wurde vorgeführt, wie der Lerner das Beispiel elaborieren sollte, um sich das entsprechende Kombinatorikprinzip erneut klar zu machen. Wenngleich die vorgeführte Beispielelaboration angemessene Selbsterklärungen anregen sollte, reicht sie vermutlich nicht aus, um ein Selbsterklärungstraining zu ersetzen, was nach Renkl et. al. (1998) bei Lernern mit geringem Vorwissen nachweislich positive Lerneffekte gegenüber keinem Training erbrachte.

Vertiefung

Die Vertiefung dient dem Zweck, das Problembewusstsein zu schärfen, auf plausible Verwechslungen aufmerksam zu machen, unüberlegte Generalisierungen zu vermeiden, auf wichtige Differenzierungen zu achten, die Anwendungsvoraussetzungen zu prüfen, die Auswahlprinzipien noch genauer zu analysieren und voneinander abzugrenzen sowie zur Problemlösung einige Heuristiken anzubieten. Hier wird insbesondere thematisiert, wie man aus der Aufgabenstellung die Formelbestandteile (meist N und k) zuordnet, was der Begriff "unterschiedliche Möglichkeiten" aussagt, welche Bedeutung der Begriff "mit Wiederholung" alles umfassen könnte und wann die Anordnung der Elemente von Relevanz ist. Auch im Rahmen dieses Kapitels werden neue Beispiele erwähnt und zum Teil ausgearbeitet, um durch möglichst viele unterschiedliche Beispiele den Transfer zu begünstigen.

Die Übungsphase

Alle am Versuch beteiligten Gruppen stand die oben skizzierte Instruktionsphase als frei verfügbarer Hypertext ohne jede Systemkontrolle zur Verfügung. Die experimentellen Variationen beziehen sich auf die der Instruktionsphase folgenden Übungsangebote. Den Probanden wurde die Bearbeitung der Übungen empfohlen. Da sie jedoch das Tutorium völlig frei nutzen konnten, war es ihnen überlassen zu entscheiden, ob überhaupt und wie viele Problemstellungen sie wie gründlich durcharbeiten wollten.

Die experimentellen Vergleichsgruppen

Allen Probanden standen die gleichen Aufgaben bzw. Beispiele zur Verfügung. Das Angebot unterscheidet sich lediglich durch die Art und Weise, wie die Informationen dargeboten wurden. Zum Übungsangebot zählen zum einen 14 Aufgaben im Anschluss an die Vertiefung, welche sich auf das Verständnis wichtiger Begriffe und Prinzipien beziehen (Im folgenden **Verständnisfragen** genannt). Im Anschluss daran wurden in zwei Übungsblöcken insgesamt 14 Textaufgaben (im folgenden **Problemlöseaufgaben** genannt) vorgelegt. Sie verlangten die Bestimmung des Problemtyps, die Lösung einiger Teilprobleme sowie letztendlich die Berechnung der Möglichkeiten. Als Hilfsmittel wurde ein spezieller Rechner einschließlich der relevanten Formeln angeboten. Um die experimentellen Bedingungen anschaulich zu konkretisieren, kann der Leser nach der Beschreibung der Maßnahmen weiter unten [Beispiele zu den wesentlichen Unterschieden der Übungsphasen](#) anfordern.

Die Übungen aller Problemtypen in den jeweiligen Übungsblöcken könnten angesichts der Befunde von Trafton & Reiser (1993) als unglücklich gewählt erscheinen. Die Autoren untersuchten das Lösen von Lisp-Programmierproblemen und fanden heraus, dass die für jeden Problemtyp vorgegebene Folge "Lösungsbeispiel und dann Problemlöseaufgabe" mehr Lernerfolg erbrachte als die Folge "massierte Lösungsbeispiele aller Problemtypen" gefolgt von "massierten Problemlöseaufgaben aller Problemtypen". Ich halte die hier gewählte Sequenzierung dennoch für sinnvoll, weil pro Problemtyp jeweils zwei Beispiele direkt hintereinander vorgegeben wurden und die eigentliche Problemlöseleistung darin besteht, diejenige Kombinatorikvariante zu erkennen, die auf das Problem passt. Die hier gewählte Art von Übung (pro Übungsblock 7 Problemstellungen aus insgesamt 6 Kombinatorikvarianten) ist zwar für die Lerner möglicherweise anstrengender, lässt aber nach Bjork (1994) einen höheren Lerntransfer erwarten.

Aufgaben mit elaborierten Rückmeldungen (elaboriertes Feedback)

Die Verständnisfragen wurden als offene Fragen vorgegeben. Sie mussten nicht schriftlich eingegeben, sondern sollten im Geiste beantwortet werden. Durch Mausklick konnte die korrekte Lösung eingeblendet werden. Die 7 Problemlöseaufgaben des ersten Übungsblocks hatten zum Ziel, ein systematisches Vorgehen zu fördern und waren deshalb in Teilaufgaben gegliedert. Vor der Berechnung der Anzahl der Möglichkeiten mussten die Fragen nach Wiederholung (ja, nein), Reihenfolge (wichtig, unwichtig) und Problemtyp (einer von 6 möglichen) beantwortet werden. Der zweite Übungsblock umfasste ebenfalls 7 Problemlöseaufgaben. Hier waren pro Aufgabe die einzelnen Formelbestandteile anzugeben sowie der Problemtyp zu bestimmen. Es wurden u. a. deshalb 7 Problemlösungen gewählt, damit der taktisch orientierte Student auch damit rechnen musste, dass jeder Problemtyp (insgesamt 6) mindestens zweimal vorkommen könnte.

Der Lerner erhält als Rückmeldung zu jeder Antwort

- **Knowledge of Result (KOR = richtig oder falsch)**
- **Knowledge of Correct Result (KCR = die korrekte Antwort)**
- **elaboriertes Feedback** = eine verständliche Erklärung, die mehrere Aspekte umfassen kann und die die Problemlösung möglichst vollständig erklärte. Es sollten demnach keine Lücken vorhanden sein, die der Lerner selbst ausfüllen muss, um die Lösung hinlänglich zu verstehen, wodurch ein Lerner, der die Lücken eben nicht selbst schließen kann, sieht, wie die Lücken zu schließen sind. Am Ende wird stets eine ausführliche Musterlösung (ausgearbeitetes Lösungsbeispiel) dargeboten. Der Lerner wird aufgefordert die Analogie des prototypischen Beispiels auf den gegebenen Fall anzuwenden.

Beim zweiten Übungsblock wurde bei falscher Antwort nicht automatisch die korrekte Lösung genannt, sondern Hilfestellung angeboten, um dem erneuten Lösungsversuch eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit zu geben. Auf diese Weise sollte eigenes Bemühen noch stärker angeregt werden. Spätestens nach dem dritten Lösungsversuch wurde die korrekte Antwort einschließlich der elaborierten Rückmeldung gegeben.

Grundsätzlich aber galt: Der Lerner musste zwingend nur einen Lösungsversuch unternehmen und hatte dann die Option, die korrekte Lösung einzufordern oder einen erneuten Lösungsversuch zu starten. Die direkte Option auf die korrekte Antwort nach einem Lösungsversuch ist sinnvoll, weil erzwungene mehrfache Lösungsversuche Frustrationen auslösen und destruktives Antwortverhalten nach sich ziehen können (Clariana 2000). Letztendlich kann man den Lerner auch schwerlich zu einer konstruktiven Antwort zwingen. Der destruktive Lerner kann auch unter der gegebenen experimentellen Bedingung jeglichen ernsthaften Antwortversuch torpedieren und wild herunklicken, um so die Lösung einsehen zu können.

Die Problemstellungen jedes Übungsblocks waren auf einer WWW-Seite untergebracht. Das hat den Vorteil, dass Aufgaben aus verschiedenen Problemtypen miteinander verglichen werden können.

Aufgaben mit sparsamen Rückmeldungen (KCR)

Diese experimentelle Variante entspricht weitgehend der Bedingung "Aufgaben mit elaborierten Rückmeldungen". Sie unterscheidet sich lediglich hinsichtlich der Ausführlichkeit der Rückmeldungen bei den 14 Verständnis- und Problemlöseaufgaben. Die Rückmeldungen zu den 14 Verständnisaufgaben beschränkten sich auf eine möglichst knappe Antwort und verzichteten auf nähere Erklärungen. Bei den Problemlöseaufgaben mit sparsamen Rückmeldungen fehlt das elaborierte Feedback. Der Lerner erhält z.B. die Rückmeldung: "Variation mit Wiederholung", muss sich dann aber selbst erklären, warum im gegebenen Fall eine Variation vorliegt und was wiederholt wird.

Die Bedingung würde man in der Literatur als klassisches KCR-Feedback bezeichnen (Knowledge of Correct Result). Allerdings muss man berücksichtigen, dass im Gegensatz zu simplen KCR-Studien mit einfachen MC-Fragen eine Aufgabenstrukturierung durch Teilfragen stattfindet. Die Teilfragen innerhalb einer Aufgabe werden nacheinander beantwortet und das Ergebnis einschließlich der korrekten Antwort rückgemeldet, was die nachfolgende Weiterbearbeitung der Aufgabe und das Verständnis des Problems wesentlich erleichtern kann: Ein Aufgabenbeispiel mag dies verdeutlichen:

Wie viele Möglichkeiten gibt es, 6 Zahlen im Lotto 6 aus 49 zu ziehen? Simples KCR würde direkt eine Antwort verlangen und im Falle einer falschen Antwort z.B. die Rückmeldung geben: "Ihre Antwort ist falsch. Richtig ist 13983816." Bevor der Lerner hier eine derartige Frage nach der Anzahl der Möglichkeiten überhaupt beantworten muss, hat er bereits 3 Teilfragen bearbeitet und weiß z.B., dass beim Zahlenlotto der Problemtyp "Kombination ohne Wiederholung" vorliegt.

Fragen und direkte Rückmeldung (Lösungsbeispiele)

Die Fragen bzw. Problemstellungen erfordern hier keine explizite Antwort bzw. Aktion, um die Rückmeldung einzusehen. Bei den Verständnisfragen sind z.B. in der linken Spalte die Fragen und in der rechten Spalte die dazugehörigen Antworten einzusehen (wenn man so will: Rhetorische Fragen.). Die 14 Problemlöseaufgaben wurden als ausgearbeitete Lösungsbeispiele (Problemstellung + Lösungsschritte + Lösung) vorgegeben. Der Lerner hat dadurch den direkten Zugriff zum gesamten elaboriertem Feedback in der Bedingung: 'Aufgaben mit elaborierten Rückmeldungen'. Um die wichtigsten Rückmeldungen aus dem gesamten elaborierten Feedback leicht isolieren zu können, wurden die absolut notwendigen korrekten Lösungsschritte in Fettdruck von den vielfältigen Erklärungen abgehoben.

Da eigenes Bemühen um eine selbständige Lösung auch bei ausgearbeiteten Lösungsbeispielen durchaus sinnvoll sein kann - siehe etwa die gute Problemlöseleistungen der antizipatorischen Selbsterklärer (Renkl (2000) - , wurde dem Lerner empfohlen, nach Möglichkeit eine eigene Lösung zu versuchen, bevor er das Lösungsbeispiel ein- sieht. Technisch wurde die Empfehlung dadurch unterstützt, dass der Lerner bei den ersten 7 Problemlöseaufgaben durch den Scrollbalken die Aufgabenstellung von dem ausgearbeiteten Lösungsbeispiel trennen konnte. Bei den weiteren 7 Problemlöseauf- gaben wurde der Lerner nach jeder Aufgabe daran erinnert, zunächst selbst nachzu- denken. Der Abstand zwischen Aufgabenstellung und Lösung wurde deutlich vergrößert.

Bert und ein Link zur Lösung angeboten. Der Lerner kann letztlich selbst entscheiden, ob er die Aufgabenstellung als echte Aufgabe oder als nachzuvollziehendes Lösungsbeispiel begreifen will.

Nur Fragen bzw. Problemlöseaufgaben ohne jede Rückmeldung (Nur Fragen)

Diese Gruppe sah im Anschluss an die Instruktion die 14 Verständnisfragen mit der Anweisung, darüber nachzudenken und selbst die korrekte Antwort zu finden. Die Problemlöseaufgaben entsprachen exakt den Problemlöseaufgaben der Feedbackgruppen. Im Unterschied zu den Feedbackgruppen wurde die Antwort des Lerners nicht bewertet und keinerlei Rückmeldung gegeben. Es sei darauf hingewiesen, dass der Lerner zu einem Problem auch die Unterfragen vorgelegt bekam, so dass ihm durch die Unterpunkte zumindest eine Problemstrukturierung nahe gelegt wurde.

Verdeutlichung der experimentellen Bedingungen

In einem eigenen Fenster werden die wesentlichen Unterschiede der Übungsphasen für die experimentellen Bedingungen anschaulich dargestellt.

[Verständnisfragen](#) | [Übungsblock 1](#) | [Übungsblock 2](#)

Nach dem direkt verfügbaren Informationsgehalt zu den lösungsrelevanten Informationen lässt sich folgende abfallende Rangfolge der Bedingungen aufstellen:

1. Lösungsbeispiele
2. elaboriertes Feedback
3. sparsames Feedback (KCR)
4. Nur Fragen

Die Auswahl der Problemstellungen in der Übungsphase:

Beispiele müssen hinreichend variieren, um einen Lerntransfer zu fördern. Die in der Instruktion verwendeten prototypische Beispiele erleichtern zwar das Behalten der Information, verdeutlichen das entsprechende Lösungsprinzip und dienen als Analogie für andere Beispiele, dürfen aber weder unreflektiert generalisiert noch überdifferenziert werden. Es kommt darauf an, vom konkreten Beispiel zu abstrahieren und die Struktur zu erkennen. Die Problemstellungen in der Übungsphase waren daher hinsichtlich der Merkmale bunt gemischt und sollten mögliche beispielbedingte Set-Bildungen verhindern. So ist etwa in der Instruktionsphase das 100-Meter-Endlauf-Finale prototypisch für Permutation ohne Wiederholung, das 400 Meter Hürdenfinale in der Übungsphase wird aber als Beispiel für Permutation mit Wiederholung eingesetzt und aus dem Bereich des Sports werden Problemstellungen aus insgesamt fünf verschiedenen Problemtypen vorgegeben. Das Wort Anagramm dient als prototypisches Beispiel für Permutation mit Wiederholung. In der Übungsphase kommt dann das Wort germany, dessen mögliche Buchstabenanordnungen dem Problemtyp Permutation ohne Wiederholung zuzurechnen ist. Im Lernerfolgstest musste der Lerner schließlich ein 8 Buchstaben umfassendes Wort aus 5 möglichen Buchstaben zusammensetzen, was nach dem Prinzip "Kombination mit Wiederholung" zu lösen war.

Die Instruktionsphase eingeschlossen, erhalten alle Probanden insgesamt mindestens 5 Problemstellungen bzw. Lösungsbeispiele für jeden Problemtyp. 2 dieser Problemstellungen sind durch konkretes Ausprobieren nachvollziehbar, die restlichen sind

überwiegend nur theoretisch errechenbar. Die Vermittlung der Beispiele variiert ebenfalls, indem unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt wurden. So wurde zu Beginn jede mögliche Auswahl pro Problemtyp expliziert, in der Mitte der Vergleich der Auswahlen für alle Problemtypen angeregt und dafür figurales Aufgabenmaterial gewählt. Übungsphase 1 legt den Schwerpunkt auf die Teilaspekte Wiederholung, Reihenfolge, Typerkennung und Berechnung, Übungsphase 2 auf das Erkennen der Formelbestandteile und des Problemtyps. Nach Schmidt und Bjork (1992) sowie Bjork (1994) verbessern Übungsvariationen den Transfer des Lernens. Die Konzeption des Tutoriums zielt somit auf eine gründliche Durcharbeitung des Wissens ab, denn: "Dort, wo etwas nicht solide gelernt und eingeübt worden ist, gibt es auch nichts zu transferieren" (Steiner 2001, S.196).

Wünschenswerte, nicht realisierte weitere Übungen

Die Lernphase des Tutoriums umfasste nur die oben beschriebenen Übungsphasen, weil die für die Überprüfung des Tutoriums zumutbare Lernzeit damit erschöpft schien. Zwei weitere Übungsphasen müssten sich meiner Meinung anschließen und könnten den Lernerfolg möglicherweise begünstigen:

- Problemstellungen bearbeiten ohne jede Strukturierung, Hilfestellung und Feedback.
- Aufforderung, zu allen Kombinatorikversionen selbst variantenreiche Probleme zu erfinden und dazu Musterlösungen zu entwickeln.

Versuchsplan und Versuchsdurchführung

Das Lernprogramm ist als ein WWW-Tutorium konzipiert und wird mit Hilfe von JavaScript und PHP experimentell gesteuert. Der Versuch wurde in den Computerräumen des Cip-Pools der Philosophischen Fakultät durchgeführt.

Als Probanden dienten StudentenInnen der Erziehungswissenschaften und des Lehramts. Sie wurden im Rahmen verschiedener Seminare zur Teilnahme am Experiment mit der Begründung verpflichtet, das Tutorium sei für die betreffende Lehrveranstaltung ein wertvolles Lern- bzw. Erfahrungsmedium. Bei allen Erziehungswissenschaftlern kann ausgeschlossen werden, dass das Thema 'Kombinatorik' jemals innerhalb der Methodenausbildung behandelt wurde. Die Lehramtskandidaten studieren überwiegend geisteswissenschaftliche Studienfächer (Germanistik und Sprachen). Nur 4 Teilnehmer aus allen Probanden gaben Mathematik als Studienfach an.

Ursprünglich war geplant, mindestens 100 Probanden zu testen, um eine halbwegs realistische Chance zum statistischen Nachweis mittlerer Effekte zu gewährleisten. Diese Planung ließ sich aber nicht verwirklichen. 76 Vpn wurden nach Zufall auf die 4 Bedingungen aufgeteilt. Damit liegt ein klassisches Experiment ohne Vortest zugrunde, wodurch die interne Validität des Versuchsplans unter den gegebenen Restriktionen bestmöglichst gesichert erscheint.

Um im Mittel eine Vergleichbarkeit der Lern -und Testzeiten für alle Bedingungen zu ermöglichen, aber zugleich eine gewisse, in der Praxis vorfindbare Lernzeitflexibilität nicht vollständig einzuengen, wurde die Lernzeit auf mindestens 60 und höchstens 90 Minuten festgelegt. Für die Bearbeitungszeit des sich anschließenden Lernerfolgstest war eine Richtzeit von ca. 30 Minuten festgelegt worden.

Nach einer kurzen Motivierungsphase forderte der Versuchleiter die Probanden auf, mit dem Tutorium zu beginnen, teilte leere Blätter aus und unterstützte so die von vielen spontan gezeigte Bereitschaft, sich entsprechende Notizen zu machen. Die meisten Studenten zeigten einen durchaus ernsten, arbeitswilligen Lerneinsatz. Fast alle machten regen Gebrauch von eigenen Mitschriften, die zum Teil etliche Seiten umfassten.

Hypothesen

Hinweis: Nachfolgende Hypothesen wurden 2 Tage vor den experimentellen Erhebungen, am 6.4.2001 um 13.36 via Email an h.bernd@mx.uni-saarland.de geschickt, um ein Dokument zu sichern, anhand dessen jegliche nachträgliche Anpassung der Hypothesen in Kenntnis der Daten überprüft werden kann.

Im folgenden lege ich mich auf die wichtigsten, empirisch zu prüfenden Hypothesen fest. Zugleich mache ich auf einige Einschränkungen aufmerksam, die dadurch bedingt sind, dass manche Prognosen an das Vorliegen bestimmter Zusatzbedingungen gebunden sind, die vor dem Experiment nicht bekannt sind, sondern lediglich vermutet werden können. Ich entscheide mich demnach für bestimmte Hypothesen, würde aber keine Kiste Champagner wetten, dass alle Hypothesen im vorliegenden Versuch bestätigt werden.

1.) Die Bedingung "nur Fragen" ist den übrigen Bedingungen unterlegen.

Im Gegensatz zur Bedingung "nur Fragen" erhalten die Lerner der Feedbackgruppen stets Rückmeldungen. Die Überlegenheit von Rückmeldungen gegenüber reinen Aufgabenstellungen ohne Rückmeldungen ist in vielen Experimenten nachgewiesen worden und folglich auch hier zu erwarten. Hinreichende experimentelle Studien sind zu dem Ergebnis gelangt, dass insbesondere bei schwierigen Ziel-Mittel-Problemen ausgearbeitete Lösungsbeispiele lernwirksamer sind als die reine Bearbeitung von Problemlöseaufgaben.

Die Größe des experimentellen Effektes ist aus mehreren Gründen schwer einzuschätzen und insgesamt ist von eher geringen Effekten auszugehen. Der Lernvorteil von Fragen, Aufgaben mit Feedback oder ausgearbeiteten Lösungsbeispielen hängt auch davon ab, wie viel Unsicherheit und Erklärungsbedarf nach der Instruktionsphase noch vorhanden und wie viel eigenständige Übungspraxis noch notwendig sind. Im Tutorium wurde bewusst sehr viel Energie in die Konzipierung einer möglichst optimalen Instruktionsphase gelegt, weil es nicht Sinn einer Instruktion sein kann, sich selbst überflüssig zu machen oder die Präsentation des Lehrstoffes schlecht zu gestalten, um somit für die Lerner viele Probleme offen zu lassen, damit diese dann bei den anschließenden Übungsaufgaben bewusst werden und durch die Übungen wirksam gelöst werden können. (Jacobs (1998)). Die Darbietung des Wissens zum besagten Thema kann hinsichtlich Erklärungsgüte, Anschaulichkeit und Ausführlichkeit ohne weiteres mit vorhandenen Lerneinheiten konkurrieren und übertrifft einige in manchen Punkten. Die Instruktion umfasst z.B. für jeden Problemtyp mindestens 3 Lösungsbeispiele. Je besser aber die Wissenspräsentation, desto geringer ist der potentielle Lerngewinn durch weitere Übungen und umso schwächer sind die experimentellen Effekte.

Atkinson et al (2000) empfehlen basierend auf Befunden von Reed and Bolstad (1991) als basic rule for worked-examples instructional design: "at least add a second

example". Wenn ein einfaches und ein komplexes Beispiel ausreichen sollten, dann wären z.B. keine bzw. hypothesendiskonforme Unterschiede zwischen der Bedingung "Lösungsbeispiele" und "nur Fragen" zu erwarten, weil auch bei der Bedingung "nur Fragen" in der Instruktionsphase ja 3 Lösungsbeispiele pro Kombinatorikvariante präsentiert wurden und die Kombination von Lösungsbeispielen und Problemlöseaufgaben lernwirksamer ist als ausschließliche Lösungsbeispiele.

Die Schwierigkeit der Problemstellung lässt dennoch vermuten, dass durch weitere Übung noch etliches Lernpotential erschlossen werden kann und nur unter dieser schwer zu prüfenden Voraussetzung kann die Hypothese 1 ernsthaft aufrechterhalten werden.

2.) Die Bedingung elaboriertes Feedback ist den übrigen experimentellen Varianten überlegen

Die meisten experimentellen Befunde sprechen relativ klar für die These, dass die Kombination von 'Aufgaben bearbeiten und Musterlösungen durcharbeiten' einer einzelnen Methode (nur Aufgaben bearbeiten oder nur Lösungsbeispiele durcharbeiten) überlegen ist. (siehe dazu [Aufgaben bearbeiten und Musterlösungen einsehen bei komplexen Aufgaben](#)). Diese Kombination aus Anregung zu eigener Problembearbeitung und Darbietung von Musterlösungen ist in der Bedingung elaboriertes Feedback am deutlichsten umgesetzt worden. Ähnlich, aber nicht so konsequent wie bei Renkl et al. (2000) gehen die in der Instruktionsphase dargebotenen Lösungsbeispiele in der Übungsphase in Problemlöseaufgaben über.

In der Bedingung Lösungsbeispiele werden sehr hohe Anforderungen an die Selbstdisziplin des Lernalers gestellt, die Problemstellung auch als ernsthafte Aufgabe zu begreifen. Obwohl durch Ratschläge und Hinweise eine Aufgabenorientierung angeregt wird, ist eine höhere Gefahr für eine oberflächlichere Bearbeitung als in der Bedingung 'elaboriertes Feedback' gegeben, wenngleich diese Gefahr auch bei elaboriertem Feedback nicht ganz auszuschließen ist. Im Gegensatz zu etlichen Untersuchungen von Stark bzw. Renkl wird der Lerner bei der Bearbeitung des Lösungsbeispiels nicht Schritt für Schritt geführt und darüber hinaus zu lautem Denken animiert. Der Lerner sieht hier das Lösungsbeispiel auf einen Blick und keiner kontrolliert, ob und wie gut er es durcharbeitet.

Theoretisch plausibel erscheint die These, eine ausführliche Rückmeldung sei gegenüber KCR dann hilfreich,

- wenn die knappe Rückmeldung KCR nichts zum Verständnis des Problems beiträgt, wodurch der Lerner in eine Sackgasse gerät, aus der er selbständig nicht herausfindet,
- die ausführliche Rückmeldung dieses Verständnis hingegen ermöglicht.

Elaborierte Rückmeldungen in Form von aufgabenspezifischen Erklärungen bzw. Musterlösungen haben gegenüber sehr sparsamen Feedback (KCR) den Vorteil, dass sie bei gegebenen Verständnisschwierigkeiten hilfreiche Erklärungen anbieten, die Fehldeutungen abbauen und das Verständnis fördern können. Im Gegensatz zu allgemeinen instruktionalen Erklärungen (Stark et. al (2001)), beziehen sich die hier dargebotenen elaborierten Erklärungen immer auf die konkrete Aufgabenstellung, wenngleich Sie auch generelle Regeln beinhalten. Die Bedingung "elaborierte Rückmeldung" gestattet dem Lerner je nach Bedarf, die für ihn nützlichen Rückmeldungen zur Kenntnis zu nehmen. Gerade bei schwierigen Problemstellungen ist die Information

über die korrekte Lösung häufig nicht hinreichend für das Problemverständnis. Da die Problemlöseaufgabe hier jedoch in Teilaufgaben gegliedert ist, zu der sukzessiv korrekatives Feedback gegeben wird, sind auch bei sparsamem Feedback klare Lerneffekte zu erwarten, weil viele potentiell unproduktive Lernwege ziemlich rasch durch die korrekten Antworten zu den Teilfragen begrenzt werden und der Lerner so eher auf den richtigen Lernweg gebracht wird. Gegenüber elaboriertem Feedback bleibt der Lerner unter KCR allerdings darauf angewiesen, sich die korrekte Lösung selbst verständlich zu machen. Letzteres kann aber auch Vorteile haben, da so eigenständiges Bemühen gefördert wird.

Es kann nicht mit Gewissheit prognostiziert werden, ob der zusätzliche Aufwand zur Konstruktion elaborierter Rückmeldungen eine deutliche Lernverbesserung nach sich zieht. Eine generelle Antwort auf diese Frage kann es deshalb nicht geben, da der Lernerfolg eben vom Bedarf an elaborierter Rückmeldung abhängt. Dieser Bedarf ist im vorliegenden Fall unbekannt, bei den zum Einsatz kommenden schwierigen Aufgabenstellungen allerdings recht wahrscheinlich. Denkbar wäre, dass den besten Lernern KCR durchaus genügen würde, während z. B. Lerner mit sehr geringem Vorwissen weitere Erklärungen benötigen.

3.) Bedingung 'Lösungsbeispiele' und KCR unterscheiden sich nicht

Bei KCR wird die Beantwortung der Aufgabe explizit eingefordert und damit der eigenständige Problemlöseversuch quasi erzwungen, bei der Bedingung 'Lösungsbeispiele' wird demgegenüber die Aufgabenorientierung lediglich empfohlen. Da in der Instruktionsphase bereits 3 Lösungsbeispiele pro Problemtyp angeboten wurden, liegt insgesamt bei KCR eine Kombination aus ausgearbeiteten Lösungsbeispielen und eigenen Aufgabenbearbeitungen zugrunde, die bisherigen Befunden zufolge nachweislich eine hohe Lerneffizienz verspricht und der Methode 'nur ausgearbeitete Lösungsbeispiele' überlegen ist. Diese Argumentation spricht ganz klar für Vorteile von KCR gegenüber den Lösungsbeispielen. Die hier verwandte KCR-Methode ähnelt in gewisser Weise knapp formulierten unvollständigen Lösungsbeispielen, die insbesondere in der Untersuchung von Stark (1999) eindeutige Lernvorteile gegenüber ausschließlichen Lösungsbeispielen erbrachten.

Lerner, welche 'Lösungsbeispiele' in pädagogisch intendiertem Sinne nutzen, profitieren allerdings im Vergleich zu den Probanden unter KCR von den elaborierten Teilen im Lösungsbeispiel. Das Lösungsbeispiel demonstriert nicht nur die Lösungsschritte, sondern begründet dieselben auch. Um eine gründliche Bearbeitung der Lösungsbeispiele zu fördern, wurden einige Maßnahmen ergriffen (wie z.B. die klare Aufforderung, zunächst die Aufgabe selbst zu bearbeiten; die Darbietung einer prototypischen Elaboration eines Lösungsbeispiels.) Im Grunde genommen ist ohne zusätzliche Informationen sehr schwer entscheidbar, wie sich die einzelnen Vor- und Nachteile beider Varianten auswirken, weswegen eine klare Überlegenheit für eine der Varianten schwer begründbar erscheint.

Zu testende Erwartungen

Für die statistische Prüfung liegen deshalb folgende Erwartungen zugrunde

(elaboriertes Feedback > (KCR = Lösungsbeispiele)) > nur Fragen

> : signifikant höherer Lernerfolg = keine Unterschiede im Lernerfolg

Aufgaben des Lernerfolgstest

Um einen zuverlässigen und möglichst validen Lernerfolg erfassen zu können, wurden insgesamt 12 Problemlöseaufgaben (2 pro Problemtyp) zu einem Lernerfolgstest zusammengefasst. Die Aufgabenreihenfolge wurde für jeden Probanden nach Zufall vorgegeben, um potentielle Anordnungseffekte auszubalancieren. Für jede Problemstellung muss der Problemtyp erkannt sowie die Anzahl der Möglichkeiten berechnet werden. Als Hilfsmittel steht eine Orientierungsseite mit Klassifikationssystem, Formeln und prototypischen Beispielen für alle Problemtypen zur Verfügung. Befunden von Gerjets, Scheiter & Tack (2001) zufolge profitieren insbesondere Lerner mit geringem Vorwissen von solchen Erinnerungshilfen. Zur Berechnung dient ein spezieller Rechner, der automatisch bei der Anwahl des Problemtyps auftaucht, zur Eingabe der Formelbestandteile auffordert und nach Mausklick die Anzahl der Möglichkeiten ausrechnet. Auch die angefertigten Notizen konnten beim Lernerfolgstest verwendet werden. Ein Rücksprung zum Tutorium war hingegen nicht mehr möglich.

Bei den Aufgaben des Lernerfolgstests handelt es sich stets um neue Aufgaben, die in Instruktion und Übung nicht vorkamen. Die Aufgaben beziehen sich auf ganz unterschiedliche Inhaltsbereiche (Oberflächen). Einige Aufgaben erfordern zur Lösung einen eher geringen, die meisten Aufgaben einen "vielleicht eher anspruchsvollen" Lerntransfer, der aber nicht genau definiert werden kann. So war bei manchen Aufgaben N oder k nicht explizit genannt worden, sondern musste aus den Angaben erschlossen werden, einige Fälle von Wiederholung kamen in der Übung so nicht vor. Zum Teil wurden Aufgaben mit bekannter Oberfläche aus Übungs- und Instruktionsphase verwendet, die aber im Lernerfolgstest einem anderen Problemtyp zuzuordnen waren (also oberflächengleich aber strukturverschieden: (z. B. Lottoproblem vs. Tottoproblem, Klaviertasten anschlagen als Variation ohne bzw. Variation mit Wiederholung). Die Schwierigkeit weniger Aufgaben wurde dadurch verschärft, dass komplexere Szenarios oder problemirrelevante Zusätze, die man allerdings als irrelevant erkennen muss, eingeführt wurden. Alle Aufgaben waren unter Nutzung eines behandelten Problemtyps lösbar, d.h. die Problemlösungen erforderten keinen über die vermittelten Prinzipien hinausgehenden Transfer auf ganz neue Strukturen oder komplexere Zusammensetzungen aus den bekannten Strukturen.

Die Reliabilität der Bestimmung des Kombinationstyps ($\text{Alpha} = .49$) sowie die zur Berechnung der Anzahl der Möglichkeiten ($\text{Alpha} = .58$) sind für eine Individualdiagnostik zu gering, zur Testung von Gruppenunterschieden jedoch hinreichend. Beide Maße sind nicht nur statistisch, sondern auch im Sinne einer Messung nicht unabhängig voneinander, weil die Identifizierung der Problemtyps Voraussetzung zur Berechnung der Möglichkeiten ist. Beide Maße korrelieren $.86$ miteinander. Deshalb wurden die korrekten Lösungen beider Maße aufaddiert und der Prozentsatz aller korrekten Lösungen als alleiniges relevantes Lernerfolgsmaß definiert.

Ergebnisse

Studierzeiten des Tutoriums

Lernerfolgsdaten sind nur dann eindeutig interpretierbar, wenn vergleichbare Lernzeiten zugrunde liegen. Da die Lernzeiten nicht strikt festgelegt waren, muss zunächst die Vergleichbarkeit der Lernzeiten für alle Gruppen überprüft werden.

Tabelle 1: Studierzeiten des Tutoriums in Minuten für alle experimentellen Gruppen

	M	s	N
Elaboriertes Feedback	76	8	19
Sparsames Feedback (KCR)	73	9	18
Lösungsbeispiele	80	9	18
Nur Fragen	76	9	19

Die einfaktorielle Varianzanalyse mit den 4 Übungsvarianten als UV und den Studierzeiten als AV führte zu einem insignifikanten F-Wert ($F(3,70)=1,99$; $p=.12$). Das Ergebnis bestätigt die angestrebte Vergleichbarkeit der Studierzeiten für alle Gruppen. Im übrigen geht mehr Lernzeit keineswegs mit höheren Lernerfolg einher, da im gegebenen Fall Studierzeit und Lernerfolg negativ korrelieren ($r=-.28$ $p=.02$), was möglicherweise wie folgt erklärt werden kann. "Es wird mehr Lernzeit eingesetzt, weil noch mehr Lernzeit benötigt wird."

Leistungsergebnisse im Lernerfolgstest

Die Bestimmung des Problemtyps und die Berechnung der Möglichkeiten wurden zusammengefasst und als Lernerfolgsmaß der Prozentsatz der korrekten Lösungen aus allen Antworten berechnet. 2 Probanden wurden wegen extrem schwacher Leistungsergebnisse (Ausreißer im Tukey-BoxPlot) aus dem Datensatz entfernt.

Tabelle 2: Prozentsatz der korrekten Lösungen

	M	s	N
Elaboriertes Feedback	64.5	17.2	19
Sparsames Feedback (KCR)	72.5	15.8	18
Lösungsbeispiele	59.5	17.7	18
Nur Fragen	61.2	11.9	19

Die einfaktorielle Varianzanalyse mit den 4 Übungsvarianten als Faktoren und dem Lernerfolg als AV ergab einen schwachen Effekt : $F(3,70) = 2.41$; $p = .074$). Bei den sich anschließenden multiplen Mittelwertvergleichen nach Bonferroni wurde ein Alpha von 10 % zugrunde gelegt, da es sich um eine recht strenge Testung handelt und ansonsten der Betafehler unverhältnismäßig angestiegen wäre. Entsprechend der Hypothesenformulierung wurde zwei -oder einseitig getestet. Lediglich 2 Gruppenunterschiede konnten statistisch gesichert werden.

Aufgefundene signifikante Unterschiede

	Testung	p	Effekt- stärke
Sparsames Feedback vs. Lösungsbeispiele:	zweiseitig	.097	.77
Sparsames Feedback vs. Nur Fragen:	einseitig	.099	.81

Die Vermutung, man hätte hier gerade knapp die Signifikanz und diese dann noch auf einem tendenziellen Niveau gerettet, ist vielleicht zu pessimistisch. Würde man statt multipler Mittelwertsvergleiche t-tests für unabhängige Stichproben berechnen, dann erhielte man entsprechende p-werte von $p=.026$ (zweiseitig) und $p=.01$ (einseitig), also selbst nach konventionellen Kriterien für den relativ geringen Stichprobenumfang durchaus klare Effekte.

Wichtiger als diese Signifikanzüberlegungen erscheinen mir die Effektstärken der Unterschiede, die eine für die Unterrichtsforschung durchaus akzeptable Höhe erreichen. Effektstärken von $d = 2$ sind das maximale, was überhaupt durch Instruktionsmaßnahmen erreichbar erscheint.

Sind Aufgaben mit Feedback lernwirksamer als Aufgaben ohne Feedback ?

Um diese Frage umfassend zu testen, wurden beide Feedbackgruppen zusammengefasst und als Kontrast in der VA sowie zusätzlich mittels t-Test für ungleiche Varianzen gegen die Gruppe "Nur Fragen" getestet:

Kontrast: $t = 1.89$; $df = 47.42$; p (einseitig) = .032
 t-test : $t = 1.84$; $df = 48.4$; p (einseitig) = .036

In beiden Fällen war der einseitig getestete Unterschied auf dem 5 % Niveau signifikant. Er entspricht einer Effektstärke von $d = .49$ zugunsten der Feedbackgruppen. Somit konnte zumindest bestätigt werden, dass Aufgaben stellen mit Feedback einen höheren Lernerfolg bewirken als Aufgaben stellen ohne entsprechendes Feedback.

Sind Aufgaben mit Feedback lernwirksamer als ausschließliche Lösungsbeispiele ?

Beide Feedbackgruppen wurden zusammengefasst und als Kontrast in der VA sowie zusätzlich mittels t-Test für gleiche Varianzen gegen die Gruppe "Ausschließliche Lösungsbeispiele" getestet:

Kontrast: $t = 1.98$; $df = 70$; p (zweiseitig) = .08
 t-test : $t = 1.81$; $df = 53$; p (zweiseitig) = .052

Bei zweiseitiger Testung verfehlen die p-Werte knapp das 5 % Niveau. Der Unterschied entspricht einer Effektstärke von $d = .52$ zugunsten der Feedbackgruppen. Im Nachhinein deuten die Daten darauf hin, dass in einer abschließenden Übungsphase der Zwang zur Aufgabenbeantwortung als Voraussetzung für nachfolgendes (hinreichendes) Feedback einen höheren Lernerfolg bewirkt als die Präsentation von Problemstellungen mit direkt zugänglichen Lösungen.

Bearbeitungszeit im Lernerfolgstest

Für die Testzeit des Lernerfolgstest waren ca. 30 Minuten vorgesehen. Es wurden keine Mindestbearbeitungszeiten gefordert, die Testbearbeitung aber nach 30 Minuten auch nicht abrupt beendet. Nach

Ablauf der anvisierten Frist von 30 Minuten forderte der Versuchsleiter die verbleibenden Probanden auf, die angefangene Aufgabe möglichst schnell zu beantworten und dann die Testung zu beenden.

Tabelle 3: Testzeiten (Minuten) im Lernerfolgstest

	M	s	N
Elaboriertes Feedback	27	5	19
Sparsames Feedback (KCR)	26	6	18
Lösungsbeispiele	33	5	18
Nur Fragen	28	6	19

Man erkennt die deutlich längeren Testzeiten bei der Gruppe Lösungsbeispiele. Da zur Bearbeitungszeit der Problemlöseaufgaben keine Hypothesen formuliert wurden, werden die Daten post hoc einer zweiseitigen Signifikanzprüfung mit $\alpha = .05$ unterzogen, um nur ganz eindeutige Effekte aufzuspüren. Nach Bonferroni-Multiplen-Mittelwertsvergleich liegt der Mittelwert 33 jeweils mindestens auf dem 5% Niveau signifikant über den Mittelwerten aller restlichen Gruppen, deren Zeiten sich untereinander nicht unterscheiden. Die Testzeit steht in keinem Zusammenhang mit dem Prozentsatz der korrekten Lösungen ($r = -.02$, $N = 74$).

Eine tutorielle Variante ist einer andern überlegen, wenn sie bei vergleichbarem Lernergebnis in kürzerer Zeit bewältigt werden kann. Während die Studierzeiten alleine keinen Effekt zwischen den Gruppen hervorbrachten, sind Unterschiede nachzuweisen, wenn man die Gesamtarbeitzeit am Tutorium (Studierzeit und Testzeit) heranzieht. Die Gruppe Lösungsbeispiele erforderte insgesamt signifikant mehr Lernzeit als die Gruppe Sparsames Feedback ($p = .002$ nach Bonferroni.). Der Zeitvorteil von sparsamem Feedback entspricht 13 %.

Die Tücken der Randomisierung

Die Randomisierung verfolgt den Zweck, die Vergleichbarkeit der Gruppen hinsichtlich aller möglichen Persönlichkeitsmerkmale zu erzeugen. Allerdings garantiert die Randomisierung diese Vergleichbarkeit nicht. Der Forscher hofft vielmehr darauf, dass sich die experimentellen Gruppen vor den Treatments aller Wahrscheinlichkeit nach nicht unterscheiden. Großartige Überprüfungen des Erfolgs der Randomisierung werden in der Regel selten unternommen. Um das allgemeine Leistungsniveau der StudentInnen einschätzen zu können, wurden diese gebeten, ihren Abiturnotendurchschnitt anzugeben. Primäres Ziel dieser Erhebung war es, auf recht ökonomische Weise zu überprüfen, wie stark der Lernerfolg mit dem bisher nachgewiesenen kognitiven Leistungsniveau zusammenhängt. Die Variable Abiturdurchschnitt lässt sich aber auch zur Überprüfung der Randomisierung nutzen.

Der Abiturnotendurchschnitt korreliert mit dem Lernerfolg -0.40 ($p < .001$), stellt somit eine im Hinblick auf die Prüfung der Hypothesen nachgewiesene Störvariable dar. Eine Varianzanalyse mit den experimentellen Gruppen als UV und dem Abidurchschnitt als AV ergab nun einen signifikanten Effekt. Multiple Mittelwertstests erbrachten einen einzigen deutlich signifikanten Unterschied: Die Gruppe "Sparsames Feedback" hebt sich mit einem Abidurchschnitt von 2.14 klar von der Gruppe "Nur Fragen" mit einem Abidurchschnitt von 2.72 ab. Der Unterschied ist hochsignifikant ($p = .02$ zweiseitig, Bonferroni Mittelwertsvergleich) und entspricht einer Effektstärke von $d = 1.02$.

Wenn man den Effekt des Abidurchschnitts via statistische Manipulation durch Kovarianzanalyse aus dem Lernerfolg "eliminiert", indem man die experimentellen Gruppen als UV und den Abidurchschnitt als Kovariate auffasst, so findet man überhaupt keine Effekte mehr zwischen den experimentellen Gruppen. Allerdings bin ich gegenüber diesen statistischen Kontrollmethoden recht skeptisch.

Da der Abidurchschnitt aber deutlich mit dem Lernerfolg korreliert - was allerdings nicht heißt, dass dieser den Lernerfolg etwa im hier gefunden Ausmaß tatsächlich kausal bedingt - liegt zumindest hinsichtlich des Vergleichs "Sparsames Feedback vs. Keine Fragen" eine schwer entwirrbare Konfundierung zwischen experimentellen Bedingungen und Störvariable vor, welche die Aussagekraft des gefundenen experimentellen Effektes auf jeden Fall einschränkt. Trotz Randomisierung ist es nicht gelungen, die interne Validität zu sichern und den Störfaktor "Auswahlverzerrungen" auszuschalten. Man wird somit mit Recht den Einwand nicht entkräften können, der Vorteil der Gruppe sparsames Feedback gegenüber der Gruppe Keine Fragen könne auch durch die besseren Abiturdurchschnittswerte der Gruppe sparsames Feedback mitbedingt sein! Beim Vergleich "alle Feedbackgruppen" vs.

"Nur Fragen" reduziert sich zwar der Unterschied im Abiturnotendurchschnitt auf $d=.69$, bleibt aber noch auf dem 5 % Niveau signifikant erhalten ($t(54)=2.3$ $p=.025$).

Es ist in der Tat bemerkenswert, Effektstärken von ca. $d = 1$ durch Zufall - hier [infolge der Randomisierung](#) - zu erzielen. Aber bei statistischen Ereignissen gilt generell: "Unwahrscheinliches ist nicht unmöglich, sondern kommt nur selten vor."

Bewertung der Hypothesen

Die Hypothese **'Die Bedingung "nur Fragen" ist den übrigen Bedingungen unterlegen'** findet in den Daten keine Bestätigung. Lediglich die Gruppe "sparsames Feedback" schneidet deutlich besser ab als die Gruppe "nur Fragen". Leider wird dieser statistisch gesicherte Leistungsvorteil durch die störende Unterschiedlichkeit im Abiturnotendurchschnitt beider Gruppen entwertet. Es gibt gewisse empirische Belege dafür, dass "Aufgaben stellen und Rückmeldungen geben" einen etwas höheren Lernerfolg nach sich ziehen als "nur Fragen stellen (und die Rückmeldung vorzuhalten)". Lösungsbeispiele, welche die Problemstellung direkt mit der Aufgabenlösung verbinden ohne eine explizite Antwort vom Lernenden zu fordern, lieferten keine besseren Ergebnisse als Fragen, bei denen auf die Rückmeldung verzichtet wurde.

Die Hypothese **'Die Bedingung elaboriertes Feedback ist den übrigen experimentellen Varianten überlegen'** wird nicht bestätigt, weil keinerlei signifikante Unterschiede zu allen anderen Gruppen nachweisbar sind. Die numerischen Vorteile im Vergleich zu "Lösungsbeispielen" und "Nur Fragen" sind für eine statistische Bestätigung zu gering. Die Daten sprechen im gegebenen Fall ganz eindeutig dafür, dass elaboriertes Feedback keinerlei Lernvorteile gegenüber sparsamem Feedback erbringt.

Entgegen der Vermutung **"Bedingung 'Lösungsbeispiele' und KCR unterscheiden sich nicht"** ergab die Testung höhere Lernerfolge für die Bedingung "sparsames Feedback". Dieser Effekt kann auch nicht durch die Abiturnoten verwässert werden, weil die Abiturnotendurchschnittsunterschiede beider Gruppen sich nicht statistisch unterscheiden. Da sparsames Feedback knapp formulierten unvollständigen Lösungsbeispielen ähnelt, stehen die Ergebnisse im Einklang mit den Befunden von Stark (1999).

Die Befunde scheinen demnach folgende Beziehungen zu stützen:

Sparsames Feedback > (Lösungsbeispiele = Nur Fragen)
 Elaboriertes Feedback = Lösungsbeispiele = Nur Fragen

Fasst man beide Feedbackgruppen zusammen, dann liefern die Daten im nachhinein eine gewisse empirische Evidenz für die Beziehung:
 Aufgaben mit Feedback > (nur Lösungsbeispiele = Problemstellungen ohne Feedback)

Ergebnisse zur Akzeptanz

Subjektive Einschätzungen zur Qualität des Tutoriums

Die Akzeptanz eines Tutoriums ist nicht unwesentlich, wenngleich mir ihre Bedeutung gegenüber der des Lernerfolgs nachrangig erscheint. Akzeptanzdaten und Lernerfolgsmaße liegen nicht immer in der gleichen Richtung und es gibt Fälle, wo eine höhere Akzeptanz mit geringerem Lernerfolg einhergeht wie umgekehrt.

Im Anschluss an den Lernerfolgstest erhielten die Probanden die Rückmeldung über ihr Ergebnis in folgender Form: "Sie haben von 12 Problemstellungen x mal den Problemtyp richtig erkannt und y mal die Anzahl der Möglichkeiten korrekt berechnet." Unmittelbar danach wurden einige Items zur Einschätzung der Qualität des Tutoriums vorgegeben. Die bipolaren Items waren auf einer in positive Richtung codierten 7-Punkte Skala einzuschätzen. (siehe genaueres unter [Akzeptanz des Tutoriums](#)). Mittels Faktorenanalyse wurde diejenigen Items identifiziert, welche hinreichende Ladung auf dem Faktor "Akzeptanz des Tutoriums" aufwiesen ("Markiervariable: Ich schätze die Qualität des Tutoriums insgesamt ein als "hervorragend (7) unzureichend (1)". Dieses Items wird im folgenden Qualität des Tutoriums genannt). Der Alpha-Koeffizient von .77 spricht für eine befriedigende Reliabilität der entsprechenden Skala. Der Zusammenhang zwischen Lernerfolg und Akzeptanz des Tutoriums fällt zwar mit $r = .25$ signifikant in erwarteter Richtung, jedoch in der Höhe nicht übermäßig hoch aus, was dafür spricht, dass Lernerfolg und Akzeptanz verschiedene Aspekte messen und die meisten Probanden durchaus zwischen eigener erzielter Leistung und der Bewertung des Tutoriums unterscheiden können.

Tabelle 4: Akzeptanz und eingeschätzte Qualität des Tutoriums

	Akzeptanz des Tutoriums			Qualität des Tutoriums		
	M	s	N	M	s	N
Elaboriertes Feedback	32.4	4.0	18	5.3	1.1	19
Sparsames Feedback (KCR)	35.5	3.9	17	5.7	1.0	18
Lösungsbeispiele	34.5	3.6	18	5.5	0.7	18
Nur Fragen	32.1	5.1	18	4.7	1.4	19

Die Varianzanalyse mit der Akzeptanz als AV erbrachte einen signifikanten F-Wert von $F(3,68)=2,8$ $p=.045$. Nach Bonferroni's Multiplen Mittelwertsvergleich erzielte lediglich der Vergleich der Gruppe "Sparsames Feedback" gegenüber der Gruppe "Nur Fragen" einen signifikanten Unterschied auf dem zweiseitig getesteten 10 % Niveau zugunsten des "sparsamen Feedbacks. Der Unterschied entspricht einer Effektstärke von $d = .76$. Die Variante "Sparsames Feedback" gleicht exakt der Variante "Nur Fragen" bis auf den Unterschied, dass beim sparsamen Feedback die Antwort des Übenden im Hinblick auf richtig/falsch bewertet sowie die korrekte Antwort mitgeteilt wird.

Mehrere StudentInnen unter der Bedingung "Fragen und keine Rückmeldung" machten den Versuchsleiter darauf aufmerksam, dass sie bei den Übungen keine korrekte Lösung einsehen konnten. Einige waren recht unwillig, beschwerten sich darüber und behaupteten, sie könnten doch nichts lernen, wenn Sie keine Rückmeldungen erhielten. Möglicherweise hat der Lernerfolgstest, nach dessen Abschluss den Probanden die Anzahl korrekter Lösungen mitgeteilt wurde, sie dann aber doch davon überzeugt hat, dass sie etwas gelernt haben. Dennoch hinterlässt das Fehlen des Feedbacks subjektive Wirkung.

Rückmeldungen scheinen wichtige subjektive Bewertungskriterien von Tutorien zu sein. Allerdings hätte man dann auch erwarten müssen, dass die weiteren Gruppen die Akzeptanz signifikant höher bewerteten als die Gruppe "Nur Fragen", was sich hinsichtlich der Akzeptanz allerdings nur bei der Gruppe Lösungsbeispiele zumindest andeutet. Legt man weniger strenge Testkriterien zugrunde (etwa konventioneller t-Test bei Ignoranz von kumuliertem Alphafehler), dann müsste man auch den Unterschied zwischen sparsamen Feedback und elaboriertem Feedback als bedeutsam ansehen.

Die Ergebnisse für das Einzelitem "Qualität des Tutoriums" sehen ähnlich und noch etwas theoriekonformer aus. Auch hier ist der Unterschied zwischen sparsamem

Feedback und Fragen ohne Feedback mit einem ganzen Skalenpunkt hochsignifikant und von praktischer Bedeutsamkeit.

Interesse am Thema und Lernerfolg

Motivation und Interesse gelten als wesentliche affektive Determinanten des Lernerfolgs. Das Interesse am Thema bezieht sich dabei eher auf den intrinsischen Aspekt einer Lernmotivation, der in vorliegender Untersuchung deshalb von besonderer Relevanz erscheint, als keine erkennbaren extrinsischen Anreize vorhanden waren, gute Leistungen zu erbringen. Denn die Erhebung war völlig anonym und schon deshalb konnten mit der erbrachten Leistung keinerlei über eine Selbstbewertung hinausgehenden Konsequenzen verbunden sein. Insbesondere bei komplexen und schwierigen Problemstellungen, die einen gewissen Transfer erfordern, wird dem Interesse am Lerngegenstand zumindest eine lernfördernde, wenn nicht gar lernnotwendige Funktion zugeschrieben, womit die Erwartung an die Daten hinlänglich begründet erschien.

Die Frage nach dem Interesse am Thema wurde analog den übrigen Einschätzitem bipolar wie folgt erfasst.

Thema hat mich sehr interessiert: 7 6 5 4 3 2 1 Thema hat mich überhaupt nicht interessiert

In der Gesamtstichprobe liegt der Mittelwert des Interesses im mittleren Bereich (Mittelwert: 4,1). Viele Probanden (38%) verteilen sich aber auf die extremen Skalenenden. Da Übungsvarianten, welche identische Aufgabenstellungen vorgeben, das Interesse am Thema nur geringfügig modifizieren können, überrascht es nicht, dass zwischen den tutoriellen Varianten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Interesses am Thema festgestellt wurden. Der vermutete Einfluss des Interesses auf den Lernerfolg wurde daher korrelativ an der Gesamtstichprobe überprüft. Der Zusammenhang zwischen dem Interesse am Thema und dem Lernerfolg von $r = .28$ ($p = .018$, $N = 74$) liegt in erwarteter Richtung, wird in der Interessensforschung aber nicht immer bestätigt. Der Unterschied im Lernerfolg tritt massiv in Erscheinung, wenn man die Extremgruppen vergleicht. Man sollte sich vom Ergebnis aber nicht zu sehr beeindrucken lassen, weil es eben ein Extremgruppenvergleich ist, der den großen Mittelbereich ausschließt.

Tabelle 6: Extremgruppenvergleich: Interesse am Thema und Lernerfolg

	M	s	N	t-Test t(26)=	Sign. Niveau	Effekt- stärke
sehr hohes Interesse (Antwort 6 oder 7):	77.5	10.8	15	3.7	$p < .001$	1.38
sehr geringes Interesse (Antwort 2 oder 1):	59.6	14.9	13			

Immerhin wird so eine pädagogisch hoch plausible Erwartung empirisch einmal klar bestätigt.

Diskussion

Diskussion der Ergebnisse

Die Wichtigkeit ausgearbeiteter Lösungsbeispiele

Bei der Konzeption des Tutoriums bestand überhaupt kein Zweifel an der Notwendigkeit und dem Nutzen ausgearbeiteter Lösungsbeispiele für die Wissensvermittlung von Kombinatorikvarianten. Deshalb wurden bei allen experimentellen Varianten in der Instruktionsphase 3 Lösungsbeispiele pro Kombinationstyp eingesetzt. Eine entscheidende Frage dieser Untersuchung war, ob man auch in der Übungsphase ganz

auf konventionelle Aufgabenstellungen verzichten und ausschließlich Lösungsbeispiele vorgeben sollte. Die Bedingung Lösungsbeispiele erzielte das gleiche Lernniveau wie die Bedingung "Nur Fragen". Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang mit Untersuchungen, welche Lernvorteile für die Kombination von Lösungsbeispielen und Aufgabenstellungen feststellten. Denn danach hätte die Bedingung "Nur Fragen" einen höheren Lernerfolg aufweisen müssen, weil diese aus 3 Lösungsbeispielen und 2 Aufgabenstellungen zu jeder Kombinatorikvariante besteht. Das Ergebnis steht eher im Einklang mit relativ konsistenten Befunden der Metaanalyse von Bangert-Drowns et al. (1991). Die Autoren fanden heraus, dass Aufgabenstellungen, die vor der eigenen Beantwortung einen sehr leichten Zugriff auf das Feedback ermöglichen (hier Lösungsbeispiele), im Vergleich zu Aufgabenstellungen ohne Feedback (hier nur Fragen) keinerlei Vorteil erbrachten. (siehe dazu [Feedback vor der Aufgabenbeantwortung \(presearch availability\)](#)).

Der Lerner kann Lösungsbeispiele wie Aufgaben begreifen, in dem er zunächst einen eigenen Lösungsversuch unternimmt. Eine solche Nutzung der Lösungsbeispiele wurde hier in der Übungsphase auch angeregt. Der mögliche Nachteil gegenüber Fragen ohne Rückmeldung liegt darin, dass der Lerner eigenes Nachdenken weniger ausdauernd anwendet. Dieser potentielle Nachteil gegenüber Fragen ohne Rückmeldung wird aber möglicherweise durch die elaborierten Rückmeldungen kompensiert. Aufgabenstellungen mit elaboriertem Feedback verbinden beide Vorteile miteinander und deshalb hätte diese Methode die besten Lernerfolge unter allen Übungsvarianten erbringen müssen. Aber nur bei der Übungsvariante mit sparsamem Feedback waren Lernvorteile gegenüber den Lösungsbeispielen sowie Fragen ohne Rückmeldung statistisch nachweisbar.

Die Aufgabenstellungen mit elaboriertem Feedback gehen dann in Lösungsbeispiele über, wenn der Lerner keine große Anstrengung in die Beantwortung der Aufgaben legt, sondern möglichst schnell die elaborierten Rückmeldungen einfordert. Diese Möglichkeit war hier und ist immer dann gegeben, wenn unmittelbare Rückmeldungen zu Aufgaben gewährt werden und keine Mindestbearbeitungszeiten oder sonstige Kontrollen bei der Aufgabenbearbeitung eingeführt werden. Es bleibt zu überlegen, ob nicht verzögertes Feedback (z.B. Feedback erst nach Bearbeitung aller Aufgaben) zumindest in einem finalen Übungsstadium dazu beitragen könnte, sich ausdauernder um die eigene Lösung zu bemühen.

Aufgaben mit bzw. ohne Feedback

Nach bisherigen Erkenntnissen der Feedbackforschung sollte ein Feedback im Anschluss an die Aufgabenbearbeitung einen höheren Lernerfolg bewirken als Aufgabenstellungen ohne jegliches Feedback. Die Aussage: "Aufgaben mit Feedback müssen immer einen höheren Lernerfolg erbringen als Fragen ohne Feedback" kann aber in dieser Allgemeingültigkeit nicht ernsthaft aufgestellt werden. Nur unter ganz bestimmten, theoretisch einleuchtenden, günstigen Zusatzbedingungen bewirkt das Feedback im Anschluss an die Aufgabenbearbeitung einen klaren Lernerfolg.

Feedback erzielt den höchsten Lernerfolg bei einem Vorwissen von 0 und dem Verzicht auf jegliche Instruktion. (siehe dazu z.B.: Peck, J, van den Bosch, A.B. & Kreupeling, W.J. (1985)). Es wäre aber in den meisten Fällen blanker Unsinn, eine Lehrereinheit damit zu beginnen, massiv Fragen zu einem Gebiet zu stellen, von dem der Lerner keinen blassen Schimmer haben kann, um ihm via Feedback dann den Lehrstoff zu vermitteln. Aufgaben mit Feedbackmöglichkeit haben einen umso geringeren

Effekt, je mehr der Lerner schon beherrscht. Die Lernwirksamkeit des Feedbacks nimmt weiterhin ab, wenn der Lerner über die Möglichkeit verfügt, sich ohne Rückgriff auf direktes Feedback selbst eine Rückmeldung zu verschaffen. Dies war im Tutorium durchaus möglich, weil der Student jederzeit auf alle Seiten des Tutoriums navigieren, wichtige Informationen einblenden sowie auf seine eigenen Notizen zurückgreifen konnte.

Es scheint nun so gewesen zu sein, dass im gegebenen Fall die 3 Lösungsbeispiele (einschließlich der Übersichten und der Vertiefung) in der Instruktionsphase die wesentlichen Grundlagen für den Lernerfolg bereits bewirkt haben. Das noch verfügbare Lernpotential durch Übungsaufgaben und Feedback ist somit relativ begrenzt.

Denn selbst wenn die nachfolgende Aufgabenbearbeitung mit anschließendem Feedback vielleicht die Sicherheit im Erkennen des Problemtyps gestärkt hätte und so möglicherweise ein besseres Behalten bewirkte, so garantierte diese gestärkte Sicherheit keineswegs, dass dann anspruchsvollere Transferaufgaben besser gelöst werden müssten. Die Aufgaben des Lernerfolgstest beziehen sich auf ein Problemlösen, das auch eine gewisse Heuristik erfordert und eben nicht rein schematisch lösbar ist. Das Verständnis der Problemtypen ist somit für die Problemlösung notwendig, aber nicht hinreichend. Aufgaben mit Feedback könnten dieser Argumentation zufolge einen Transfer durchaus fördern, aber weniger unmittelbar, sondern eher indirekt über den Weg einer Stabilisierung der notwendigen Grundlagen für den Transfer. Die Lernwirkung des Feedbacks wäre vermutlich deutlicher bei Faktenwissen oder einem rein algorithmischem Lehrziel zu erwarten, bei dem sich eine Festigung des Wissens unmittelbar im Lernerfolg niederschlägt.

Trotzdem ließen sich unter diesen Bedingungen noch empirische Hinweise dafür erbringen, dass Aufgaben mit Feedback mehr Lernerfolg versprechen als Aufgaben ohne Feedback. Das ist zwar schon häufiger bestätigt worden, aber es gibt nicht allzu viele empirische Stützen, welche den Vorteil des Feedbacks bei echten Transferaufgaben belegen. (siehe Jacobs (1999): [Was wird durch Aufgaben mit Feedback gelernt ?](#))

Elaboriertes vs. sparsames Feedback.

Die elaborierte Feedbackvariante kann einem sparsamen Feedback nur bei etlichen Fehldeutungen, gewissen verbleibenden Unklarheiten, aber prinzipiell gutem Instruktionsverständnis überlegen sein. Liegt ein hinreichendes Instruktionsverständnis vor und wird dieses wie hier geschehen in der Instruktionsphase sinnvoll herausgefordert, dann dürfte in der Übungsphase kein allzu hohes Unwissen mehr vorhanden gewesen sein. Für diese Interpretation spricht auch die Einschätzung der StudentInnen, die den Lehrstoff entgegen der Erwartung als nicht sehr schwierig, sondern lediglich als anstrengend einstufen. (siehe [Schwierigkeit des Tutoriums](#))

Das hier verwendete sparsame Feedback kann als eine abgespeckte elaborierte Variante gedeutet werden, da die Aufgabenstellung in Unterziele gegliedert war und Rückmeldungen zu den wesentlichen Aspekten der Problemlösung (Wiederholung? Reihenfolge? Problemtyp ? usw.) vermittelt wurden. Weitere zusätzliche Informationen erfordern erheblichen Leseaufwand und sind vermutlich nur selten ernsthaft durchgearbeitet worden. Dies könnte bei unbegrenzter Lernzeit vielleicht anders sein. Zudem basierte das elaborierte Feedback häufig auf einer eher sturen Vermittlung der notwendigen Bedingungen für die einzelnen Prinzipien. Allerdings explizierte elaboriertes Feedback diese Prinzipien an der konkreten Aufgabe und begründete manche Aspekte recht deutlich. Die Aufgabenkonstruktion konnte nicht auf fehleranalytische Studien zurückgreifen. Diese würden - wie eine detaillierte Betrachtung der Ergebnisse des Lernerfolgstests nahe legen - bei schwierigen Problemen relativ häufig

gewählte Bugs aufdecken, die durch entsprechendes elaboriertes Feedback vielleicht wirksamer verhindert werden könnten. Die Rückmeldungen des elaborierten Feedbacks vermittelten darüber hinaus weiteres, durchaus sinnvolles Wissen, z.B. Rechnungsabläufe, die beim anschließenden Lernerfolgstest aber gar nicht relevant waren, weil das Ausrechnen der Möglichkeiten aus Zeitgründen automatisiert wurde.

Mehr Information im Feedback, selbst wenn sie ausführlicher und besser erklärt, hat hier eindeutig nicht mehr Lernerfolg bewirkt als sparsame Rückmeldungen. Das Ergebnis ist so überraschend nicht, wenn man bedenkt, dass die Studenten entgegen der anfänglichen Erwartung den Lehrstoff als nicht so schwer einstufen. Wengleich statistisch betrachtet beide Feedbackmethoden vergleichbare Lernergebnisse erzielten, so sprechen die meisten Daten (unter anderem die Akzeptanz) eher für leichte Vorteile sparsamer Rückmeldungen. Die sparsamen Rückmeldungen reichen offenbar aus, um verbleibende Unklarheiten selbständig zu beheben. Elaborierte Rückmeldungen werden vermutlich bei begrenzter Lernzeit mehr als zusätzliche Stofffülle und Belastung angesehen.

Die Frage, ob elaboriertes Feedback besser als sparsames Feedback ist, sollte anders formuliert werden: "Wie ausführlich muss ein Feedback sein, damit der Lerner diejenigen Informationen erhält, die er unbedingt benötigt, um ein hinreichendes Verständnis zu erlangen bzw. bei sich selbst zu erzeugen?"

Alternative Lehrmethode zum Erlernen von Kombinatorikproblemen

Einen sehr interessanten Ansatz zur Vermittlung von Wahrscheinlichkeitsproblemen, die auf Kombinatorik basieren, verfolgten Kleinbeck, Gerjets, Scheiter, & Schmid, U. (2001), indem sie zwei unterschiedliche instruktionale Beispielformate gegeneinander testeten. Die eine Methode basierte ähnlich wie hier auf einer analogen Problemlösestrategie, die zweite Variante auf einer so genannten derivationalen Strategie, auch Herleitungsanalogie genannt. Bei der derivationalen Strategie wird das Problem leichter verständlich in eher modularer Form angegangen, wobei der Schwerpunkt auf dem Verständnis für die einzelnen Lösungsprozeduren liegt. Die einzelnen Lösungsschritte sind für sich unmittelbar nachvollziehbar, benötigen weniger Gedächtniskapazität und erfordern kein umfassendes Schema. Man braucht zu Beginn nicht alle Voraussetzungen und sonstigen Merkmale zu eruieren, um den Problemtyp zu klassifizieren, sondern erarbeitet die notwendigen Lösungsschritte nacheinander ab. Um etwa die Anzahl der Möglichkeiten zu berechnen, 3 Objekte in eine Reihenfolge zu bringen, könnte man wie folgt vorgehen: Für die erste Position gibt es 3 Möglichkeiten, für die zweite Position verbleiben noch 2, da ja ein Objekt für die erste Position bereits festliegt. Am Schluss bleibt noch ein Objekt übrig. Das Ergebnis resultiert aus dem Produkt dieser Möglichkeiten. Somit habe ich quasi die Formel $N!$ mehr oder weniger am anstehenden Problem hergeleitet. **Die derivationale Strategie erwies sich insbesondere bei Aufgaben mit hohen Transferanforderungen der analogen Strategie als deutlich überlegen.** Auch wenn man daran zweifeln kann, ob beiden Beispielmethode noch die gleichen Lehrziele zugrunde liegen, da man zum Lehrziel auch die Methode, mit der es erreicht werden soll, hinzu rechnen kann, so sind viele Kombinatorikprobleme mit der derivationalen Strategie auf jeden Fall einfacher zu lösen, weil die Lösungsschritte relativ einsichtig hergeleitet werden können, was sich auch günstig auf die Stabilität des Lernerfolgs auswirken dürfte. Wenn es um Anwendungswissen geht, so sind einfache Methoden selbstverständlich vorzuziehen, um die Lerner nicht unnötig zu belasten. Allerdings lassen sich auch nicht alle Anwendungsprobleme mit der derivationalen Strategie elegant bewältigen.

Einige methodologische Überlegungen

Statistische Validität

Im Hinblick auf die [statistische Validität des Versuchsplans](#) war es unter den gegebenen Restriktionen zwar unvermeidlich, aber nichtsdestoweniger unklug, ein klassisches Experiment ohne Vortest zu wählen. Wenn man geringe Effekte erwartet, weni-

ger Vpn als geplant zur Verfügung hat und dann auch noch eine unerwartet hohe Personenvarianz in der AV hinnehmen muss, dann braucht man zum statistischen Nachweis eines Effektes auch noch das notwendige Quäntchen Glück. Wissenschaft darf sich aber nicht auf das Glück verlassen, sondern muss eine möglichst hohe Sicherheit der Entscheidung anstreben. Schon deshalb sind Replikationen notwendig und Versuchspläne mit größerer Teststärke wünschenswert.

Optimierung des Tutoriums und Prüfung von Hypothesen

Die Optimierung eines Tutoriums mit der Prüfung theoretischer Hypothesen zu verbinden, stellt eine Gratwanderung dar. Rein hypothesenorientierte experimentelle Forschung fokussiert die Untersuchung zentral auf die theorierelevanten Bestandteile, kann auf diese Weise klare Erwartungen angeben und so Ergebnisse hoher Aussagekraft für diese isolierte Situation erzeugen. Derartige Untersuchungen sind wichtig, damit der Kern der Hypothesen klar herausgearbeitet werden kann. Ob die gefundenen Effekte sich in der Praxis durchsetzen, ist eine andere Sache. Die Konzentration auf die Praxis erfordert eine ganzheitliche Sicht, bei der die hypothesenrelevanten Aspekte nur einen Teil unter vielen anderen ausmachen und die theoretisch fokussierten Variablen mit den sonstigen Variablen interagieren. Dies wurde hier bei der Formulierung der Hypothesen deutlich, die oft auf weitere, von den Wirkungen der sonstigen tutoriellen Variablen abhängigen Annahmen zurückgreifen mussten, um überhaupt eine klare Richtung zu markieren.

Strenge Forderung an den Nachweis von Treatmenteffekten

In der neueren Evaluationsforschung (Hager, Patry, Brezing (2000) werden sehr anspruchsvolle Anforderungen zum Nachweis von Treatmenteffekten gefordert, die in der vorliegenden Studie nur zum Teil angegangen wurden. Fast ausnahmslos werden hinreichende Follow-up-Studien zur Überprüfung der Stabilität des Lernerfolgs verlangt, die sicher auch im vorliegenden Falle wünschenswert gewesen wären. Ein gewisser Anforderungstransfer erscheint mir nachgewiesen. Der zeitliche Transfer bleibt ungeprüft. Ich rechne zwar mit einem klaren Leistungsabfall im weiteren Zeitverlauf und gehe nicht davon aus, dass das erworbene Wissen auf alle möglichen Anwendungsbereiche transferiert, sofern kein begründeter Anlass besteht, es weiterhin variantenreich anzuwenden. Andererseits dürfte sich der Lerner im Bedarfsfall wesentlich schneller wieder in die Thematik einarbeiten und sein Wissen auffrischen.

Reduziert schnelle Lernaneignung den Transfer ?

Schmidt und Bjork (1992) legen einige interessante Befunde vor, die dafür sprechen, dass instruktionale Maßnahmen, welche die Lernaneignung beschleunigen und verbessern, die langfristige Behaltensleistung und den Transfer beineinträchtigen bzw. verschlechtern können. Man denkt unweigerlich an manche Schüler, die sich in sehr kurzer Zeit "erfolgreich" auf eine Klassenarbeit vorbereiten und das dort gezeigte Wissen in 14 Tagen nicht mehr präsent haben. Wenngleich sich die empirischen Belege meist auf motorisches Lernen sowie im kognitiven Lernbereich vorwiegend auf ein geringes Lehrzielniveau beziehen, stellt sich auch für anspruchsvollere Textaufgaben die Frage, ob hoher Lernerfolg im unmittelbaren Posttest hinlänglich für echtes Verständnis spricht. Manche der von Schmidt & Bjork (1992) vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verbesserung des Transfers sind hier zum Einsatz gekommen, andere nicht. Provokant ausgedrückt laufen die Thesen von Schmidt und Bjork darauf hinaus, möglichst einfaches Verständnis zu vermeiden und die Anforderungen in der Lernan-

eignungsphase für den Lerner eher zu erschweren, indem etwa besondere Schwierigkeiten eingeführt oder das Feedback bewusst vorenthalten oder zumindest reduziert wird. Der erfahrene Pädagoge wird zustimmen, dass an diesen Thesen etwas dran ist und der erfahrene Lerner wird bestätigen können, dass er die Handhabung desjenigen Problems so schnell nicht vergessen wird, zu dessen Lösung er sich nach langen Mühen und etlichen Widerständen regelrecht gequält hat. Kognitive Belastung, Ertragen von Ambiguität und Unsicherheit, Durchhalten trotz etlicher Misserfolge, sind bei anspruchsvollen Aufgabenstellungen selten zu vermeiden. "No pain, no gain". Dazu aber muss offensichtlich hinreichendes Interesse gegeben und ausreichende Lernzeit für eigenes Denken verfügbar sein.

Ich schließe nicht aus, dass manche sehr motivierte und begabte Lerner durchaus willens und in der Lage sind, sich bei suboptimalem Lernangebot bzw. erschwerenden Lernbedingungen selbst eine angemessene Struktur zu erarbeiten, die dann ein tieferes Verständnis nach sich ziehen könnte, meine aber, dass eine möglichst verständliche Darbietung sowie hinreichende Unterstützung bei vielen Lernern unabdingbare Voraussetzung dafür sind, sich nachfolgend mit dann aber auch schwierigeren Problemen fruchtbar auseinander setzen zu können. Deshalb ist meiner Meinung nach beides notwendig. Sehr gute Vorbereitung und Erklärung der Problembestandteile und Prinzipien und hinreichend viele Problemstellungen, die zunehmend Schwierigkeiten einbauen.

Praktische Schlussfolgerungen

Das Experiment hat in jedem Fall gezeigt, dass der Lernerfolg bei dem gegebenen Lehrstoff für die untersuchte Stichprobe mit relativ sparsamen medialen Mitteln erreichbar ist. Die wesentlichen Teile des Tutoriums sind im Prinzip in einer einfachen Printfassung ohne Einsatz des Computers hinreichend gut vermittelbar. Eine aufwendige Aufgabenkonstruktion mit differenzierten Rückmeldungen ist nicht notwendig. Im gegebenen Fall macht es mehr Sinn, die Hauptenergie bei der Konstruktion der Lehreinheit in die optimale Vermittlung des Wissens zu setzen, d.h. das Tutorium klar zu strukturieren, auf die notwendigen Voraussetzungen aufmerksam zu machen, anschauliche Beispiele zu präsentieren, übersichtliche Tabellen und Orientierungen anzubieten und auf wichtige Fehlerquellen aufmerksam zu machen. Der Lehrstoff muss quasi so aufbereitet sein, dass derjenige Lerner, welcher sich aktiv mit ihm auseinandersetzt, seine eigenen Fragen stellen und im Text bzw. durch eigenes Nachdenken auch die wichtigsten Antworten finden kann. Es gibt sehr wenige instruktionale Maßnahmen, die nachweislich mehr Lerngewinn erbringen wie die Qualität der Instruktion (durchschnittliche Effektstärke $d = 1$) und die direkte Unterweisung (durchschnittliche Effektstärke $d = .82$) (siehe Hattie 1999).

Die hier darüber hinaus angebotenen Fragen, Lösungsbeispiele oder Aufgaben mit Rückmeldungen sind zusätzliche Lernangebote. Es hat sich gezeigt, dass innerhalb dieser Zusatzangebote Aufgaben mit sparsamen Rückmeldungen ausgereicht haben. Diese Aufgaben können sehr gut am Computer dargeboten werden und sind in einer Printfassung nur recht umständlich, letztlich nicht praktikabel zu handhaben. Hier würde sich der Einsatz des Computers demnach nachweislich lohnen. Nebenbei erlaubt der Computer auch die bequeme Handhabung einiger Hilfsmittel (z.B. Rechner).

Unklar bleibt, ob bereits die Instruktionsphase ohne zusätzliche Fragen und Problemlöseaufgaben genügt hätte. Einige Tutoriumsvarianten waren nachweislich eher über-

pädagogisiert. Daraus sollte man aber nicht schließen, informatives und ausführliches Feedback habe keine lernfördernde Wirkung. Die potentielle Lernwirksamkeit des Feedbacks kann sich aber offensichtlich nicht mehr durchsetzen, wenn eine gute instruktionale Darbietung des Lehrstoffs den Lerner zu ausgiebigen Eigenbemühungen veranlasst, welche das Lernpotential bereits weitgehend ausschöpfen. Dann aber benötigt man keine aufwendige Aufgabenkonstruktion mit etlichen Rückmeldeoptionen und ausführlichen Rückmeldungen.

Verteiltes Lernen statt massivem Durcharbeiten

Aus experimentellen Gründen musste das Tutorium in einem Block durchgearbeitet werden. Für die Praxis ist dieses massierte Lernen aber nicht zu empfehlen. Wenn man die Bearbeitung zeitlich verteilt, sind eine höhere Behaltensleistung und ein größerer Transfer zu erwarten. Manche Probanden kamen in Zeitnot und fühlten sich unter Stress gesetzt. In der Praxis gibt keinen vernünftigen Grund, die Bearbeitung des Tutoriums zeitlich zu beschränken, damit jeder seinem individuellen Tempo und Lernstil gemäß arbeiten kann. Die [offline-Version des Tutoriums](#) liegt zum Download bereit, damit der interessierte Lerner sich auch nicht durch Internetgebühren zu oberflächlichem Lernen gedrängt sieht.

Defizite im Umgang mit dem Internet

Manche am Versuch beteiligten StudentInnen hatten relativ wenig Erfahrung im Umgang mit interaktiven Lernmaterialien. Sie konnten nicht mit einem Listenfeld umgehen, waren nicht in der Lage, Informationen zu kopieren und einzufügen sowie Fenster zu verschieben. Einige klickten anfangs nicht auf blau markierte Stellen oder bestimmte Buttons, um Rückmeldungen einzufordern und trugen so dazu bei, dass die experimentellen Bedingungen zum Teil gar nicht vollständig im intendierten Sinne realisiert wurden. Die Studenten wurden aus Zeitgründen auch nicht in die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der Feedbackbedingungen eingewiesen. Dies könnte bei manchen zu suboptimalem Vorgehen (etwa zu häufiges AUC, Verzicht auf die Anforderung elaborierter Rückmeldungen) und zusätzlicher kognitiver Belastung geführt haben. Hinreichendes Verständnis und Handhabung der technischen Möglichkeiten sind aber Voraussetzung für ein optimales Lernen am PC. Für die Zukunft empfiehlt es sich darüber hinaus, neben der Vermittlung der technischen Handhabung auch einige sinnvolle Strategien im Umgang mit dem Feedback einzutrainieren.

Schluss

Nachträglich betrachtet, war meine Entscheidung recht weitsichtig, keine Kiste Champagner auf die Bestätigung aller Hypothesen gewettet zu haben. Es war wohl auch Glück dabei, zumindest den Vorteil des Feedbacks gegenüber keinem Feedback empirisch bestätigen zu können. Der Zufall hat sich von seiner unwahrscheinlichen Seite gezeigt, so teilweise die interne Validität trotz experimentellem Versuchsplan verletzt und den schönen nachgewiesenen Effekt in seiner Aussagekraft reduziert. Trotzdem werte ich das methodische Niveau der Studie angesichts der Komplexität des Unternehmens insgesamt als recht hoch ein.

Da kein Vortest erhoben wurde, bleibt schwer abzuschätzen, wie viel Lerngewinn das Tutorium bewirkt hat. Im Mittel über alle experimentellen Bedingungen haben die

StudentenInnen 64 % der Aufgaben korrekt gelöst. Ich habe nicht mit einem derart hohen Prozentsatz gerechnet und bin positiv überrascht. Entgegen meiner ursprünglichen Erwartung schätzen die Probanden den Lehrstoff als höchstens mittelschwer ein, eine Einschätzung, die, optimistisch betrachtet, vielleicht zum Teil auch auf das Tutorium zurückgeht, da dort der Versuch unternommen wurde, das Thema sehr verständlich darzustellen. Insgesamt bestärken die Ergebnisse meine Einschätzung: "Hätte mir damals - als ich mich ziemlich erfolglos mit der Kombinatorik herumquälte - irgendeine der untersuchten Tutoriumsvarianten zur Verfügung gestanden, ich hätte eine echte Chance gehabt, die Problematik zu verstehen.

Danksagungen:

Mein Dank gilt Christoph. Paulus, Andrea Pieter und Karin Bickelmann für die Hilfe bei der Beschaffung von Probanden sowie Heike Bernd und Heiko Jacobs für die Durchsicht des Tutoriums.

Literatur

- Atkinson, K. R., Derry, S. J., Renkl, A., Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research*, 70
- Bangert-Drowns, R.L., Kulik, C., Kulik, J.A., & Morgan, M.T. (1991). The instructional effect of feedback in test-like events. *Review of Educational Research*, 61, 213-238.
- Bjork, R. A. (1994)
[Memory and Metamemory Considerations in the Training of Human Beings.](#)
 In Metcalfe & Shimamura (eds) (pp.185-206) *Metacognition*. Cambridge: MIT press.
 Url: <http://snow.utoronto.ca/Learn2/llreadings/bjork2.htm> [18.5.2001]
- Chi, M. T. H., De Leeuw, N., Chiu, M., and Lavancher, C. (1994)
[Eliciting Self-Explanations Improves Understanding.](#)
Cognitive Science 18, pp. 439-477
 URL: <http://www.pitt.edu/~chi/papers/Self-explanations94.pdf> [31.10.2000]
- Clariana, R. B (2000). [Feedback in Computer-Assisted Learning.](#) Netg White Papers
 URL: <http://www.netg.com/research/clarianawp.htm> [10.11.2000]
- Cooper, G. (1998).
[Research into Cognitive Load Theory and Instructional Design at UNSW](#)
 URL: <http://www.arts.unsw.edu.au/education/CLT.HTML> [3.5.2000]
- Collins, M., Carnine, D. & Gersten, R. (1987). Elaborated corrective feedback and the acquisition of reasoning skills: A study of computer-assisted instruction. *Exceptional Children*, 54, 254-262.
 ([Deutsche Zusammenfassung](#))
- Gerjets, P., Scheiter, K., Tack, W.H. (2001)
 Problems of Example Selection and Example Processing in Hypertext-Based Learning Environments. Collaborative Research Center 378: Resource-Adaptive Cognitive Processes Saarland University, P.O. Box 151150, D-66041 Saarbruecken, Germany
- Hager, W. , Patry, J.-L. & Brezing, H. (2000). *Handbuch Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen. Standards und Kriterien.* Bern: Huber.

- Hasselhorn, M. & Mähler, C. (2000). Transfer: Theorien, Technologien und Empirische Erfassung. In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brezing (Hrsg.), Handbuch Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen. Standards und Kriterien (S. 86-101). Bern: Huber.
- Häfele, G. (1995). Lehrtexte im Selbststudium erarbeiten: Fördern Studierfragen den Wissenserwerb? Dissertation Fachbereich Psychologie der Phillips-Universität Marburg.
- Hamaker, Ch. (1986). The Effects of Adjunct Questions on Prose Learning. Review of Educational Research, Vol.56, No 2, Pp 212-242.
- Hattie, J. (1999). [Influences on student learning](#). University of Auckland. August 2, 1999.
<http://www.arts.auckland.ac.nz/edu/staff/jhattie/Inaugural.html> [16.5.2001]
- Jacobs, B. (>=1998). [Aufgaben stellen und Feedback geben](#).
 URL: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/feedback/index.htm>
 [3.1.2001]
- Jacobs, B. (1999). [Was wird durch Aufgaben mit Feedback gelernt ?](#)
 URL: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/feedback/transfer.htm>
 [3.1.2001]
- Jacobs, B. (2000). [Feedback mit oder ohne eigene Aufgabenbearbeitung ?](#)
 URL: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/feedback/direktesfeedback.htm>
 [3.10.2000]
- Jacobs, B. (2001). [Mehr Eigeninitiative und Eigenverantwortung einfordern!](#)
 URL: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/feedback/selbstaktiv.htm>
 [26.1.2001]
- Kleinbeck, S., Gerjets, P., Scheiter, K., Schmid, U. (2001). Einfluss derivationaler und transformationaler Beispielformate auf Beispielnutzung und Problemlöseleistung. Universität des Saarlandes. Fachrichtung Psychologie / SFB 378: Ressourcenadaptive kognitive Prozesse. zugesandtes Manuskript.
- Kulhavy, R.W., White, M.T., Topp, D.W., Chan, A.L. & Adams, J. (1985). Feedback complexity and corrective efficiency. Contemporary Educational Psychology, 10, 285-291. ([Deutsche Zusammenfassung](#))
- Marzano, R.J., Gaddy, B.B. & Dean, C. (2000). [What Works in Classroom Instruction](#). Mid-continent Research for Education and Learning. Aurora.
<http://www.mcrel.org/products/learning/whatworks.pdf> [10.5.2001]
- 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.
 zitiert nach Atkinson et al. (2001)
- Renkl, A., Stark, R., 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.
- Renkl, A (2000). [Worked-Out Examples: Instructional Explanations Support Learning by Self-Explanations](#). Research Report No. 139. University of Freiburg. Germany
 URL: <http://www.psychologie.uni-freiburg.de/pi-zentral/fobe-files/139.pdf>
 [12.11.2000]
- Renkl, A., Atkinson, R.K & Maier, U.H. (2000). From Studying Examples to Solving Problems: Fading Worked-Out Solution Steps Helps Learning
 URL: <http://www.cis.upenn.edu/~ircs/cogsci2000//PRCDNGS/SPRCDNGS/PAPERS/RENAT-MA.PDF>
 [27.7.2000]

- Peeck, J, van den Bosch, A.B. & Kreupeling, W.J. (1985). Effects of informative Feedback in relation to retention of initial responses. Contemporary Educational Psychology 10, 303-313. (siehe dazu: [Empirischer Nachweis zur Wirksamkeit des KCR-Feedbacks](#) im Anschluß an korrekte Antworten von Peeck, van den Bosch & Kreupeling (1985) unten)
- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New conceptualizations of practice: Common principles in three paradigms suggest new concepts for training. Psychological Science, 3, 207-217.
- Stark, R (1999). Lernen mit Lösungsbeispielen. Hogrefe. Göttingen.
- Stark, R. Gruber, H., Mandl, H., Hinkofer, L. (2001). Wege zur Optimierung eines beispiel-basierten Instruktionsansatzes: Der Einfluss multiple Perspektiven und instruktionaler Erklärungen auf den Erwerb von Handlungskompetenz. Unterrichtswissenschaft 29, 1. S. 26-37.
- Steiner, G (2001) Lernen und Wissenserwerb. in Krapp, A. & Weidenmann, B (Hrsg.) Pädagogische Psychologie. Beltz:Weinheim.
- Trafton, J. G. & Reiser, B. J. (1993). [The contributions of studying examples and solving problems to skill acquisition.](#) In Proceedings of the Fifteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society.
URL:
<http://citeseer.nj.nec.com/cs?profile=774656%2C149956%2C1%2C0.25%2CDownload&rd=http%3A//citeseer.nj.nec.com/papers/cs/2910/http%253A%2523@S%2523%2523@S%2523www.aic.nrl.navy.mil%2523@S%2523%2527Etrafton%2523@S%2523papers%2523@S%2523cogsci93-exp1.pdf> [1.10.2000]

created 6.6.2001; last update 12.6.2001; Bernhard Jacobs, b.jacobs@mx.uni-saarland.de

[zur Homepage des Tutoriums](#): Permutationen, Variationen, Kombinationen