

Aebli, Hans; Ruthemann, Ursula; Staub, Fritz

Sind Regeln des Problemlösens lehrbar?

Zeitschrift für Pädagogik 32 (1986) 5, S. 617-638



Quellenangabe/ Reference:

Aebli, Hans; Ruthemann, Ursula; Staub, Fritz: Sind Regeln des Problemlösens lehrbar? - In: Zeitschrift für Pädagogik 32 (1986) 5, S. 617-638 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-144068 - DOI: 10.25656/01:14406

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-144068>

<https://doi.org/10.25656/01:14406>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

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

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

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

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

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

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Zeitschrift für Pädagogik

Jahrgang 32 – Heft 5 – Oktober 1986

I. Essay

ANDREAS FLITNER

Erasmus von Rotterdam – Lehrer der Humanitas,
Lehrer des Friedens 605

II. Thema: Empirische Schul- und Unterrichtsforschung

HANS AEBLI/

URSULA RUTHEMANN/

FRITZ STAUB

Sind Regeln des Problemlösens lehrbar? 617

JÜRGEN BAUMERT/

PETER MARTIN ROEDER/

FRITZ SANG/

BERND SCHMITZ

Leistungsentwicklung und Ausgleich von Leistungs-
unterschieden in Gymnasialklassen 639

ANNE SCHMIDT/

JÜRGEN VAN BUER/

BIRGIT REISING

Zur impliziten Persönlichkeitstheorie von Lehrern an
beruflichen Schulen im allgemein-gewerblichen
Bereich. Untersuchungen zu Unterschieden zwischen
den Lehrern 661

JÜRGEN VAN BUER/

FRANK ACHTENHAGEN/

HARTMUT OLDENBÜRGER

Lehrerurteile über Schüler, Schüler selbstbild und
interaktionelles Verhalten im Englischanfangsunter-
richt 679

III. Weitere Beiträge

JÜRGEN HABERMAS

Die Idee der Universität – Lernprozesse 703

OTTO FRIEDRICH

BOLLNOW

Einige Bemerkungen zu Schleiermachers Päd-
agogik 719

IV. Rezensionen

HANS SCHEUERL

HEINZ-ELMAR TENORTH (Hrsg.): Allgemeine Bil-
dung. Analyse zu ihrer Wirklichkeit, Versuche über
ihre Zukunft 743

- FRIEDHELM BRÜGGEN GÜNTHER BUCK: Rückwege aus der Entfremdung. Studien zur Entwicklung der deutschen humanistischen Bildungsphilosophie 747
- HEINZ-ELMAR TENORTH MANFRED ECKERT: Die schulpolitische Instrumentalisierung des Bildungsbegriffs. Zum Abgrenzungstreit zwischen Realschule und Gymnasium im 19. Jahrhundert 753
- JÜRGEN DIEDERICH BARBARA GAEBE: Lehrplan im Wandel. Veränderungen in den Auffassungen und Begründungen von Schulwissen 755

V. Dokumentation

Pädagogische Neuerscheinungen 761

Contents

I. Essay

ANDREAS FLITNER Erasmus – Teacher of Humanitas and Peace 605

II. Topic

HANS AEBLI/
URSULA RUTHEMANN/
FRITZ STAUB Are Rules of Problem Solving teachable? 617

JÜRGEN BAUMERT/
PETER MARTIN ROEDER/
FRITZ SANG/
BERND SCHMITZ Achievement Growth and the Reduction of Achieve-
ment Differentials within Classrooms 639

ANNE SCHMIDT/
JÜRGEN VAN BUER/
BIRGIT REISING On the Implicit Theory of Personality Entertained by
Teachers in Vocational Schools 661

JÜRGEN VAN BUER/
FRANK ACHTENHAGEN/
HARTMUT OLDENBÜRGER Teachers' Assessment of Pupils, Pupils' Self-Concept
and Interactional Behaviour in Initial English
Courses 679

III. Other Contributions

JÜRGEN HABERMAS The Concept of University – Learning Processes 703

OTTO FRIEDRICH
BOLLNOW On Schleiermacher's Educational Theory 719

IV. Book Reviews 743

V. Documentation

New Books 769

Sind Regeln des Problemlösens lehrbar?

Zusammenfassung

Die Selbststeuerung des Problemlösens durch den „autonomen Lerner“ setzt voraus, daß dieser über Strategien verfügt, welche die Grobstruktur der Lösung zu planen und geeignet darzustellen erlauben („Makrostrukturregeln“ „Repräsentationsregeln“). Wir zeigen dies am Beispiel der Lösung von komplexen Textaufgaben. In Selbstinstruktionen des Lerners werden die zu erzeugende Struktur, ihre Darstellungsform, die Auslösebedingung und ihr Angriffspunkt definiert. Mit zunehmender Abstraktheit der Formulierung der Regeln variiert die Weite ihres Anwendungsbereichs.

Die Vermittlung der Regeln des Problemlösens geht aus von eigenen Lösungsversuchen des Lernenden, die in der Folge gemeinsam reflektiert werden. Man wird dabei falsche Attribuierungen bekämpfen und ein positives Selbstbild des Problemlösers zu entwickeln suchen. Bei der Vermittlung günstiger Regeln spielt die Demonstration des Lehrers durch lautes Denken eine wichtige Rolle. Bei den eigenen Anwendungsversuchen soll der Lerner den Nutzen der Regeln möglichst augenscheinlich erfahren. Die Gestaltung der Schulprüfungen beeinflußt die Anwendung dieser Regeln stark („heimliche Methodologie“ des Prüflings).

Alle sind für das „autonome Lernen“. Das Lehrziel „Problemlösekompetenz vermitteln“ findet allseitige Zustimmung. „Metakognition“ ist zum Schlagwort geworden. Wer damit jedoch ernst zu machen sucht, stößt rasch auf beträchtliche praktische und theoretische Probleme. Die spontane Anwendung von Gedächtnis-, Lern- und Problemlösestrategien vor gleichartigen Aufgaben („*maintenance*“) und ihr Transfer auf neue Aufgaben („*transfer*“) findet häufig nicht statt (KEENEY/CANNIZZO/FLAVELL 1967; KENDALL/BORKOWSKI/CAVANAUGH 1980; PARIS/NEWMAN/MCVEY 1982; KURTZ/BORKOWSKI 1984). Zum Teil ist schon ihre Vermittlung schwierig.

In diesem Artikel wollen wir zeigen, was Selbststeuerung des strukturellen Lernens und des Problemlösens bedeutet, was Regeln und Strategien sind und warum ihre Anwendung schwierig ist. In einem zweiten Schritt stellen wir dar, wie man diese Regeln didaktisch vermitteln und auf ihre Aufrechterhaltung und ihren Transfer hinwirken kann. Wir illustrieren diese theoretischen Überlegungen mit Beispielen aus einem Forschungsprojekt zur Metakognition des Problemlösens².

Die Hypothesen unserer drei Hauptversuche waren spezieller als die Thesen dieses Artikels. Sie sollten zeigen, (1) daß Schüler, die bestimmte „Verstehensregeln“ anzuwenden gelernt haben, komplexe Textaufgaben wirklich besser verstehen als Schüler, die diese mit herkömmlichen Methoden lösen, (2) daß ihre Anwendungsbereitschaft für derartige Regeln steigt, wenn sie ihren Nutzen erfahren haben, und (3) daß Lehrer, die derartige kognitive Prozesse am eigenen Leibe erfahren haben, entsprechende Vorgänge bei Schülern besser beobachten und anleiten als Lehrer ohne diese „kognitive Selbsterfahrung“. Alle diese Untersuchungen haben wir im Einzelversuch durchgeführt und dabei eine Vielzahl von Einsichten gewonnen, welche nicht „empirisch gesichert“, jedoch in hohem Maße plausibel sind. Dieser Aufsatz verarbeitet jene Einsichten, welche sich auf das Lehren und Lernen von Problemlöseregeln beziehen.

Die Wirksamkeit von Verstehensregeln haben wir im ersten Hauptversuch (AEBLI/STAUB 1985, in Vorbereitung) folgendermaßen geprüft: Eine komplexe Textaufgabe von etwa 400

Worten, deren Lösung neun Subtraktions-, Multiplikations- und Divisionsoperationen erforderte, wobei die hierarchisch höchste Operation eine messende Division war, wurde von den 30 Schülern (Durchschnittsalter 13;11 Jahre) der Experimental- und der Kontrollgruppe gelesen und sodann aus dem Gedächtnis wiedergegeben. An einer neuen Aufgabe ähnlicher Struktur wurde der Experimentalgruppe sodann die auch in diesem Aufsatz beschriebene „Problemstrukturregel“ und die „Einflußgrößenregel“ erklärt und an zwei weiteren Aufgaben angewendet. Dann erhielten die Schüler die Gelegenheit, die erlernten Regeln an der ersten Aufgabe selbständig anzuwenden und diese unmittelbar danach ein zweites Mal wiederzugeben. Die Analyse der Textstruktur der beiden Wiedergaben zeigt gewisse Fortschritte des Aufgabenverständnisses bei der Experimentalgruppe und damit die Wirksamkeit der Verstehensregeln.

Der zweite Hauptversuch (AEBLI/RUTHEMANN 1986/1987) sollte die Notwendigkeit und die Wirksamkeit der „Erfahrung des Nutzens“ von Verstehens- und Lösungsstrategien zeigen. Zu diesem Zwecke wurden zwei Regelpaare, die dem Aufgabenverständnis und zwei Regelpaare, die der Lösungsplanung dienen, mit den gleichen Schülern das eine Mal mit und das andere Mal ohne Erfahrung ihres Nutzens vermittelt. Die erstere Versuchsbedingung erzeugte einen signifikanten Anstieg der erklärten Anwendungsbereitschaft für die Regel durch die Schüler. Es war uns jedoch noch nicht möglich, diese auch im effektiven Lösungsverhalten der Schüler nachzuweisen, denn die entsprechenden Tendenzen gingen im komplexen Lösungsgeschehen unter.

Die Versuchspersonen des dritten Hauptversuchs (BECK/BORNER/AEBLI 1986) waren Berner Haupt- und Sekundarschullehrer und Lehrer-Studenten. Die Experimentalgruppe beobachtete vor und nach dem Erlernen von Grundbegriffen der Problemlösepsychologie einen Videofilm, der Schüler beim Lösen einer komplexen Textrechnung zeigte. Die Experimentalgruppe unterschied sich von der Kontrollgruppe dadurch, daß sie nicht nur die psychologischen Begriffe vorgetragen erhielt, sondern die entsprechenden Vorgänge auch beim eigenen Lösen ähnlicher Aufgaben am eigenen Leibe erfuhr und diese mit dem Versuchsleiter diskutierte. Die Experimentalgruppe machte bei der zweiten Vorführung des Filmes eine Reihe von vertieften Beobachtungen, die auf die „kognitive Selbsterfahrung“ zurückzuführen waren. Diese waren bei der Kontrollgruppe, die in herkömmlicher Weise psychologisch unterrichtet worden war, nicht entsprechend ausgeprägt.

1. Selbststeuerung des Handelns durch Regeln

Etwas verkürzt nennen wir Lernen und Problemlösen hier ein Handeln. Der autonome Lerner und Problemlöser steuert dieses Handeln selbst. Was heißt das, und insbesondere: was bedeutet Selbststeuerung des Handelns *durch Regeln*? Die Antwort ist nicht selbstverständlich, denn jedes Handeln ist regelgesteuert. In den letzten Jahren hat man in vielen Bereichen des Verhaltens die impliziten Regeln untersucht: die Grammatik in der Sprache des zweijährigen Kindes (BRAINE 1963; McNEILL 1970; MILLER 1976), die Regeln, nach denen der Schüler Rechenfehler erzeugt (BROWN/BURTON 1978), die Strategien, welche Schüler anwenden, um Lernschwierigkeiten auf echte oder unechte Weise zu bewältigen (LEHTINEN/BAER 1985; OLKINUORA/SALONEN/LEHTINEN 1984). In diesen Fällen verläuft menschliches Handeln gemäß impliziten Regeln.

Handlungen sind auf Ziele ausgerichtet. Mittel werden bewußt oder unbewußt eingesetzt, um diese Ziele zu erreichen. Auf dem Wege zum Ziel werden Zwischenziele realisiert. Diese stellen die Bedingungen dafür her, daß der nächste Hand-

lungsschritt ausgeführt werden kann. Die Struktur der Handlung ist daher diejenige eines Baumes. Alle Einzelhandlungen konvergieren im Endziel der Handlung. Vorbereitende Handlungen sind mehr oder weniger weit „vom Ziel entfernt“. Ihre „Zielferne“ macht es schwierig, das „Fernziel“, also ihren Sinn, zu erkennen. Die impliziten Regeln der Handlung stellen die Beziehung zwischen den Subroutinen und dem Endziel der Handlung her. Regeln beschreiben Prozeduren; die Handlungsstruktur bildet den Weg der Prozeduren in einem synoptischen Schema ab.

Strategien als Makrostrukturregeln

Die Handlungssteuerung innerhalb der Einzelschritte ist für den Menschen in der Regel unproblematisch. Die Schwierigkeiten ergeben sich bei der Erzeugung und Sicherung der Makrostruktur komplexer Handlungen und bei der Hinordnung der Einzelschritte auf den Haupteffekt, den sie erzeugen sollen. Das ist im Falle des Problemlösens die gesuchte Antwort, im Falle des Lernens der angestrebte Lerneffekt und im Falle praktischer Handlungen der Zielzustand, den sie erreichen sollen.

Im Bereiche der Gesamtarchitektur der Handlung und der „fernen“ Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge stellen sich also die Hauptprobleme ihrer Selbststeuerung. Fremdsteuerung, also Anleitung, didaktische Führung und Unterstützung, betrifft vor allem diese Zusammenhänge. Der Bergführer kennt die Makrostruktur des Aufstiegs, der Musiklehrer versucht, dem Schüler den großen Aufbau des Musikstücks zum Bewußtsein zu bringen, der gute Lehrer hat einen Überblick über den gesamten Ablauf eines Lern- oder Problemlöseprozesses. Bei neuen, komplexen Aufgaben sorgt er dafür, daß die Schüler die Teilschritte in der richtigen Ordnung realisieren. Das Ziel ist dabei jedoch die Selbststeuerung.

Die Untergruppe der Regeln des Lernens und des Problemlösens, die wir *Strategien* nennen, dienen dazu, dessen Makrostruktur zu sichern. Auch wenn sie lokale Strukturverbesserungen anstreben, geschieht dies immer mit dem Blick auf die Sicherung der Gesamtstruktur, denn an ihr hängt das Gelingen des Lern- oder Problemlöseprozesses.

Repräsentationsregeln

Strukturelles Lernen, Problemlösen und Handeln erfordern Informationsverarbeitung. Das heißt: die Gegebenheiten der Situationen müssen so verknüpft werden, daß die angestrebte Gesamtstruktur und, in ihrem Rahmen, eine gesuchte Größe oder ein angestrebter Zielzustand realisierbar (herstellbar, berechenbar) sind. Die Gegebenheiten der Informationsverarbeitung müssen jedoch in einer bestimmten Form und modal repräsentiert sein, damit sie der Mensch verarbeiten kann (AEBLI 1981). Diese Repräsentation kann verarbeitungsfreundlich oder -feindlich sein. Die meisten Regeln des Problemlösens enthalten nicht nur eine Strukturierungsidee, sie schlagen zugleich vor, diese Struktur in einer bestimmten Weise darzustellen und damit, psychologisch gesprochen, die Gegebenheit entsprechend zu repräsentieren.

In diesem Sinn ist die Idee des Lösungsplans unbestimmt bezüglich der Art, wie er repräsentiert werden soll. Das Schema des Lösungsbaumes jedoch enthält den Gedanken einer schematisch-bildlichen, graphischen Darstellung, und in der Regel wird man dem Schüler auch empfehlen, sich diesen Baum nicht nur vorzustellen (was theoretisch denkbar wäre), sondern ihn aufzuzeichnen. Die Regel meint also nicht nur eine figurale Repräsentation, zusätzlich soll diese extern, nicht bloß intern, erfolgen. Psychologisch bedeutet dies, daß sie für den Problemlöser lesbar wird, daß er, mit anderen Worten, die in ihr festgehaltenen Größen und Verknüpfungen nicht vorstellungsmäßig evozieren muß, sondern daß er sie aus der Graphik *ablesen* kann. Das entlastet das Gedächtnis, erhöht die Sicherheit und erleichtert daher die Verarbeitung.

Ein Lösungsbaum ist eine relativ abstrakte Darstellung eines Lösungsplans. An seiner Stelle verwenden viele Problemlöser bildhafte Darstellungen der Problemsituation, in der einerseits die örtlichen Verhältnisse und andererseits die Akteure und die sachlichen Gegebenheiten mit Maßzahlen vorkommen. Bei Verarbeitungsprozessen, die eher „intuitiv-heuristisch“ als „sequenziell-analytisch“ verlaufen (KÜHL 1983), kann eine derartige anschauliche Darstellung der Daten wesentlich sein.

Die Lern- und Problemlöseregeln, die der Repräsentation der Daten dienen, sind Legion. Das Unterstreichen und Durchstreichen von Textelementen, das Herausschreiben von einzelnen Ausdrücken spielen beim Lesen eine wichtige Rolle. Tabellen, graphische Darstellungen und Netzwerke ermöglichen eine rasche, im Grenzfall synoptische visuelle Exploration der Daten. Wenn ein Problemlöser entscheidet, daß er ein praktisches Problem nicht auf dem Papier und „im Kopf“ zu lösen vermag, so wird er sich entscheiden, ein konkretes Modell anzufertigen. Damit repräsentiert er die Größen dinglich-konkret, in manipulierbarer Form. Das erleichtert die Untersuchung gewisser Effekte. Er kann sich auch entscheiden, eine Konstruktion praktisch zu beginnen, um am entstehenden Objekt weiterzudenken. Das fällt ihm unter Umständen leichter als das Nachdenken mit Worten und bildhaften Vorstellungen oder am Reißbrett.

Eine wichtige Gruppe von Regeln dient dazu, daß sich der Problemlöser die wichtigen Tatsachen oder Größen einprägt. Man nennt sie „Enkodier-Regeln“ (PRESSLEY/LEVIN 1983; BÜCHEL 1983). Damit versetzt er sich in die Lage, das betreffende Datum bei Bedarf leicht zu evozieren und es sich sprachlich oder bildlich zu vergegenwärtigen. In diesem Sinne haben wir unsere Versuchspersonen die Frage in komplexen Textproblemen wiederholt lesen und aus dem Gedächtnis reproduzieren lassen. Sie sollten sie sich gut einprägen, damit sie beim Planen der Lösung jederzeit gegenwärtig, bzw. leicht evozierbar war. Eine ähnliche Regel verlangt vom Problemlöser, eine Aufgabe zweimal zu lesen und sie als Aufgabe wiederzugeben, bevor er sich an ihre Lösung macht. Externe und interne Repräsentationen haben in diesem Sinne die gleiche Funktion: sie halten die als wesentlich erkannten Elemente für die weitere Verarbeitung präsent.

Problemlösendes Denken ist kein gradliniges Denken. Eingeschlagene Wege erweisen sich häufig als Sackgassen. Hypothesen müssen aufgegeben oder revidiert werden. Der kluge Problemlöser wählt seine Darstellung entsprechend. In den frühen Stadien des Lösungsprozesses bevorzugt er (1) *neutrale* und (2) *leicht korrigierbare* Repräsentationen. Ein Beispiel einer *neutralen Darstellung* wäre das Herausschreiben oder das Einprägen der Gegebenheiten: die Art ihrer Strukturierung ist dabei noch offen, im Gegensatz etwa zu einem Mengendiagramm. Verschie-

dene Lösungsgedanken können noch ausprobiert werden. Wenn sich in der Folge ein erfolgsversprechender Lösungsweg abzeichnet, wird man spezifizierbare Darstellungen wählen, mit denen eine bestimmte Strukturierung verbunden ist.

Mit der Neutralität der Repräsentation hängt zum Teil auch ihre *Korrigierbarkeit* zusammen. Man kann im allgemeinen sagen: je spezifischer eine Darstellung, desto schwerer fällt ihre Korrektur. Wenn ich die Daten einer Aufgabe herausschreibe, so kann ich vergessene noch hinzufügen und irrelevante noch herausstreichen. Einen Lösungsbaum oder ein Mengendiagramm zu korrigieren, fällt schwerer. (Häufig ist es besser, man zeichnet eine solche Darstellung gerade noch einmal neu auf.) Man wird in den frühen Phasen einer Problemlösung also nicht nur die neutralen, sondern auch die leicht korrigierbaren Darstellungsformen bevorzugen und sich erst in der Folge auf anspruchsvolle Repräsentationen festlegen.

Man erkennt: keine Repräsentation genügt gleichzeitig allen möglichen Erfordernissen. Es ist daher wichtig, dem Schüler ein reiches Repertoire von Repräsentationsmöglichkeiten zu vermitteln und ihn zu ihrem beweglichen Einsatz zu ermuntern und anzuleiten.

Regelbeispiele

Die Regelbeispiele beziehen sich alle auf die folgende Textrechnung. Sie ist kürzer als die Aufgaben, die wir wirklich verwendet haben.

Afghanistan ist ein gebirgisches und trockenes Land. Auf einem Paß weidet ein Hirtenbub einige Rinder und Schafe. Die Rinder brauchen 57 l Wasser pro Tag, die Schafe 38 l. Jeden Tag fließen aus einer Quelle 180 l Wasser in ein Trink- und Vorratsbecken. Der Vater des Hirtenbuben möchte eine Herde Ziegen über den Paß in die Stadt bringen, um sie dort zu verkaufen. Die Ziegen brauchen insgesamt 350 l Wasser. Der Bub sagt, es seien erst etwa 90 l Wasser vorhanden. Wann kann der Vater mit den Ziegen vorbeikommen?

Problemstrukturregel. Ziel der Problemstrukturregel ist es, den Schüler zu einem möglichst tiefen Verständnis der im Text beschriebenen Handlungen und Prozesse anzuleiten. Ihr Anwendungsbereich ist spezifisch für Textrechnungen der folgenden Struktur: für einen physikalischen Prozeß wird der Ist-Zustand beschrieben, und es wird danach gefragt, zu welchem Zeitpunkt ein geforderter, kritischer Wert, der Soll-Zustand, erreicht wird.

Das Problem ist in der Frage (Wann...?) fokalisiert. Sie formuliert, was eine handelnde Person wissen muß, um ihr Ziel zu erreichen. Als erstes wird daher die Frage hervorgehoben: „Unterstreiche die Frage.“ Im nächsten Schritt soll der Schüler das Handlungsziel klar sehen: „Überlege dir, wer sich diese Frage stellt und was diese Person plant.“ Die dritte Instruktion lenkt den Schüler auf die Bedingung (den Soll-Zustand), die für die erfolgreiche Abwicklung der Handlung erfüllt sein muß: „Was braucht es, damit der Plan ausgeführt werden kann?“ Als nächstes wird der Soll-Zustand dem Ist-Zustand gegenübergestellt: „Überlege, warum die Hauptperson nicht sofort tun kann, was sie tun möchte?“ oder „Was ist schon vorhanden?“ Der Schüler antwortet: „Jetzt ist ... (Ist-Zustand).“ Dann lenken wir die Aufmerksamkeit des Schülers auf die notwendige Veränderung: „Was muß noch geschehen?“ Die Frage „Was alles beeinflusst diesen Vorgang?“ fordert schließlich dazu auf, die physikalischen Größen zu identifizieren und sie zueinander in Beziehung zu setzen.

Einflußgrößenregel. Auch die Einflußgrößenregel dient dem vertieften Verständnis der Handlung. Sie führt jedoch näher an die Mathematisierung heran. Die Einflußgrößenregel kann ergänzend zur Problemstrukturregel, aber auch alleine eingesetzt werden.

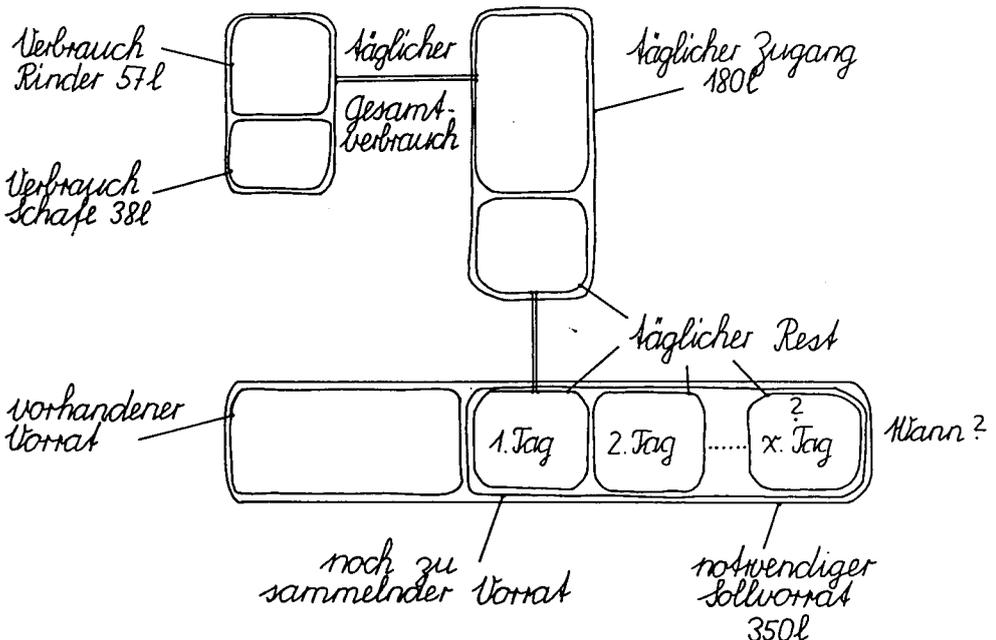
In unseren Textrechnungen sind Angaben enthalten, die zur Berechnung nicht nötig sind. Welche Angaben irrelevant sind und welche nicht, ist von der gestellten Frage abhängig. Der Anknüpfungspunkt ist daher wieder die Frage, die vom Schüler unterstrichen und bereits im nächsten Schritt umgeformt wird: „Nenne den Antwortsatz, noch ohne die gesuchte Größe, aber mit ihrer Benennung“.

Im nächsten Schritt soll der Schüler zwischen relevanten und irrelevanten Zahlenangaben unterscheiden. Der Auftrag lautet: „Unterstreiche alle Einflußgrößen (relevanten Angaben) und streiche alle unwichtigen Angaben durch“. Sodann überlegen die Schüler für jede Größe, ob sie direkt oder umgekehrt proportional zum Endresultat ist. Wir formulieren: „Finde für jede Größe die Einflußrichtung“. Dazu wird der Zahlenwert jeder Größe verdoppelt. Der Schüler überlegt in einem „Was-wäre-wenn“, wie sich diese Verdoppelung auf das Endresultat auswirkt. Mit dieser Überlegung wird die Entscheidung über die Relevanz der Angaben kontrolliert. Nachdem die Zusammenhänge nun geklärt sind, gruppieren die Schüler die gegebenen Größen nach ihrer Zusammengehörigkeit schriftlich. Die Einflußgrößenregel ist auf alle Textrechnungen anwendbar.

Skizzenregel (Mengendiagramm). Die Schüler werden durch die Skizzenregel dazu angeleitet, die sachlichen Zusammenhänge graphisch zu repräsentieren. Diese stehen dann zur Mathematisierung ablesbar zur Verfügung. Die Repräsentation der relevanten Angaben in einem Mengendiagramm stellt die Brücke zwischen dem rein funktionalen Verstehen der Sachzusammenhänge und der Mathematisierung dar.

Bei der Entwicklung eines Mengendiagramms mit Schülern gelten folgende Regeln: Verhältnisse von Teilen zum Ganzen werden durch eingeschriebene Kreise dargestellt. Werden zwei Teilstrukturen der Aufgabe miteinander verknüpft, so werden identische Größen, die zweimal dargestellt sind, durch Doppelstriche verbunden (siehe Abb. 1). Auch Zwischen-

Abbildung 1: Skizzenbeispiel



resultate werden dargestellt. Das Diagramm ist somit die ikonische Repräsentation sowohl der sachlichen Zusammenhänge als auch der voroperatorischen Struktur der Lösung. Die Abfolge der Operationen, die zur Lösung führen, ist im Mengendiagramm noch offen.

Damit die sachliche Bedeutung der Mengen ohne Rückgriff auf den Text leicht rekonstruiert werden kann, werden alle Mengen bezeichnet, die gegebenen Größen zusätzlich mit den Zahlenwerten. Das Mengendiagramm bietet sich vor allem bei Aufgaben an, in denen physikalische Größen wie Wassermengen usw. akkumuliert oder abgetragen werden.

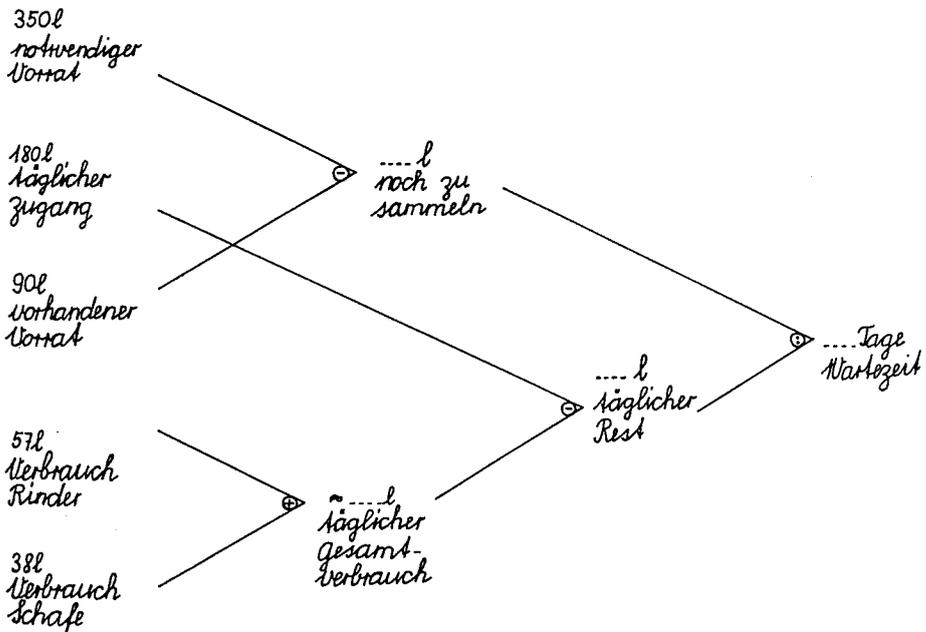
Baumregel. Die Struktur der Lösung unserer Textprobleme läßt sich als Baum darstellen. Die gegebenen Größen sind die „Blätter“, die Astgabeln repräsentieren Verknüpfungen, das Endresultat die „Wurzeln“. Wird der Baum mit Variablen für die Zwischenergebnisse konstruiert, so stellt er einen Lösungsplan dar. Er verschafft Übersicht über die Struktur der Lösung, noch bevor gerechnet wird.

Unsere Baumregel umfaßt zwei Schritte:

- (1) Alle Angaben werden untereinander an den linken Blattrand geschrieben. Der Schüler beschriftet die Angaben laufend mit kurzen, prägnanten Ausdrücken. So muß er in der Folge nicht ständig auf den Text zurückgreifen.
- (2) Der Lösungsplan wird vorerst von links nach rechts, vorwärtsplanend entwickelt. Die Astgabeln enthalten das Operationszeichen. Zwischenresultate werden geschätzt oder weggelassen, nur in Ausnahmefällen berechnet. Das Rechnen soll nicht vom Planen ablenken. Auch die Platzhalter für die Zwischenresultate werden sprachlich benannt. Die sprachliche Umschreibung des Schlußresultates wird mit der im Text gestellten Frage verglichen und auf ihre Sinnhaftigkeit geprüft.

Das Vorwärtsplanen birgt die Gefahr, daß der Schüler das gesuchte Endresultat aus den Augen verliert. Dem begegnet die Teilregel, die Baumkonstruktion gegebenenfalls mit einem Schritt Rückwärtsplanen zu beginnen. Ausgehend von der gestellten Frage, wird zuerst die

Abbildung 2: Lösungsplan



„Antwortstelle“ besetzt: Der Schüler benennt das Endresultat. Erst dann wird das Astwerk von links nach rechts konstruiert. Die Baumregel ist bei allen Textrechnungen mit mehreren Operationen sinnvoll.

Regeln zur Herstellung günstiger subjektiver und objektiver Lernbedingungen

Lernen, Problemlösen und Handeln ist nicht nur ein kognitiver Vorgang. Motivationale und emotionale Vorgänge spielen darin eine wichtige Rolle. Eine Reihe von Regeln, die wir hier nur kurz erwähnen, dient der Herstellung günstiger subjektiver Bedingungen bezüglich dieser Faktoren. MEICHENBAUM (1976, 1977) und MEICHENBAUM/ASARNOV (1979) haben auf die Rolle der Selbstverstärkung hingewiesen. Sie zeigen dem Lerner, wie er sich für eine gute Leistung selbst belohnen kann. Andere Regeln fordern ihn auf, beim Problemlösen ruhig und entspannt zu bleiben und Fehler als natürlich anzunehmen („Don't worry about mistakes. Just try again.“ MEICHENBAUM/ASARNOV 1979, S. 17).

Viele andere Regeln dienen dazu, günstige objektive Arbeitsbedingungen herzustellen. Wir gehen nicht darauf ein, sondern erinnern nur daran, daß man Lernenden rät, für gute Beleuchtung, für Ruhe und Störungsfreiheit beim Arbeiten zu sorgen, den Arbeitsplatz richtig zu gestalten usw.

Mit diesen Regeln sind auch eine Gruppe von Regeln verwandt, die dazu dienen, die objektiven Randbedingungen der Arbeit in das Verhalten einzubeziehen. So wird der Problemlöser zum Beispiel die zur Verfügung stehende Zeit richtig auf die Teilaufgaben des Planens, der Ausführung und der Kontrolle verteilen (DANSE-REAU u. a. 1979). Andere Regeln sagen, wie beschränkte Arbeitsmittel und Materialien eingesetzt werden sollen, damit die Wirkung optimal ist („Verwende für Hilfskonstruktionen billiges Material, reserviere das teure Material für die definitive Konstruktion“).

2. Die Regel als psychologischer Prozeß

Bisher haben wir gesagt, was eine Regel *leistet*, aber noch nicht, was sie als psychologischer Prozeß *ist*. Um die letztere Frage zu beantworten, müßten wir uns den Unterschied zwischen der *Ausführung* einer Lern- oder Problemlösehandlung (auch einer praktischen Handlung von einiger Komplexität) und der *Darstellung ihrer Makrostruktur vergegenwärtigen*. Wer eine komplexe Handlung erfolgreich ausführt, realisiert auch ihre Makrostruktur. Diese kann aber implizit bleiben. Sie bleibt es insbesondere dann, wenn die Handlung Routinecharakter hat. Der erfahrene Reisende erzeugt die Makrostruktur seiner Reise, der erfahrene Rechner die Makrostruktur einer Problemlösung fortlaufend, im Zuge ihrer Ausführung selbst. Auch der Physikexperte folgt bei der Lösung vertrauter Probleme einer Vorwärtsstrategie (*working forward*). Er geht vom Gegebenen aus und löst schrittweise jene Gleichungen, die damit bestimmbar sind (SIMON/SIMON 1978). Ist die Aufgabe für den Handelnden jedoch neu und der Komplexitätsgrad hoch, so tut er gut daran, die Makrostruktur vor der Ausführung zu erarbeiten und sie explizit darzustellen, beispielsweise, indem er einen Reise- oder einen Lösungsplan ent-

wirft. Entsprechend würde ein Schüler eine Zusammenfassung von einem Text oder eine Disposition zu einem Aufsatz entwerfen oder die Einflußgrößen herausschreiben, die das Ergebnis der Textrechnung bestimmen.

Das sind alles schematische Abbildungen der schließlichen Ausführung der Handlung. Sie bilden deren Makrostruktur ab, und zwar in einer Repräsentationsform, die sich von der Darstellung der definitiven Ausführung unterscheidet. Man könnte diese Abbildung auch eine *Metastruktur* auf einer „höheren Ebene“, über der Ebene der Ausführung, nennen. Die Hoffnung des Problemlösers ist es, in dieser Darstellung die wesentlichen Beziehungen innerhalb der zu lösenden Aufgabe besser zu sehen und daher, trotz des zusätzlichen Aufwands, die Aufgabe schließlich rascher, sicherer und/oder richtiger zu Ende zu führen.

Ähnliches gilt für den Lernenden. Indem er die Zusammenhänge innerhalb des Lernprozesses bewußt wahrnimmt und sie durch Lernstrategien steuert, wird ihm sein eigenes Lernen einsichtig und sinnvoll (NOVAK 1985).

Wir notieren weiter, daß diese Metastrukturen in der Regel einen Namen haben. Wir nennen sie „Baum-“ oder „Flußdiagramm“, „Zusammenfassung“, „Disposition“ oder „Funktionsgleichung“. Diese begrifflichen Bestimmungen der strategischen Handlungsabläufe ermöglichen es, sie zum Unterrichtsgegenstand zu machen und damit ein Stück Problemlösen und Lernen zu lehren. Diese benannte Metastruktur über der auszuführenden Lösung ist noch nicht die Regel. Eine Regel entsteht dadurch, daß wir den Problemlöser auffordern und/oder anleiten, diese Metastruktur herzustellen. Wie geschieht dies? Dadurch, daß sich der Problemlöser eine der folgenden Selbstinstruktionen erteilt:

- (1) „Erzeuge (mache, entwerfe, konzipiere) M!“
(M ist dabei der Name einer Metastruktur.)
- (2) „Erzeuge M in der Form R!“
(R bezeichnet eine Form der äußeren Darstellung oder eine mentale Repräsentation.)
- (3) „Wenn B, dann erzeuge M in der Form R!“
(B bezeichnet eine objektive oder eine objektiv-subjektive Auslösebedingung für die Regel.)
- (4) „Wenn B, dann erzeuge M in der Form R, indem du O auf G ausführst!“ (O bezeichnet eine Operation, G eine oder mehrere Gegebenheiten in der vorliegenden Situation, auf der O ausgeführt wird.)

Die Fälle (1) und (2) sind nach dem bisher Gesagten klar. M nennt eine Metastruktur. Die Idee ist, daß der Schüler diese schematische Vorstellung von den Gegebenheiten der Problemsituation zu instantiieren vermöge, daß er also das Baumdiagramm oder die Zusammenfassung herstellen könne. Er kann es, wenn ihn der Name an die Metastrukturen erinnert, die er schon erzeugt hat, und wenn er die Prozedur auf die neuen Gegebenheiten zu übertragen vermag. In (2) ist einfach die Form genannt, in der die Metastruktur erzeugt werden soll.

Die Regel (3) führt ein neues Element ein. Sie nennt die Bedingung, die die Anwendung der Regel auslösen soll. Die Auslösebedingung kann objektiv sein und zum Beispiel einen bestimmten Aufgabentyp bezeichnen (O'SULLIVAN/PRESSLEY 1984). Von erfahrenen Physikern ist bekannt, daß sie ihre Lösungsansätze aufgrund

der raschen Identifikation des Aufgabentypen gemäß allgemeinen physikalischen Prinzipien wählen (CHI/FELTOVICH/GLASER 1981).

Die Definition von Auslösebedingungen stellt einen wichtigen Bestandteil einer nützlichen Regel dar. Allzu häufig werden diese im Unterricht nicht bestimmt, und der Lernende weiß nicht, wann er eine Regel anwenden soll. Der Ausweg der Lehrenden besteht zum Teil darin, die Anwendung von Regeln einfach vorzuschreiben. Das nützt nichts. Die Gefahr ist groß, daß der Lernende es nicht mehr tun wird, sobald die Vorschrift wegfällt.

Viele Regeln dienen dazu, Pannen im Lern- oder Problemlöseprozeß zu beheben. Wir sprechen von „Feuerwehrregeln“. Hier sind die auslösenden Bedingungen objektiv-subjektiver Natur, das heißt: es liegt eine Schwierigkeit vor, die ihren objektiven Anlaß hat. Der andere Teil ist jedoch das subjektive Unvermögen, mit der objektiven Situation zurechtzukommen. Das klassische Beispiel ist das Nicht-Verstehen. Der Schüler kommt bei einer Aufgabe „nicht draus“. Er weiß plötzlich nicht mehr, was das Zwischenergebnis bedeutet, das er ausgerechnet hat, oder er weiß nicht, was im nächsten Lösungsschritt zu tun ist. Regeln, die hier weiterhelfen, sind an definierte Schwierigkeiten als Auslösebedingungen geknüpft. „Wenn du nicht mehr weißt, was dein Zwischenergebnis bedeutet, überlege, was die Größen bedeuten, die du zur Berechnung des Zwischenergebnisses verwendet hast!“ „Wenn du in der Ausrechnung nicht mehr weiterkommst, schau in deinem Lösungsplan nach und tue, was dieser als Nächstes vorsieht!“ Das Erkennen der Auslösebedingungen kann schwierig sein. Je klarer die Auslösebedingung definiert ist und je häufiger der Lernende diese Situation an sich wahrgenommen hat, desto leichter wird er ihr Vorliegen feststellen. Damit ihm der Lehrer dabei helfen kann, ist es häufig nötig, daß dieser die entsprechenden Erfahrungen selbst gemacht und überdacht hat (BECK/BORNER/AEBLI 1986).

Implizit enthält jede Auslösebedingung zu einer Regelanwendung eine Zielsetzung. Es ist die Vorstellung einer subjektiven und/oder objektiven Situation, die besser als der unvollkommene Zustand ist, dessen Wahrnehmung die Regelanwendung auslöst. Wenn der Problemlöser die Regel schon wählt, sobald er den Aufgabentyp identifiziert hat, so darum, weil er aus Erfahrung weiß, daß dieser Aufgabentyp bestimmte Schwierigkeiten erwarten läßt. Sein Ziel ist es, diese mit Hilfe der Regel zu überwinden. Noch bedeutsamer ist die implizite Zielsetzung bei den „Feuerwehrregeln“. Sie dienen eben dazu, Feuer zu löschen, das heißt Pannen zu überwinden. Wer nicht mehr weiß, was seine Zwischenergebnisse bedeuten, hat offensichtlich das Ziel, ihre Bedeutung zu sehen. Wer bei einer Ausrechnung nicht mehr weiterkommt, dem geht es eben um dieses Weiterkommen.

Die Überlegungen zeigen ein neues Mal, wie wichtig die Zielvorstellungen, das heißt, die Vorstellungen davon sind, wie ein guter Problemlöse- oder Lernprozeß abläuft. Daher ist es immer wieder wichtig, Schülern diese Vorstellung zu vermitteln, denn sie besitzen sie eventuell erst undeutlich oder noch gar nicht. Wir werden weiter unten sehen, daß das Demonstrieren guten Nachdenkens und Problemlösens durch den Lehrenden eine wichtige Maßnahme zu diesem Ziele ist.

Die Form (4) einer Regel ist die vollständigste und wirkungsvollste. Hier wird zusätzlich zu den übrigen Angaben gesagt, welche Operation oder Operationen der

Lernende ausführen soll, und auf welchen Gegebenheiten der Lern- oder Problemsituation sie operieren.

Ein einfaches Beispiel liefert die „Einflußgrößenregel“ (s. o.): „Wenn du den Eindruck hast, die Aufgabe enthalte irrelevante Zahlenangaben, so betrachte eine jede gegebene Größe, verdopple sie im Geiste und überlege, ob dies einen Einfluß auf die gesuchte Größe habe. Wenn ja, unterstreiche sie, wenn nein, streiche sie durch!“ Hier ist ganz klar, auf welche Gegebenheiten der Aufgabe sich die beschriebenen Operationen richten. Die letzteren sind komplex, aber genau definiert.

MEICHENBAUM/ASARNOV (1979, S. 17) formulieren im Zusammenhang mit dem Verstehen von Texten die Regel: Frage dich: „how the characters feel and why!“ Hier sind die Angriffspunkte der Überlegung wiederum klar: Es sind die handelnden Personen im Text. Der Schüler muß sich in ihre Lage versetzen, ihre Gefühle nachzuempfinden suchen und nach ihren Gründen fragen. „Wenn du beim Vorwärtsplanen von den gegebenen Größen aus nicht mehr weiter kommst, nimm die gesuchte Größe vor und versuche, von ihr aus rückwärts zu planen!“ Hier ist der Ansatzpunkt die gesuchte Größe, die Operation ist ebenfalls klar benannt: Rückwärtsplanen. Wie man das tut, muß der Lernende allerdings erfahren haben.

Es kann sein, daß vor einer gegebenen Schwierigkeit mehrere Feuerwehrregeln anwendbar scheinen. Das schwächt ihre Effizienz. Man muß die besondere Auslösebedingung zu präzisieren suchen, die für die einzelne Regel gilt. Wenn das nicht möglich ist, muß mindestens eine Präferenz-Hierarchie festgesetzt werden: „In erster Linie tue dies, in zweiter Linie jenes usw.!“

Man erkennt nun auch den inneren Zusammenhang der Teile B, O und G, also der Angabe der Auslösebedingung, der Operation und der Gegebenheiten, auf die die Operation einwirkt. Die Auslösebedingung bezeichnet ein Merkmal der objektiven Situation oder eine Schwierigkeit im Verhältnis des problemlösenden Subjektes zu bestimmten Aspekten oder „Regionen“ der objektiven Situation, nämlich zu den „trouble regions“ (WERTHEIMER 1945). Die Operation O soll direkt oder indirekt in die objektive oder objektiv-subjektive Situation eingreifen und sie transformieren bzw. verbessern. Sie tut es, indem sie auf die Gegebenheiten G einwirkt.

Nun gibt es jedoch Regeln, für die keine wohl definierten Angriffspunkte angegeben werden können, weil im problemlösenden System die notwendige Klarheit noch nicht geschaffen ist. Es ist die Aufgabe der Regel, diese Klarheit zu schaffen. „Heuristische“ Regeln haben genau diese Funktion. Weil hier keine bestimmten Ansatzpunkte gegeben sind, ist ihre Anwendung schwieriger als bei Regeln mit definierten Ansatzpunkten. POLYA (²1967, 1966/67) und die Autoren bei GRONER/GRONER/BISCHOF (1983) haben eine große Zahl solcher Heuristiken angegeben.

Zum Verstehen der Aufgabe rät POLYA, zu fragen: „Was ist unbekannt? Was ist bekannt? Wie lautet die Bedingung? ... Zeichne eine Figur! Führe eine passende Bezeichnung ein!“ Zum Ausdenken eines Planes rät er dem Problemlöser, unter anderem zu fragen: „Hast du alle wesentlichen Begriffe in Rechnung gezogen, die in der Aufgabe enthalten sind?“

Beim Zusammenfassen wird häufig geraten: „Frage dich, was ist im Text wesentlich? Was ist unwesentlich?“ Auch wenn wir selbst unseren Versuchspersonen raten: „Suche den IST-Zustand, suche den SOLL-Zustand!“, so sagen wir ihnen nicht, wo er zu finden ist.

In diesen Fällen liegen offensichtlich allgemeine Strukturvorstellungen vor, zu denen das Gegenstück in der Problemsituation überhaupt erst zu finden ist. Es muß aufgrund eines allgemeinen Signalelementes (DUNCKER 1935; KLIX 1971) identifi-

ziert werden. Im ungünstigen Falle gelingt es dem Lerner nicht, das konkrete Gegenstück des abstrakten Suchschemas zu finden. Derartige Regeln werden von Problemlösern häufig als wenig hilfreich empfunden und daher nicht aufrechterhalten und transferiert.

Auch Regeln, deren Produkt bei der Ausführung nicht leicht weiterverarbeitet werden kann, werden von den Schülern als wenig hilfreich empfunden, und dies auch dann, wenn sie durchaus verständnisfördernd sind. So haben wir beispielsweise beobachtet, daß die Regeln, die zum Aufzeichnen eines Mengendiagramms auffordern, dem Verstehen der Aufgabe zwar durchaus dienen, daß sie die Schüler jedoch als wenig hilfreich beurteilen. Der Grund ist klar. Einenteils sind wenige Schüler ohne besondere Maßnahmen in der Lage, Veränderungen des Verständnisses an sich zu beobachten, andererseits steuern sie ihr Verhalten besonders in Prüfungssituationen primär im Hinblick auf den zeitlichen Aufwand. Sie denken an das möglichst schnelle Ausrechnen des richtigen Ergebnisses und wollen von einer Metastruktur möglichst genaue Hinweise für das, was sie tun müssen, erhalten. In dieser Hinsicht ist ein Flußdiagramm subjektiv sehr viel nützlicher, als sich die Mengenverhältnisse innerhalb einer Aufgabe mithilfe eines Mengendiagrammes klarzulegen. Dieses ist ein unzeitliches Schema, aus dem die Reihenfolge, in der Operationen ausgeführt werden sollen, nicht hervorgeht.

Allgemeinheit und Spezifität der Regeln

Von einer Regel des Lernens und Problemlösens erhofft man sich natürlich, daß sie nicht nur für die Aufgabe gilt, anhand deren sie erarbeitet worden ist, sondern daß sie auf neue, andersartige Aufgaben übertragbar („generalisierbar“, „transferierbar“) ist. Es stellt sich daher die Frage, welche Merkmale einer Regel ihre Übertragbarkeit bestimmen, die notwendigen Fähigkeiten des Lerners voraussetzt. Unsere vorangehenden Analysen erlauben dazu die folgenden Feststellungen.

Es leuchtet unmittelbar ein und bedarf keiner empirischen Untersuchung, daß die Regeln, welche günstige innere und äußere Bedingungen für das Lernen und Problemlösen herstellen, wegen ihrer Inhaltsfreiheit (genauer: wegen ihrer strukturellen Unbestimmtheit) breit anwendbar sind. Ähnliches gilt für die reinen Repräsentationsregeln. („Hebe das Wesentliche in der Problemsituation hervor!“ „Schreibe es heraus!“) Es liegt im Wesen der Repräsentation, nichts über die repräsentierte Struktur auszusagen.

Umgekehrt hat die Übertragbarkeit jeder Regel, die die Struktur eines Problems schematisch antizipiert, ihre Grenzen dort, wo die im Schema enthaltenen strukturellen Züge in der Problemsituation oder im Problemobjekt nicht mehr vorliegen. Da nun eine Strukturregel durch Weglassen bestimmter Elemente immer abstrakter formuliert werden kann, erweitert sich damit – wie bei einem Begriff – der Bereich ihrer Anwendbarkeit. Dabei kann sich das folgende Dilemma ergeben: je breiter die Anwendbarkeit der Regel, desto geringer ihr Anleitungsgelalt.

Das folgende Beispiel illustriert diese Gesetzmäßigkeit: Es handle sich um eine Aufgabe, in der die Frage gestellt ist, wann in einem System von Zu- und Weggängen ein bestimmter Vorrat, zum Beispiel eine Wassermenge, erreicht ist. Hier gibt es also einen IST-Wert zum

(gegenwärtigen) Zeitpunkt t_1 und einen SOLL-Wert zu einem künftigen Zeitpunkt t_2 . Es soll die Anzahl Tage von t_1 bis t_2 berechnet werden. Hier kann man sich die folgenden Strukturregeln denken.

- (1) Bestimme den IST- und den SOLL-Wert und überlege, durch welche Vorgänge der IST- in den SOLL-Wert übergeführt wird. Frage dich, wie lange es dauert, bis der SOLL-Wert erreicht ist!
- (2) Bestimme die Zustände und Vorgänge in der Situation und frage dich, welche Größe darin berechnet werden soll!
- (3) Bestimme die wesentlichen Gegebenheiten des Problems und frage nach der Unbekannten!

Diese drei Regeln bilden eine Folge von zunehmender Abstraktheit. Mit jeder Abstraktionsstufe weitet sich das Feld ihrer Anwendbarkeit aus. Mit zunehmender Informationsarmut sinkt aber auch die strukturierende Funktion der Regel.

Man erkennt nun auch, unter welchen Bedingungen es möglich wird, dem Problemlöser mit immer allgemeineren Regeln zu dienen. Es ist dann der Fall, wenn er die erforderlichen spezifischen Strukturelemente selbständig evozieren und auf die Problemsituation beziehen kann. Wofür dienen dann allgemeine Strukturregeln noch? Ihre Funktion ist es, Elemente und Zusammenhänge in der Problemsituation hervorzuheben, die vom Problemlöser leicht vernachlässigt werden. So legt die Regel (2) noch die Unterscheidung von Zuständen und Vorgängen in der Situation nahe, und sie hebt davon die gesuchte Größe ab. Die Regel (3) unterscheidet nur noch zwischen den gegebenen und den gesuchten Größen. Auch dieser letztere Hinweis kann noch wichtig sein, denn viele Problemlöser beachten die gesuchte Größe zu wenig. Andererseits aber ist die spezifische strukturierende Wirkung dieser Form der Regel minim. Der Problemlöser muß die spezifischen Beziehungen innerhalb der durch die Regel angelegten Makrostruktur selbständig realisieren³.

3. Regeln lehren

Aus der Struktur und der Wirkungsweise von Regeln des Lernens und Problemlösens sind didaktische Richtlinien für ihre Vermittlung ableitbar. Nun geschieht diese Vermittlung immer in einem konkreten Kontext. In der Regel wird sich ein Lehrer oder ein Psychologe vornehmen, bei einer Schulklasse oder bei einem einzelnen zu behandelnden Kind oder bei einer Gruppe von Erwachsenen das Lern- und/oder Problemlöseverhalten zu verbessern. Das Besondere dieser Ausgangslage besteht darin, daß die Adressaten keine unbeschriebenen Blätter sind. Sie haben in der Regel eine lange und komplexe Lerngeschichte hinter sich. Auf der Ebene der Ausführung haben sie Haltungen und Gewohnheiten entwickelt, die verbessert werden sollen. Insbesondere in der Schule üben die Prüfungen starke Wirkungen auf das Lern- und Problemlöseverhalten der Schüler aus, in der Vorbereitungsperiode ebenso wie in der Prüfung selber. Im Grenzfall hat der Schüler komplexe Strategien entwickelt, um dem echten Problemlösen auszuweichen und die Problemsituation auf der sozialpsychologischen Ebene, durch Manipulation des Lehrenden, zu bewältigen (LEHTINEN/BAER 1986; OLKINUORA/SALONEN/LEHTINEN 1984).

Aus diesen Überlegungen folgt der didaktische Grundsatz, daß die Vermittlung neuer Regeln des Problemlösens nicht ohne die bewußte Verarbeitung der vorhan-

denen, in der Regel unbewußten, Gewohnheiten des Lernenden geschehen kann. Die meisten Schüler und wohl auch die Erwachsenen sind der Meinung, daß sie über erfolgreiche Methoden des Lernens und Problemlösens verfügen, und sie überlegen sich sehr genau, welches die Kosten und der mutmaßliche Ertrag neuer Methoden, insbesondere in Prüfungen, sind. Da nun aber die meisten Regeln bei ihrer erstmaligen Anwendung Kosten an Zeitaufwand und Anstrengung erzeugen, muß dem Lernenden genau gezeigt werden, welcher Nutzen aus ihrer Anwendung resultiert (AEBLI/RUTHEMANN 1986 oder 1987).

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, daß viele Schwächen von Problemlösungen darauf beruhen, daß der Lernende die Aufgabe und seine eigenen Lösungsideen schlecht versteht und daß er, was gravierender ist, vielleicht noch kaum erlebt hat, was wirkliches Verstehen bedeutet. Daraus ergibt sich die schwierige Aufgabe, dem Schüler die Erfahrung des tiefen Verstehens einer Aufgabe und einer Lösung zu vermitteln.

In der Folge skizzieren wir eine Reihe von didaktischen Maßnahmen, die der Vermittlung von Regeln des Lernens und Problemlösens dienen. Wir ordnen sie in einer lockeren Reihenfolge an, nicht in der Meinung, daß sie in jedem Fall durchlaufen werden müssen, sondern daß der Prozeß des Regellernens dieser Anordnung mit Variationen folgen könnte. Diese ergeben sich aus den besonderen Inhalten und aus dem Stand des Lernprozesses im Schüler.

Lernschritte bei der Vermittlung von Regeln des Problemlösens

Methoden des Problemlösens können an neuen oder vertrauten Aufgaben vermittelt werden. Wenn der Aufgabentyp neu ist, so wird der Lernende die Regeln, die der Vermittler zu ihrer Lösung vorschlägt, vorerst bereitwillig übernehmen, denn diese ermöglichen ihm ja überhaupt eine erste Bewältigung der Aufgabe. Dieser Eindruck kann jedoch täuschen. Bald zeigt sich „der alte Adam“. Der Lernende erkennt, daß er die Aufgabe auch gemäß seinen alten Verfahren und Gewohnheiten irgendwie lösen kann.

Daher ist es bei bekannten wie bei neuen Aufgaben empfehlenswert, daß man dem Lernenden zuerst mit den ihm vertrauten Mitteln einen oder mehrere *eigene Lösungsversuche* unternehmen läßt. Man wird dabei von Anfang an darauf hinwirken, daß er dabei eine reflektive Haltung einnimmt, daß er sich bei der Aufgabenlösung selbst beobachtet und insbesondere die Güte seines Verstehens kritisch zu beurteilen sucht. REITHER (1979) hat gezeigt, daß schon die Aufforderung zur Reflexion das problemlösende Verhalten bei Studenten verbessert.

Die weiteren Schritte der Regelvermittlung werden sich also im Zusammenhang und/oder im Anschluß an erste persönliche und ungeleitete Lösungsversuche abspielen. Dabei gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten:

- (1) Vermittlung einer Regel im Anschluß an eine spezifische Panne.
- (2) Regelvermittlung im Rahmen einer allgemeinen Arbeitsrückschau.

Im Falle (1) wird man eine im Verlaufe des Lern- und Problemlösevorgangs aufgetretene Panne zum Anlaß nehmen, den Lösungsvorgang zu unterbrechen und

die Regelvermittlung einsetzen zu lassen. Das sollte nicht zu früh geschehen, sondern im Prinzip erst dann, wenn die Auswirkungen des falschen Lösungsvorgangs sichtbar geworden sind.

Unter „allgemeiner Arbeitsrückschau“ (2) meinen wir ein Zurückblicken auf eine vollständige Lern- oder Problemlösesequenz. Man wird dabei auf alle aufgetretenen Schwierigkeiten eingehen, jedoch einzelne von diesen hervorheben und sie zum Gegenstand einer besonderen Behandlung machen.

In beiden Fällen wird am Anfang die *Diagnose* des ungünstigen Verhaltens stehen. Ihr Ziel ist es, das unbestimmte Gefühl des Ungenügens („the felt difficulty“, DEWEY 1910), bewußt zu machen, begrifflich zu fassen und zu benennen. Damit wird aus einer bloßen Schwierigkeit ein zu lösendes Methodenproblem. Häufig versteht der Lernende die Aufgabe und/oder die eigene ins Auge gefaßte Lösung ungenügend tief. Es stellt sich damit das obengenannte Problem, ihm zum Bewußtsein zu bringen, daß sein Aufgabenverständnis entwicklungsfähig ist. Dazu muß man ihm zeigen, daß er gewisse Zusammenhänge noch nicht sieht und entsprechende Fragen nicht beantworten kann. In der Folge wird man ihm zeigen, daß ein tieferes Verständnis möglich ist.

Der nächste Schritt – er gehört immer noch zur Diagnose – besteht darin, die aufgetretene Schwierigkeit auf ein falsches Lern- oder Problemlöseverhalten zurückzuführen, das heißt, in ihm den Grund für die Schwierigkeit zu erkennen. Diese Attribuierungen sind nicht selbstverständlich. Der Lerner hat darüber wahrscheinlich schon eine naive Theorie. Sie kann ein Teil seines Selbstbildes sein: „Grammatik kann ich sowieso nicht“, „Ich bin halt kein theoretischer Typ“, „Das mit den umgekehrten Dreisätzen habe ich nie verstanden“, „Ich habe ein schlechtes Gedächtnis“. Man erkennt an dieser Stelle, daß die Verbesserung von Arbeits- und Problemlösemethoden auch eine Veränderung des Selbstbildes erfordern – und bewirken – kann.

Das positive Gegenstück der Diagnose ist die Erarbeitung einer *Zielsetzung*, die ein besseres mögliches Resultat des Lernens oder Problemlösens klar vor sich sieht und es auch anstrebt. Das ist ein kognitiver und ein motivationaler Prozeß, eine Angelegenheit von „*skill*“ und „*will*“ (PARIS/NEWMAN/McVEY 1982). Aber Motivation kann man nicht direkt erzeugen. Ihre Beeinflussung führt in der Regel über die klare Sicht des Ziels und über die Hoffnung, es auch zu erreichen.

Zwei Dinge sind daher notwendig: dem Lernenden zu zeigen, wie ein besseres Lern- und Lösungsverhalten aussieht und daß es ein besseres Ergebnis zeitigt. In gewissen Fällen kann man die Regel aus dem erstrebten Ziel *ableiten*. Das ist der ideale Fall der Regelinstruktion aus den Erfordernissen der Aufgabe. „Wir streben eine Zusammenfassung an, die die wesentlichen Elemente und Beziehungen des Textes klar zeigt. Daher müssen die irrelevanten, vom Wesentlichen ablenkenden Elemente weggelassen werden.“ Eine derartige Überlegung ist jedem Lernenden verständlich.

Die Begründung anderer Regeln ist zu schwierig, als daß man sie aus der Diagnose der aufgetretenen Schwierigkeiten ableiten könnte. In diesem Falle wird man die Regel *demonstrieren* und ihre positive Wirkung aufweisen. Wie dabei verfahren? MEICHENBAUM (1976, 1977); MEICHENBAUM/ASARNOV (1979) haben es an vielen

Beispielen gezeigt und Elemente der theoretischen Begründung und der experimentellen Verifikation vorgelegt. Das Verfahren stützt sich wesentlich auf die von BANDURA (1969) beschriebenen Modellierungsvorgänge. VYGOTSKI (1934) und LURIA (1959, 1961); sowie LURIA/YUDOVICH (1959) haben ihrerseits gezeigt, daß Fremdinstruktionen zur sprachlichen Selbstinstruktion internalisiert werden können.

Der Gedanke, daß der Lehrende positives Lern- und Problemlöseverhalten demonstriert, ist in vielen Institutionen, insbesondere auch in den Schulen, wenig bekannt. Die Lehrenden scheuen sich zu zeigen, wie sie denken und wie sie mit einem Problem ringen. Ihre Zurückhaltung ist nicht berechtigt. Das Modelling bringt sie dem Lernenden näher, es macht ihre methodologische Botschaft glaubwürdiger.

Modelling von Problemlöseverfahren erfordert *lautes Denken*. Dieses spielt ganz allgemein eine grundlegende Rolle, wenn Regeln vermittelt werden. Einmal fordern wir den Lernenden immer wieder auf, bei seinen eigenen Lösungsversuchen laut zu denken, damit wir sehen, wie er vorgeht. Der neue Gedanke im kognitiven Modelling besteht aber darin, daß das Verhaltensmodell das laute Denken bewußt einsetzt, um sein Vorgehen für den Lernenden sichtbar zu machen. Der Lehrer muß also lernen, zu Demonstrationszwecken laut zu denken, und dies nicht nur bei vorbereiteten, ihm vertrauten Aufgaben, sondern auch bei neuen. Das setzt nicht nur ein Können, sondern auch den Mut voraus, sich vor dem Lernenden an eine neue Aufgabe heranzuwagen. Das Bewußtsein, daß gerade die dabei auftretenden Schwierigkeiten für den Lernenden instruktiv (und auch tröstlich) sind, müßte ihn ermuntern, es zu wagen. Der Lernende wird dabei auch die richtige Einstellung zu den Schwierigkeiten übernehmen.

Auch bei der Vermittlung neuer Regeln spielt die Frage der Attribuierung eine wichtige Rolle. Man muß verhindern, daß der Schüler falsche Attribuierungen vornimmt. („Beim Lehrer kommt das natürlich richtig heraus...“) Er soll den Zusammenhang zwischen dem neuen Verfahren und seiner positiven Wirkung sehen. Der Lehrende wird ihn hervorheben. Wir werden sehen, daß es in der Folge wichtig ist, daß er den Nutzen an sich selbst erlebt.

Vorerst müssen wir jedoch auf einige wichtige Züge bei der Erarbeitung einer Regel hinweisen. Die bloße Demonstration genügt keinesfalls. Die Regel muß ausgearbeitet, in der Form einer Selbstinstruktion formuliert und benannt werden. Wenn ihr Produkt eine figürliche Darstellung wie zum Beispiel ein Mengendiagramm oder ein Lösungsbaum ist, so muß der Schüler eine klare Vorstellung des entsprechenden Schemas erwerben.

Die Formulierung der Regel als Selbstinstruktion wird alle jene Elemente enthalten, die wir als wesentlich für ihre Anwendung erkannt haben: die Auslösebedingungen, die Operation bzw. die Abfolge der Operationen und die Angriffspunkte. Damit sie sich der Lernende leicht einprägen kann, ist es auch angezeigt, eine eingängige Kurzformulierung für die Regel zu finden. Wenn der Name der Regel treffend ist, kann er seinerseits dieser Einprägung dienen.

Der nächste Schritt besteht darin, daß der Lernende Gelegenheit erhält, die Regel selbst *anzuwenden*. Die ersten Anwendungsversuche werden unter Anleitung geschehen. Die Instruktionen des Lehrenden unterstützen die Arbeit des Lernenden wie ein Gerüst. PALINCSAR/BROWN (1984) sprechen hier mit VYGOTSKI (1934) und LURIA (1961) von „*scaffolding*“. Allmählich kann die Unterstützung wegfallen:

das Gerüst wird schrittweise entfernt, das Regelgebäude steht aus eigener Kraft. Man hat das auch „*fading*“ genannt (SKINNER 1971, 1974; TERRACE 1966). Die Regel dieser Anwendungsversuche unterscheiden sich nicht von denjenigen jeder Anwendung (AEBLI 1983). Sie erfolgen zuerst an Aufgaben, die der ursprünglichen ähnlich sind, dann werden die Transferschritte immer größer gewählt, und der Lernende arbeitet immer selbständiger.

Bei alledem spielt die Selbstbeobachtung, die Reflexion des eigenen Verhaltens und seiner Wirkungen in der Arbeitsrückschau immer noch eine fundamentale Rolle. Insbesondere soll der Lernende die Wirkung der angewandten Regeln kritisch beurteilen lernen. Zum Teil treffen wir besondere Maßnahmen, die der „Sichtbarmachung des Nutzens“ der angewandten Regeln dienen (AEBLI/RUTHEMANN, in Vorbereitung). Es geht dabei aber nicht bloß um ein kühles Wahrnehmen: *Der Lernende soll den Nutzen an sich selbst erfahren*, auch mit seinen emotionalen Komponenten. Anerkennung und Lob der verbesserten Leistung durch den Lehrenden kann diese Erfahrung unterstützen.

Wenn es gut geht, erwirbt der Lernende im Verlaufe vieler Regelvermittlungen nicht nur spezifische Strategien und Verfahren, sondern zugleich eine allgemeine reflexive Haltung. Er lernt, sich bei seiner Arbeit immer wieder selbst zu beobachten und Schlüsse aus den Ergebnissen seines Tuns zu ziehen. Dies könnte ihm auch – unabhängig von den besonderen Regelvermittlungen – in Zukunft selbständige Verbesserungen seiner Arbeitsmethoden ermöglichen.

Die Feinde der Anwendung von Regeln des Problemlösens

Bei alledem darf man die Schwierigkeit der Regelvermittlung nicht unterschätzen. Insbesondere Regeln, die dazu dienen, das Verstehen einer Aufgabe durch die Erzeugung einer Metastruktur zu unterstützen, werden von Schülern erfahrungsgemäß in Prüfungssituationen rasch fallengelassen und nicht mehr angewendet. Die Gründe sind verständlich. Die Erzeugung einer Metastruktur kostet Zeit und Kraft. Insbesondere unter Zeitdruck fürchtet der Schüler den Zeitverlust. Er hat den Eindruck, bei diesen verständnisfördernden Operationen nicht „vorwärtszukommen“. Denn Vorwärtskommen bedeutet für ihn primär Durch-Ausrechnen-der-Lösung-Näherkommen. Wenn er zudem seinen Nachbarn schon rechnen sieht, braucht es einiges Vertrauen in die Nützlichkeit der verständnisfördernden Metastrukturen, damit er das Ausrechnen aufschiebt. Dies fällt ihm zudem um so schwerer, je weniger bei der Korrektur der Prüfung die strukturellen Qualitäten der Lösung bewertet werden und je mehr der Prüfer bloß auf richtige Ergebnisse achtet.

Man muß auch daran denken, daß Streßsituationen allgemein *Regression* im Verhalten von Organismen erzeugen: Sie fallen auf die älteren Verhaltensschemata in ihrem Repertoire zurück (AEBLI 1951). Die Energie fließt in die bestbeherrschten und wohldefinierten Verhaltensschemata, also in die Rechenoperationen mit algorithmischen Charakter, und nicht in die offenen, verständnisfördernden, heuristischen Verfahren. Der Lernende muß hier also recht eigentlich „gegen seine Natur“ kämpfen, um ein überlegenes, rationales Verhalten zu wählen.

Diese Dinge soll nicht nur der Lehrer, sondern auch der Lernende selbst wissen. Es ist ein Teil seiner Selbsterkenntnis, daß er seine natürlichen Neigungen und Schwächen kennt und bewußt gegen sie ankämpft. Wenn er den Nutzen einer besseren Methode wiederholt erlebt hat, wird ihm das leichterfallen.

Bei alledem spielt natürlich die *Gestaltung von Prüfungen* eine grundlegende Rolle. Sie bestimmen nicht nur das geheime Curriculum einer Schule und einer Schulklasse, sie wirken sich auch stark auf ihre „heimliche Methodologie“ aus. Ganz allgemein werden Prüfungen zu häufig als „speed tests“ gestaltet. Die zur Verfügung stehende Zeit ist knapp. Der Prüfling fürchtet, zeitlich nicht durchzukommen. Er vermutet oder kennt die Art, wie seine Arbeit korrigiert wird. Wenn dabei die Quantität der Resultate statt der Qualität der erzeugten Strukturen beachtet wird, so wirkt dies kontraproduktiv auf das Nachdenken des Schülers und auf sein Bemühen, intelligente, einsichtige Lösungen zu produzieren.

Also soll der Lernende wissen, worauf es dem Prüfer ankommt. Dieser soll klar sagen, ob er die Schnelligkeit und Sicherheit von Automatismen oder das Verständnis und die Güte der Problemlöseverfahren erfassen will. (Beides hat seinen Platz im Lernprozeß.) Wenn er aber die Güte des Problemlösens prüft, so soll reichlich Zeit zur Verfügung stehen. Es soll eine Haltung angestrebt werden, die Entspannung und Konzentration in der richtigen Weise verbindet: Entspannung, weil in einer verkrampften Haltung Problemlösen nicht gelingen kann, Konzentration, weil auch sie zum Gelingen des Problemlösens notwendig ist. Hier stellen sich Fragen, die weit über die Regelvermittlung hinausreichen und mit der Psychohygiene des Prüfungswesens zusammenhängen.

4. Beispiele von Problemlöseregeln

Im folgenden betrachten wir drei Regeln des Problemlösens und fragen uns, ob die oben entwickelten Gesichtspunkte geeignet sind, etwas von ihrem Wesen und ihrer Funktion sichtbar zu machen

Gegebene Größen und Zwischenergebnisse benennen

Diese Regel spielt beim Lösen von komplexen Textaufgaben eine wichtige Rolle. Wenn Schüler die gegebenen Größen aus dem Text herausgeschrieben haben, so vergessen sie häufig, was sie bedeuten, oder sie interpretieren sie falsch. Dasselbe geschieht mit Zwischenergebnissen, die sie selbst berechnet haben. Deshalb halten wir sie dazu an, die gegebenen Größen und die Zwischenergebnisse laufend zu benennen: „tägliches Zufluß“, „Wasserverbrauch der Schafe“, „Verlust durch Versickern“, „tägliches Rest“, „erforderliche Wassermenge“, „vorhandene Wassermenge“ usw. (Diese Begriffe beziehen sich auf die oben genannte Aufgabe, die sich in einem Wassersystem abspielt.)

Begriffliche Bezeichnungen stellen daher nicht nur eine neue Möglichkeit dar, die Größen der Aufgaben zu repräsentieren und mit ihnen planend umzugehen, sie dienen auch ihrer Strukturierung. Wenn sie aufgeschrieben werden, sind diese Lösungselemente „extern gespeichert“. Wenn sie der Problemlöser vor sich hinspricht, dienen sie dem sprachlich repräsentierten Denken.

Weiter erkennt man, daß diese Regel die Ansatzpunkte, nämlich die gegebenen Größen und die Zwischenergebnisse, genau definiert und auch sagt, welche Operation an ihnen vollzogen

werden soll: das Benennen. Nicht genannt ist die Auslösebedingung. Sie ist jedoch für den Schüler klar: Er wird die gegebenen Größen und die Zwischenergebnisse benennen, sobald er merkt, daß ihm ihre Bedeutung nicht mehr klar ist. Unter Umständen wird er sich so verhalten, sobald er erkannt hat, daß die gestellte Aufgabe einen gewissen Schwierigkeitsgrad erreicht.

Rückwärtsplanen

Rückwärtsplanen ist ein wichtiges Planungsverfahren (DÖRNER 1974). Es ist das natürliche Vorgehen vor neuen Handlungsproblemen, zu deren Lösung keine fertigen Verfahren vorliegen (AEBLI 1980). Es kann auch bei deduktiven Problemen wie Beweisaufgaben, geometrischen Findeaufgaben (POLYA 1966/67) und Textrechnungen angewendet werden.

Diese einfache Regel ist eine Struktur- und Verfahrensregel. Sie sagt nichts über die Repräsentationsform aus, in der die Planung stattfinden soll. Der Kern ist eine Richtungsangabe. „Rückwärtsplanen“ bedeutet, vom gesuchten Ergebnis, das in der Aufgabe als definierte Unbekannte formuliert ist („Wieviele Tage dauert es, bis...“), in der Richtung der gegebenen Größen zu planen, statt es umgekehrt zu tun. Damit ist auch der Ansatzpunkt und die Operation definiert. Für die meisten Problemlöser ist es eine Feuerwehrregel, die sie einsetzen, sobald das Vorwärtsplanen nicht gelingt. Die Regel ist sehr abstrakt. Sie sagt nichts über die spezifische Lösungsstruktur aus, sondern definiert nur die termini *a quo* und *ad quem*. Das macht auch ihre Schwierigkeit aus: Man muß dann immer noch die Verknüpfungen finden, die von der gesuchten zu den gegebenen Größen führen. Wenn es sich dabei um Äquivalenzbeziehungen handelt, ist das wegen ihrer Symmetrie nicht weiter schwierig ($a = b$ und $b = a$). Bei algebraischen Operationen sind dabei jedoch Umformungen nötig, die von vielen Schülern als schwierig empfunden werden ($a \cdot b = c$; $c : b = a$). Zudem kann rückwärts nicht mit numerischen Größen gerechnet werden, sondern dies muß mit Variablen oder mit qualitativen Begriffen („die erforderliche Wassermenge usw.“) geschehen. Das ist eine zusätzliche Schwierigkeit für viele Schüler und ein Grund für die seltene Anwendung dieser Strategie, die an und für sich sehr fruchtbar ist.

Entspricht/Widerspricht die gelesene Passage dem bisher Gelesenen? Entspricht/Widerspricht sie meiner Erfahrung?

Wir haben in diesem Aufsatz mehr von Planungsregeln als von Regeln der „exekutiven Kontrolle“ gesprochen. Der Untertitel nennt zwei Regeln der letzteren Art. Sie dienen dem Verstehen beim Lesen von Texten irgendwelcher Art. Die Regeln sind strukturell, insofern sie den Leser auffordern, zwischen dem soeben gelesenen Abschnitt und den vorangehenden Abschnitten oder zwischen jenem und seiner Erfahrung Kompatibilität oder Widerspruch festzustellen. Dies jedoch sind Beziehungen zwischen Strukturen, genauer: zwischen Sätzen, die wahr oder falsch sind, also zwischen „Aussagen“ (im technischen Sinn des Wortes). Die Regeln sind teilweise heuristisch, indem der eine Term des Vergleichs zwar relativ genau beschrieben, der andere jedoch weit offen bleibt: Wo im „bisher Gelesenen“ oder „in der Erfahrung“ eine Aussage oder eine Tatsache zu suchen wäre, die mit dem Gelesenen übereinstimmt oder im Widerspruch steht, ist nicht gesagt. Die vorliegende Aussage dient daher als Signalement, nach dem das bisher Gelesene oder die Erfahrung abgesucht werden muß, um auf mögliche Kandidaten zu stoßen, die der vorliegenden Aussage entsprechen (mit ihr „isomorph“ sind) oder ihr widersprechen (also „nicht-a“ behaupten, wenn der Text „a“ behauptet).

Diese Regeln nennen keine Auslösebedingung, denn die Meinung ist, man müsse sie beim Lesen ständig befolgen. Vielen Lesern scheint dies auch zu gelingen, wobei es unklar ist, wie das zugeht. Man könnte aber auch daran denken, die Regel an die folgende Bedingung zu knüpfen: „Wenn dir die Wahrheit einer Passage irgendwie fragwürdig erscheint, frage dich,

ob sie dem bisher Gelesenen/selbst Erfahrenen entspricht/widerspricht!“. Aber es könnte dieses Fragwürdigerscheinen auch schon ein Ergebnis einer ersten Anwendung der Regel sein. Wegen ihrer zyklischen Natur wäre sie in diesem Falle wenig praktikabel (HOFSTADTER 1979).

Wir meinen, diese drei Beispiele zeigen, daß die in diesem Aufsatz entwickelten Gesichtspunkte es erlauben, mindestens einige wesentliche Züge von Regeln des Problemlösens sichtbar zu machen.

Anmerkungen

- 1 In alphabetischer Reihenfolge.
- 2 Dieses Forschungsprojekt wurde vom Schweizerischen Nationalfonds für die Wissenschaftliche Forschung als Projekt Nr. 1.589-0.82 unter dem Titel „Metakognition bei Erziehern und Kindern: Selbstbeobachtung und Selbststeuerung des Problemlöse- und Lernverhaltens“ finanziell unterstützt und an der Abteilung Pädagogische Psychologie der Universität Bern durchgeführt.
- 3 Was wir hier von den Strukturregeln sagen, gilt auch für die Repräsentationsregeln, insofern diese Strukturelemente enthalten. Als Beispiel hierzu kann die Regel dienen, die zum Erstellen eines Plans in der Form eines Lösungsbaumes auffordert.

Literatur

- AEBLI, H.: Didactique psychologique. Neuchâtel (Delachaux) 1951.
- AEBLI, H.: Denken: Das Ordnen des Tuns. Stuttgart 1980/81.
- AEBLI, H.: Zwölf Grundformen des Lehrens. Stuttgart 1983.
- AEBLI, H./RUTHEMANN, U.: Angewandte Metakognition: Schüler vom Nutzen von Problemlösestrategien überzeugen. Erscheint 1986 oder 1987 in: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie.
- AEBLI, H./STAUB, F. C.: Diagnose des Verständnisses von mathematischen Textproblemen. In Vorbereitung.
- AEBLI, H./STAUB, F. C.: From „text comprehension“ to the mathematical comprehension of text. Unpublished paper, presented to the first convention of the European Association on Research on Learning and Instruction, at Leuven. June 1985.
- AEBLI, H./RUTHEMANN, U./STAUB, F. C.: Über den Zweck und die Gestaltung von Textrechnungen. In Vorbereitung.
- BANDURA, A.: Principles of behavior modification. New York 1969.
- BECK, E./BORNER, A./AEBLI, H.: Die Bedeutung der kognitiven Selbsterfahrung für das Verstehen von Problemlöseprozessen bei Schülern. Erscheint 1986 in: Unterrichtswissenschaft.
- BRAINE, M. S. D.: The ontogeny of English phrase structure. In: Language 39 (1963), S. 1–13.
- BROWN, J. S./BURTON, R. R.: Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. In: Cognitive Science 2 (1978), S. 155–192.
- BÜCHEL, F.: Lernstrategien bei Jugendlichen und Erwachsenen in der beruflichen Ausbildung. Habilitationsschrift, Basel 1983.
- CHI, M. T./FELTOVICH, P. J./GLASER, R.: Categorization and Representation of physics problems by experts and novices. In: Cognitive Science 5 (1981), S. 121–152.
- DANSEREAU, D. F./COLLINS, K. W./MCDONALD, B. A./HOLLEY, C. D./GARLAND, J./DIEKHOF, G./EVANS, S. H.: Development and evaluation of a learning strategy training program. In: Journal of Educational Psychology 71 (1979), S. 64–73.

- DEWEY, J.: *How we think*. New York 1910.
- DÖRNER, D.: *Die kognitive Organisation beim Problemlösen*. Bern 1974.
- DUNCKER, K.: *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin 1935 und ²1963.
- GRONER, R./GRONER, M./BISCHOF, W. F.: *Methods of heuristics*. Hillsdale 1983.
- HOFSTADTER, D. R.: *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*. New York 1979. (dt. Titel: *Gödel, Escher, Bach: ein endloses geflochtenes Band*. Stuttgart ⁴1985.
- KEENEY, T. J./CANNIZZO, S. R./FLAVELL, J. H.: Spontaneous and induced verbal rehearsal in a recall task. In: *Child development* 38 (1967), S. 953–966.
- KENDALL, C. R./BORKOWSKI, J. G./CAVANAUGH, J. C.: Maintenance and generalisation of an interrogative strategy by EMR children. In: *Intelligence* 4 (1980), S. 255–270.
- KLIX, F.: *Information und Verhalten*. Bern 1971.
- KURTZ, B. E./BORKOWSKI, J. G.: Children's metacognition: exploring relations among knowledge, process, and motivational variables. In: *Journal of Experimental Child Psychology* 37 (1984), S. 335–354.
- KUHL, J.: Emotion, Kognition und Motivation: II. Die funktionale Bedeutung der Emotionen für das problemlösende Denken und für das konkrete Handeln. In: *Sprache & Kognition* 4 (1983), S. 228–253.
- LEHTINEN, E./BAER, M.: Schlecht aber recht: Zum subjektiven Sinn unadäquater Leistungsprozesse. In: *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie und ihre Anwendungen* (1986), im Druck.
- LURIA, A. R.: The directive function of speech in development and dissolution. In: *Word* 15 (1959), S. 341–352 und 453–464.
- LURIA, A. R.: *The role of speech in the regulation of normal and abnormal behavior*. New York 1961.
- LURIA, A. R./YUDOVICH, F. I.: *Speech and development of mental processes in the child: An experimental investigation*. London 1959.
- MCNEILL, D.: *The acquisition of language. The study of developmental psycholinguistics*. New York 1970.
- MEICHENBAUM, D.: Toward a cognitive theory of self-control. In: SCHWARTZ, G. E./SHAPIRO, D. (Hrsg.): *Consciousness and self regulation: Advances in research*. Band 1. New York 1976.
- MEICHENBAUM, D.: *Cognitive-behavior modification: An integrative approach*. New York 1977.
- MEICHENBAUM, D./ASARNOW, J.: Cognitive-behavioral modification and metacognitive development: Implications for the classroom. In: KENDALL, P. C./HOLLON, S. D. (Hrsg.): *Cognitive-behavioral interventions: Theory, research, and procedures*. New York (Academic Press) 1979, S. 11–35.
- MILLER, M.: *Zur Logik der frühkindlichen Sprachentwicklung. Empirische Untersuchungen und Theorieentwicklung*. Stuttgart 1976.
- NOVAK, J. D.: Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn. In: WEST, L. H. T./PINES, A. L.: *Cognitive structure and conceptual change*. New York 1985, S. 189–209.
- OLKINUORA, E./SALONEN, P./LEHTINEN, E.: Toward an interactionist theory of cognitive dysfunctions. Report B:10, Institut of Education of University of Turku 1984.
- O'SULLIVAN, J. T./PRESSLEY, M.: Completeness of instruction and strategy transfer. In: *Journal of Experimental Child Psychology* 38 (1984), S. 275–288.
- PALINCAR, A. S./BROWN, A.: Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension monitoring activities. In: *Cognition and Instruction* 1 (1984), S. 117–175.
- PARIS, S. G./NEWMAN, R. S./MCVEY, K. A.: Learning the functional significance of mnemonic actions: a microgenetic study of strategy acquisition. In: *Journal of Experimental Child Psychology* 34 (1982), S. 490–509.
- POLYA, G.: *Vom Lösen mathematischer Aufgaben*. 2 Bände. Basel 1966 und 1967.
- POLYA, G.: *Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme*. Bern ²1967.

- PRESSLEY, M./LEVIN, J. R.: Cognitive strategy research. New York 1983, 2 Bände.
- REITHER, F.: Über die Selbstreflexion beim Problemlösen. Dissertation. Gießen 1979.
- SIMON, H. A./SIMON, D. P.: Individual differences in solving physics problems. In: SIEGLER, R.: Children's thinking: what develops? Hillsdale 1978, S. 325-347.
- SKINNER, B. F.: Erziehung als Verhaltensformung. München 1971.
- SKINNER, B. F.: Die Funktion der Verstärkung in der Verhaltenswissenschaft. München 1974.
- TERRACE, H. S.: Stimulus control. In: HONIG, W. H. (Hrsg.): Operant behavior: Areas of research and application. New York 1966.
- WYGOTZKI, L. S.: Denken und Sprechen. Moskau 1934 (dt. Übersetzung: Berlin 1964 oder Frankfurt a. M. 1969).
- WERTHEIMER, M.: Productive thinking. New York 1945. (deutsch: Produktives Denken. Frankfurt a. M. 21964.).

Abstract

Are Rules of Problem Solving Teachable?

The autonomous management of problem solving requires that the learner possess strategies of planning the overall structure of the solution, allowing for a suitable representation ("macrostructural rules"; "representational rules"). This is demonstrated for the solution of complex word problems. Through the learner's self-instruction, the structure that is to be generated, the mode of representation, the cues that trigger the application of the rules, the points of attack as well as the form of representation are defined. Applicability of rules varies with the abstractness of their formulation. Teaching should begin with the learner's own attempt at solving the problem, the result being analysed in the class. Negative labelling should be avoided and the learner should seek to develop a positive self-image. Demonstrations by the teacher through "thinking aloud" plays an important role in the teaching of rules. In attempting to apply the rules, the learner should experience their usefulness. The organisation of examinations strongly influences the application of the rules.

Anschrift der Autoren:

Universität Bern, Abt. Pädagogische Psychologie, Waldheimstrasse 6, CH-3012 Bern.