

Einsiedler, Wolfgang

Modelle als Medien. Kognitive Repräsentation durch Modelle?

Unterrichtswissenschaft 17 (1989) 3, S. 270-286



Quellenangabe/ Reference:

Einsiedler, Wolfgang: Modelle als Medien. Kognitive Repräsentation durch Modelle? - In:
Unterrichtswissenschaft 17 (1989) 3, S. 270-286 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-359576 - DOI:
10.25656/01:35957

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-359576>

<https://doi.org/10.25656/01:35957>

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

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung

Herausgeber:

Frank Achtenhagen, Gunther Eigler, Hans-Jürgen Krumm,
Rolf Oerter, Peter Strittmatter, Walther Zifreund

Geschäftsführender Herausgeber:

Prof. Dr. Peter Strittmatter, Allgemeine Erziehungswissenschaft,
Universität des Saarlandes, Postfach, 6600 Saarbrücken

Schriftleitung: Prof. Dr. Norbert M. Seel, Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen (DIFF)

Neckarhalde 55, 7400 Tübingen, Telefon (0 70 71) 4 30 14

Manuskripte werden jederzeit an die Schriftleitung erbeten. Es werden ausschließlich Originalbeiträge angenommen. Für unverlangte Einsendungen wird keine Haftung übernommen. Rücksendung erfolgt nur, wenn entsprechendes Rückporto beiliegt.

Verlag: Juventa Verlag GmbH, Ehretstraße 3, 6940 Weinheim

Verantwortlich für Anzeigen: Thekla Steinmetz, Juventa Verlag GmbH, Ehretstraße 3, 6940 Weinheim, Telefon (0 62 01) 6 10 35. Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3 vom 1. Januar 1988.

Erscheinungsweise: „Unterrichtswissenschaft“ erscheint vierteljährlich, jeweils im Januar, April, Juli und Oktober. Einzelheft DM 20,—; Jahresabonnement DM 68,—, für Studierende (bei Vorlage einer Studienbescheinigung) DM 48,—; jeweils inkl. MWSt. zuzüglich Versandkosten.

Bestellungen an den Juventa Verlag GmbH, Ehretstraße 3, 6940 Weinheim, oder über den Buchhandel. Abbestellungen spätestens 6 Wochen vor Jahresende.

Gesamtherstellung: Neumann Druck, Heidelberg

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISSN 0340-4099

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung
17. Jahrgang/Heft 3/1989

Beiträge

Hartmut Ditton:
Informationstechnologien und Schule —
Einstellungen von Eltern und Lehrern 195

Klaus-Henning Hansen:
Computernutzung und Prozesse sozialer Identität 216

Marianne Krüger-Potratz:
Die Ausländerpädagogik versichert sich ihrer Geschichte:
Plädoyer für eine historische Minderheitenbildungsforschung 223

Katharina Kuhs:
Sozialpsychologische Faktoren im Zweitsprachenerwerb 243

Richard J. Shavelson:
Contributions of Research to Policy and Practice:
A View from the United States 251

Wolfgang Einsiedler:
Modelle als Medien —
kognitive Repräsentation durch Modelle? 270

Berichte und Mitteilungen 287

Wolfgang Einsiedler

Modelle als Medien – kognitive Repräsentation durch Modelle?¹

Mental Models as Media –
Cognitive Representation by Mental Models

Herrn Prof. Dr. Hans Schiefele, München, zum 65. Geburtstag gewidmet

In modernen erkenntnistheoretischen Ansätzen wird angenommen, daß die Wahrnehmung der Wirklichkeit von vorgängigen Modellen, Schemata usw. gesteuert wird. Auch die neueren Wissenstheorien sprechen von einer Speicherung des Wissens in mentalen Modellen oder in modellartigen semantischen Netzwerken. Es wird erörtert, wie der im Arbeitsgedächtnis stattfindende Prozeß der Umsetzung von Wahrnehmung in symbolisierte Elemente und Relationen durch Unterrichtsmedien, z.B. Diagramme oder semantische „Maps“, zu unterstützen ist. Die Zusammenhänge zwischen Medium, mentalem Modell und letztlich angestrebtem kognitivem Strukturtyp werden als jeweils spezifisches Kongruenzverhältnis konzeptualisiert.

Modern epistemological theories assume that human perception is directed by mental models, schemata or other search filters to order the information processing. In new knowledge theories, too, the organization of knowledge in mental models or in model like semantic networks plays an important role. It is discussed how the process by which preceptions are transformed into symbolic elements and relations in the working memory can be supported by instructional media, for example by diagrams or semantic maps. The theoretical concept of the approach is a congruence relation between media, mental models and the cognitive structure types in the longterm memory.

Zweifellos kann man für den Modellbegriff feststellen, daß er in der Pädagogik und Didaktik der letzten 20 Jahre ein Modebegriff geworden ist. Wir hören und lesen von Modellversuchen, von Schulmodellen, von Unterrichtsmodellen, von Modell als Vorstufe einer Theorie, aber auch von mathematisierten Modellen als verfeinerten Theorien. Bekannt sind die Zusammenstellungen „didaktischer Modelle“ von *Blankertz* (1969), von *Ruprecht* (1972) und von anderen. *Nuthall & Snook* (1977) verwenden den Modellbegriff als Interpretationsrahmen für Unterricht, *Weil & Joyce* (1978) sprechen von „Lehrmodellen“, wie z.B. dem Begriffserwerbsmodell nach *Bruner* oder dem Fragetrainingsmodell nach *Suchman*.

Wegen dieser extensiven Begriffsverwendung, die selbstverständlich die Begriffsschärfe gefährdet, ist es sehr verdienstvoll, wenn versucht wird, einen sinnvollen Begriffskern herauszuarbeiten und ihm widersprechende Begriffsvarianten zurückzuweisen. *Brezinka* (1984) hat dies getan, indem er mit wissenschaftstheoretischen Begründungen Modell als

„Modell von etwas“ definiert und alle Begriffsverwendungen ausgeschlossen hat, in denen das Modell als Original fungiert und folglich „Modell für etwas“ ist. Nach weiteren Analysen kommt *Brezinka* zu dem rigorosen Schluß, daß von 15 Modellbegriffen nur einer tauglich sei, nämlich der Begriff „Modell als Lehrmittel“. Einerseits sind diese Vorschläge zur Reduzierung der Begriffsverwendung von „Modell“ prinzipiell begrüßenswert, andererseits werden aber auch – wie zu zeigen sein wird – wichtige didaktische Funktionsbestimmungen der „Lehrmittel“ eliminiert. Angemessener erscheint es, in der Didaktik folgende drei Modellbegriffe zu verwenden:

(a) Modelle als kognitive Repräsentation;

(b) Modelle als Medien;

(c) Modelle als Unterrichtseinheiten.

In diesem Beitrag werden nur die Modellbegriffe (a) und (b) behandelt. Modelle als Unterrichtseinheiten gehören nicht zu unserem Thema; es sei nur noch angemerkt, daß sie dem Begriff des „Modells von etwas“ nicht widersprechen; sie sollen nicht als „Model“ zur Nachahmung, sondern als Repräsentation einer typischen Unterrichtsstruktur oder Unterrichtsmethode verstanden werden.

1. Zur Begründung eines zweifachen Modellbegriffs in der Mediendidaktik

Der Mangel des terminologischen Rigorismus *Brezinkas* besteht vor allem darin, daß er die Zusammenhänge zwischen „Modell als psychische Vorstellung“ und „Modell als Lehrmittel“ nicht erkennt. Er findet zwar den Begriff „Modell als Lehrmittel“ berechtigt und subsumiert darunter dreidimensionale Nachbildungen, zweidimensionale Skizzen sowie Symbolmodelle, wie z.B. Diagramme und Landkarten, jedoch erläutert er diese Lehrmittel ausschließlich unter der Perspektive der Anschaulichkeit und ohne Bezug auf die abstrakten Strukturen, die einige von ihnen repräsentieren und die u.U. der eigentliche Lehrstoff sind. Da für *Brezinka* Lehrmittel nur Ersatz für die Wirklichkeit sind, kann er die sehr vereinfachende und empirisch nicht haltbare Behauptung aufstellen, es gebe eine Stufenfolge der Veranschaulichung, nach der die Wirkung eines Mediums umso geringer werde, je kleiner seiner Anschauungs- und je größer sein Abstraktionsanteil sei (1984, S. 840) (vgl. die ausführliche Kritik des „Realitätsersatzes“ durch Medien bei *Weidenmann* 1988, S. 131 ff.).

Den Begriff „Modell als psychische Vorstellung“ lehnt *Brezinka* (1984, S. 853) ab, weil mit dem Konzept „psychische Vorstellung“ alles ausgedrückt sei und es sonst nur zu einer Verdoppelung des Vokabulars komme. Abgesehen davon, daß *Brezinka* bei seiner Auseinandersetzung mit psychischen Vorstellungen nur auf sehr vage (pädagogische) Modellbegriffe eingeht und die Modellbegriffe der modernen

Kognitionspsychologie nicht berücksichtigt, ist vor allem bedauerlich, daß der Autor nicht konstruktivistisch vorgeht und die Abhängigkeit des „Modells als Lehrmittel“ von dem Modelldenken dessen, der es konstruiert, nicht sieht. Für den Globus als Modell der Erde mag der Ansatz „Modell als Wirklichkeitersatz“ noch angehen, für Atommodelle, sozialstrukturelle Modelle, Funktionsmodelle und viele andere Darstellungen ist er jedoch nicht ausreichend (Beispiele: Modelldarstellungen in Geschichte, etwa „Achsenpolitik“, oder in Biologie, etwa „Nahrungskette“). Mit dem Verzicht auf den Begriff „Modell als psychische Vorstellung“ wird die Kongruenz zwischen „Denken in Modellen“ und „Modell als Medium“ vernachlässigt und eine epistemologische sowie didaktische Chance vertan.

Zum Wahrnehmen und Denken in Modellen arbeiten Vertreter der Kognitionstheorie seit ca. 50 Jahren. Es war vermutlich *Bartlett*, der 1932 zum ersten Mal mit dem Schemabegriff die Ordnungen und Regelmäßigkeiten im Fluß der Wahrnehmungen und Handlungen konzeptualisierte und Schemata als aktive Organisation der Erfahrungen betrachtete (zitiert nach *Aebli* 1980, S. 46). *Piaget* (1969) verwendete ebenfalls den Schemabegriff und betonte noch stärker den konstruktivistischen Charakter des Erkennens. Im radikalen Konstruktivismus spricht man davon, daß beim Erkennen nicht mehr oder weniger *stimmende* Bilder der Wirklichkeit erfaßt werden, sondern kognitive Strukturen aufgebaut werden, die auf die Umwelt *passen* (von *Glaserfeld* 1985). Typische Strukturmuster oder grundlegende Ausschnitte aus den semantischen Netzwerken der kognitiven Repräsentation kann man auch als Modelle bezeichnen. *Johnson-Laird* (1983, S. 402) faßt den Konstruktions- und den Modellgedanken wie folgt zusammen: „Unsere Sicht der Welt ist sowohl ursächlich davon abhängig, wie die Welt ist, als auch davon, wie wir sind... All unser Wissen von der Welt hängt von unserer Fähigkeit ab, Modelle von ihr zu konstruieren“ (zum Schema- und Modellbegriff in der Kognitionspsychologie vgl. *Rumelhart* 1980 und *Norman* 1983).

Mit dem Wahrnehmen und Denken in Modellen befaßt sich auch die Evolutionäre Erkenntnistheorie (*Lorenz* 1943; *Vollmer* 1983, 1986; *Riedl* 1985, 1988). Sie vertritt die These, daß das menschliche Erkenntnisvermögen ein Ergebnis der biologischen Evolution sei. „Die subjektiven Erkenntnisstrukturen *passen* auf die Welt, weil sie sich im Laufe der Evolution in *Anpassung* an die reale Welt herausgebildet haben“ (*Vollmer* 1986, S. 23). Mit dem Postulat der genetischen Bedingtheit des Erkennens knüpft man an *Kant* (1781) an, der das Vorstellen in den Dimensionen Raum und Zeit sowie die 12 Urteilkategorien als a-priori-Formen der Erkenntnis bzw. des Verstandes bezeichnete. Die Evolutionären Erkenntnistheoretiker stimmen der Vorgegebenheit der Erkenntnisformen zu, allerdings nicht im Sinne des a-priori, sondern des a-posteriori, d.h. als Vorgegebenheit in der Folge der stammesgeschichtlichen Entwicklung (*Vollmer* 1983, S. 133; *Riedl* 1988, S. 68).

Als Beispiele für die Anpassung der Erkenntnisformen an die Umwelt werden zunächst biologische Adaptationen aufgeführt. So hat sich etwa das menschliche Auge genau dem Lichtausschnitt angepaßt, der durch die Atmosphäre gelangt (Vollmer 1983, S. 98). Das Auge wurde von den Mechanismen der Evolution dazu geführt, alle einschlägigen Gesetze der Optik aus der Natur zu extrahieren (Riedl 1988, S. 29). Genauso seien die kognitiven Erkenntnisvorgänge Anpassungen an die Umwelt. Konrad Lorenz führte bereits 1943 (zitiert nach Vollmer 1983, S. 19) den Modellgedanken in die Evolutionäre Erkenntnistheorie ein: so wie es ein adaptives Verhältnis zwischen Organ und Außenwelt gebe, bestehe auch „jenes Verhältnis... zwischen vereinfachendem Modellgedanken und wirklichem Tatbestand, das Verhältnis einer mehr oder weniger weitgehenden Analogie“.

Im einzelnen werden in der Evolutionären Erkenntnistheorie Kategorien wie Vergleichen, Kausalität, Finalität mit entsprechenden Beispielen phylogenetisch interpretiert. Man ist überrascht, Begriffe aus der kognitiven Psychologie vorzufinden, z.B. Konstanzwahrnehmung oder Erwartung als Erkenntnismechanismus und Handlungssteuerung (Riedl 1988; dieser Autor spricht, wohl in Anlehnung an den Urteilsbegriff bei Kant, von „Voraus-Urteilen“ beim Erkennen). Erkennen ist auch in der biologischen Epistemologie eine hypothetische Rekonstruktion der Welt. Beim Hypothesentesten spielen Modelle eine wichtige Rolle. Nach Vollmer (1986, S. 31) werden Umweltstrukturen wie projektive Modelle aufgebaut und erprobt. Der Mensch ist bestrebt, Ordnung im Fluß der Wahrnehmungen zu schaffen, und wendet klassifikatorische Merkmale, Gestaltergänzungen, Analogien, Superzeichen u.a.m. an (vgl. Vollmer 1983, S. 103; Riedl 1988, S. 133). Beispiele für Analogien findet man in den Mythen der Naturvölker, etwa bei einem Indianerstamm das Eichhörnchen für Schwangerschaft und Niederkunft, weil es aus dunklen Höhlen heraustritt. Analogien werden zur Ordnung von Verwirrendem benutzt, etwa die Sternbilder zur Einteilung des Sternenhimmels (vgl. Riedl 1985, S. 79; 1988, S. 149). Analogien durchziehen die gesamte Geschichte der Naturwissenschaften, angefangen von den Begriffen Spannung, Ladung und Strom bis zum Rosinen- und Erdbeermodell der Atomphysik.

Eine besondere Stellung nimmt die Wahrnehmung des dreidimensionalen Raumes ein. Dieses Erkenntnismuster bietet einen enormen evolutiven Vorteil. Nach Konrad Lorenz (zitiert in Vollmer 1983, S. 104) ist die Verfügbarkeit eines internen Modells des äußeren Raumes Voraussetzung für das Denken. Die Arten, die sich Modelle des äußeren Raumes vorstellen können, sind in der Lage, Probehandlungen vorzunehmen, etwas durchzuspielen, ohne die Konsequenzen verspüren zu müssen. Andererseits kann die räumliche Vorstellung aber auch hemmend sein. Ein einfaches Beispiel sind Bilder, die aus zweidimensionalen Strichzeichnungen bestehen, in die wir aber Raumvorstellungen hineinlegen (vgl. Abb. 1).

Schwerwiegender ist, daß das Raummodell das Verständnis der modernen Atomphysik und der Relativitätstheorie behindert. Die Relativitätstheorie lehrt uns, daß das Raum-Zeit-Kontinuum vierdimensional und ein in sich gekrümmter Raum sei (Riedl 1988, S. 150), ein Sachverhalt, den man sich nicht bildlich vorstellen kann.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß ganz verschiedene neuere epistemologische Theorien Erkenntnis nicht als Abbild von Wirklichkeit verstehen, sondern eine voraussetzungsgebundene Wahrnehmung mit Kategorien oder Modellen postulieren. Ausgangspunkt für einen ersten

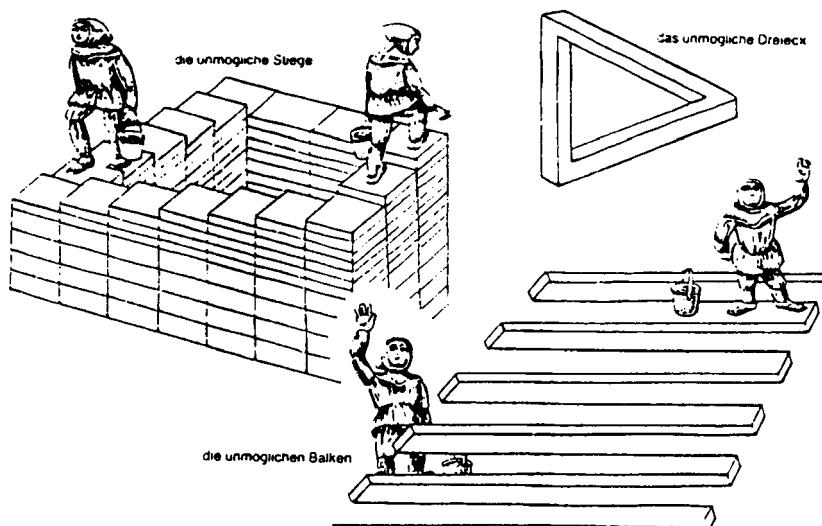


Abb. 1: Die „unmöglichen Figuren“ vermögen wir infolge unserer erblichen Raum-Interpretation nicht als mögliche Gegenstände zu denken, wiewohl es sichtlich möglich ist, sie zu zeichnen (aus Riedl 1988, S. 40).

Modellbegriff in der Didaktik sollte deshalb das „Erkennen und Denken in Modellen“ sein, wobei die Funktion der Modelle im Gesamt der Informationsverarbeitung noch zu klären ist². Die Erkenntnistheorien legen es nahe, auch „Modelle im Unterricht“ nicht als Abbilder der Wirklichkeit zu verstehen. Sie sind ebenfalls Konstrukte der Erkenntnis, entstanden entweder als Ergebnis der Alltagserfahrung oder als Erkenntnisprodukt der Wissenschaften in Abhängigkeit von deren Kategorien und Methoden. Der Didaktiker oder Journalist muß sie so aufbereiten, daß sie den Mechanismen der Modellbildung beim Aufbau kognitiver Strukturen durch die Lernenden oder Rezipienten entsprechen.

2. Zur Funktion mentaler Modelle

Die modellhaften kognitiven Repräsentationen des informationsverarbeitenden Individuums sollen im folgenden in Anlehnung an *Johnson-Laird* (1983), *Gentner & Stevens* (1983) u.a. als „mentale Modelle“ bezeichnet werden. Unter einem mentalen Modell versteht man eine gemischte Repräsentationsform, bestehend aus analogen Vorstellungsbildern und aus abstrakten, symbolisierten Vorstellungselementen (*Johnson-Laird* 1983). In der Analogrepräsentation können natürliche Sachverhalte dargestellt werden, seien es zweidimensionale Flächenbeziehungen, seien es dreidimensionale Gegebenheiten oder Bewegungen

im Raum; dieses Faktum verweist wohl auf den evolutiven Ursprung der mentalen Modelle. Da mit mentalen Modellen aber auch viele andere Sachverhalte, z.B. soziale Konstrukte, vorgestellt werden, sollte man nicht von einem Verhältnis zwischen Modell und Original, sondern besser von der Repräsentation eines „Bezugssystems“ im mentalen Modell sprechen (vgl. *Neugebauer* 1977, 1980).

Nach *Seel* (1986, S. 389) sind mentale Modelle Vermittler zwischen der konkret-anschaulichen und der abstrakt-amodalen Repräsentation. Sie exemplifizieren die im Langzeitgedächtnis gespeicherten abstrakt-amodalen Informationen anhand uns vertrauter Formen von Sinnesmodalitäten. So ist es unwahrscheinlich, daß im Langzeitgedächtnis oder in den Neuronen Analogien für die Farbe „rot“ oder den Geschmack „bitter“ gespeichert werden. „Ein Bild wird konstruiert aus der dahinterliegenden propositionalen Repräsentation. Das Bild führt keine neue Information ein, es ermöglicht nur, die gespeicherte Information leichter zu manipulieren“ (*Johnson-Laird* 1983, S. 148). Damit soll allerdings nicht dem „Single Code“-Ansatz das Wort geredet werden (*Pylyshyn* 1973), vielmehr muß man wohl von einer komplizierten, sich vielfach überlappenden und bereichsspezifisch unterschiedlich symbolisierten Codierung im Langzeitgedächtnis ausgehen.

Außer dieser allgemeinen Vermittlungsfunktion sollen kurz vier spezifische Funktionen der mentalen Modelle angesprochen werden:

a) Mentale Modelle machen schwer zugängliche Sachverhalte vorstellbar.

Da der Erkenntnisapparat des Menschen auf den Mesokosmos ausgerichtet ist (man sagt, der Mesokosmos sei die „kognitive Nische“ des Menschen, *Vollmer* 1986, S. 27), gilt dies insbesondere für Sachverhalte der Mikro- und der Makrowelt. So sind Quarks und Elementarteilchen, aber auch Schwarze Löcher und der Kosmos als Ganzes nicht anschaulich. Sie werden durch Modelle zu möglichen mesokosmischen Objekten transformiert (*Vollmer* 1986, S. 30).

b) Mentale Modelle schaffen Bezugsrahmen bei der Wahrnehmung.

Im Sinne schematischer Antizipation wird Hintergrundwissen zur Einordnung neuer Informationen bereitgestellt. Beispiele für fehlende Bezugsrahmen sind die Kippbilder, z.B. der Neckerwürfel. Beispiele für die Anwendung antizipierender Bezugsrahmen kennen wir aus der Experten-Novizen-Forschung und aus der Textforschung. Häufig wird die Bezugsrahmengenerierung den abstrakteren Schemata zugeschrieben, in vielen praktischen Fällen dürften jedoch modellhafte Analogrepräsentationen Anwendung finden (vgl. *Wimmer & Perner* 1979, S. 172).

c) Mentale Modelle extrahieren Bedeutungen (Seel 1986).

Den Begriff der Extraktion gebrauchen auch die Evolutionären Epistemologen, um die Hereinnahme physikalischer Gesetzmäßigkeiten

in den Organismus zum Zweck der optimalen Anpassung auszudrücken (Beispiel Auge, *Riedl* 1988). Im kognitiven Bereich heißt Extraktion von Bedeutungen, daß natürliche und soziale Vorgänge mit Konzepten und Relationsmodellen belegt werden müssen; elektromagnetische Wellen z.B. sind für den naiv Erkennenden (etwa das kleine Kind) zunächst ohne Sinn; sie werden erst durch Konzepte zu handhabbaren Größen wie Licht oder Farbe und so zu Modellbestandteilen des Physikers. Im Alltagsleben wechseln sich die Anwendung vertrauter Modelle und die Einordnung neuer Informationen beständig ab. Für das Lesen spricht man von einer absteigenden, schemageleiteten Bewegung und von einer aufsteigenden, textgeleiteten Bewegung.

d) Beim Problemlösen haben mentale Modelle eine heuristische Funktion. Nach *Dörner* (1976, S. 82ff.) kann es beim Problemlösen hilfreich sein, sich von den konkreten Merkmalen eines Sachverhaltes zu lösen und Modelle oder Analogien als andere Konkretisierungen des abstrakten Prinzips heranzuziehen. In einer Rückübertragung wird geprüft, ob das Modell auf das ursprüngliche Problem paßt. Ein Beispiel ist die Entdeckung des Benzolrings durch *Kékulé* (wenigstens der Legende nach). Ein anderes Beispiel ist die Umsetzung des Problems, ein Wegenetz ohne zweimalige Benutzung eines Weges zu durchfahren, in das Modell eines Fabrikgeländes mit Transportwegen (*Walcher* 1974). Zu beachten ist, daß die Problemlösehilfe nicht nur in der Veranschaulichung besteht, sondern wie beim Extrahieren von Bedeutungen in einer Auf- und Abbewegung zwischen einem allgemeineren Prinzip oder Gesetz und dem konkreten Fall.

Die Funktion mentaler Modelle bei der Wahrnehmung scheint relativ gut geklärt zu sein. Dazu trägt vor allem die Beschreibung von *Seel* (1986) bei, wonach im Arbeitsgedächtnis mentale Modelle konstruiert werden, und zwar einerseits auf der Basis abstrakt-amodalen Wissens aus dem Langzeitgedächtnis und andererseits durch die Verarbeitung von Wahrnehmungsgegebenheiten. Weniger klar ist jedoch die Modalität der Weiterverarbeitung des neuen Wissens. Vermutlich werden Objekte und Merkmale von Sachverhalten amodal codiert, allerdings nicht als isolierte Symbole, sondern eingebettet in ein Bedeutungsnetz. Für das Beziehungswissen nimmt *Aebli* (1981, S. 295ff.) an, daß es in statu nascendi amodal sei. Tatsächlich gibt es gute Gründe, Relationen wie „ist Oberbegriff für“, „ist Folge von“ oder „ist Wurzel aus“ als abstrakt zu charakterisieren. Nach *Aebli* werden diese amodalen Relationen jedoch in der weiteren Verarbeitung modal, sie objektivieren sich und werden in Bildern oder Worten faßbar. Entsprechend dieser Auffassung müßte dann Beziehungswissen ebenso gut im Gedächtnis behalten werden wie das analog repräsentierbare imaginale Wissen (vgl. *Schnotz* 1987, S. 27). Für einen Großteil des Beziehungswissens scheint dies jedoch nicht der Fall zu sein (Beispiel: Die Phänomene Ebbe und Flut können die meisten Menschen rasch bildlich repräsentieren, die Erklärung der Ursache

bereitet jedoch vielen Schwierigkeiten). Offensichtlich muß man doch bereichsspezifische, unterschiedliche Codierungsmodalitäten annehmen.

3. Zur Kongruenz von Medium, mentalem Modell und Denkstruktur

Wir haben bisher festgestellt, daß *mentale Modelle* kognitive Repräsentationen von Bezugssystemen sind, die in einer von Erkenntniskategorien und vom Langzeitgedächtnis determinierten Suchbewegung entstehen (Abb.2).

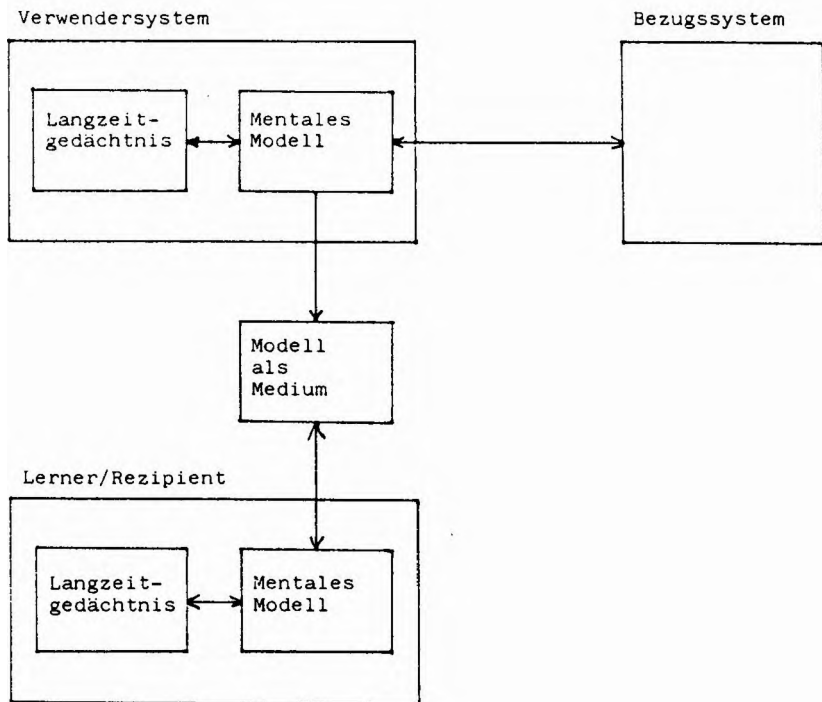


Abb. 2: Konstruktivistisches Modell zum Verhältnis Realität (Bezugssystem), mentales Modell, Modell als Medium
(unter Verwendung von Begriffen *Neugebauers* 1980).

Das *Modell als Medium* ist kein simples Abbild des Bezugssystems, sondern es wird durch erkenntnisschaffende Individuen oder Gruppen konstruiert, z.B. durch Wissenschaftler, Didaktiker, Medienproduzenten, Lehrer, der Einfachheit halber (in Abb. 2) eine Konstruktion des „Verwendersystems“ genannt (nach *Neugebauer* 1980). Die alte mediendidaktische Frage lautet nun, ob Modelle als Medien so gestaltet werden können, daß sie den Aufbau mentaler Modelle bei Lernern oder Rezipienten erleichtern und vor allem zur optimalen Langzeitcodierung

beitragen. Die Frage scheint trivial zu sein, verwenden doch Lehrer, Schulbuchautoren, Fernsehmoderatoren usw. tagaus tagein dreidimensionale Modelle sowie Bilder, Schemata, Skizzen usw., um bei Lernern oder Zuschauern Vorstellungen und kognitive Strukturen zu generieren. Die mediendidaktische Kernfrage erneut aufzuwerfen, ist jedoch insofern berechtigt, als (1) ein oberflächliches und irreführendes Medien-Abbildverständnis vorliegen kann, das der eigentlich erforderlichen strukturellen Kongruenz unangemessen ist, und (2) letztlich nicht geklärt ist, mit welcher Modalität der Aufbau abstrakter semantischer Netzwerke unterstützt wird. Studien, in denen Modelle als Medien und die Analogiemethode verwendet wurden und die negativ ausgingen, zeigen, daß man es auch falsch machen kann.

Zunächst jedoch drei Untersuchungen, mit denen die unterstützende Funktion analoger Repräsentationshilfen belegt werden konnte. *Bryant & Trabasso* (1971) stellten 5/6jährigen Kindern Transitivitätsaufgaben, die Kinder in dieser Altersstufe normalerweise nicht lösen können. Es ging um Probleme vom Typ: Der rote Stab ist länger als der gelbe. Der gelbe Stab ist länger als der grüne. Welcher Stab ist länger: der rote oder der grüne? Wenn die Kinder zunächst mit jeweils zwei Stäben Längenverhältnisse lernen konnten, lösten sie auch Aufgaben mit 6 Stäben erfolgreich; Entscheidungen zu weit auseinanderliegenden Elementen erfolgten rascher als Entscheidungen zu benachbarten Elementen. Die Autoren schließen daraus, daß die Kinder eine Art „innere geistige Grundlinie“ für die Stäbe bildeten, also analog repräsentierten. Bei logisch-formalen Transitivitätsschlüssen müßten Entscheidungen zu weit auseinanderliegenden Stäben länger dauern, da mehr Prämissen zu berücksichtigen sind.

Bei *Dörner* (1976) finden wir je eine Untersuchung zur Analogiemethode und zur Modellbildung. Im einen Fall mußten die Versuchspersonen eine L-förmige Fläche in 4 gleich große Teilflächen aufteilen. Wenn im Raum Objekte aufgehängt waren, die in irgendeiner Weise analog die Lösung andeuteten, z.B. Fluglinien auf einer USA-Karte, waren die Versuchspersonen erfolgreicher. Die andere Studie ist die schon erwähnte Arbeit von *Walcher* (1974) zum Durchfahren eines Wegenetzes. Bei abstrakter Aufgabenstellung, d.h. wenn nur vorgegeben wurde, ein Netz nachzuzeichnen, ohne einen Strich zu wiederholen, waren die Versuchspersonen weniger erfolgreich, als wenn die Aufgabe in ein Modell eingebettet war, nämlich die Vorstellung eines Fabrikgeländes mit Transportwegen.

Analogieschlüsse sind induktive Schlüsse und können deshalb falsch sein. Allein aus diesem Grund ist gegenüber der Analogiemethode Vorsicht geboten. Wer von der Form des Wals darauf schließt, es handle sich um einen Fisch, läßt sich induktiv von einem Merkmal in die Irre führen. Ein Beispiel für das Nichtfunktionieren der Analogiemethode ist die Frage: „Die First Lady der USA heißt Nancy Reagan. Wie heißt die First Lady von Großbritannien?“ (*Schaefer* 1985, S. 91). Für den

Mediendidaktiker beunruhigender muß sein, daß eine Studie von *Jülisch & Krause* (1976) ein Ergebnis erbrachte, das dem von *Walcher* (1974) zum Liniendurchfahren völlig widerspricht. Bei der Problemstellung, Missionare und Kannibalen in einer vorgeschriebenen Weise über einen Fluß zu transportieren, schnitten die Versuchspersonen signifikant besser ab, die das Problem als abstrakte Logikaufgabe erhielten, als solche, die die eingekleidete Aufgabe mit Halma-Steinen als Spielfiguren sowie einer Ufer- und Flußdarstellung zur Verfügung hatten. Erinnert sei auch an die Untersuchung von *Mani & Johnson-Laird* (1982): Versuchspersonen erhielten eindeutige Lageangaben, wie z.B. Teller rechts vom Messer (Abb. 3a), und uneindeutige Lageangaben, wie z.B. Teller rechts vom Löffel (Abb. 3b).

a)		Löffel	Messer	Teller		
		Gabel	Tasse			
b)	Löffel	Messer	Teller	Löffel	Teller	Messer
	Gabel	Tasse		Gabel		Tasse

Abb. 3a und 3b: Eindeutige und uneindeutige Lageangaben führen zu unterschiedlichen Repräsentationen (*Mani & Johnson-Laird* 1982).

Anschließend mußten die Versuchspersonen Aussagen daraufhin prüfen, ob sie richtig oder falsch und ob sie Beschreibungs- oder Schlußfolgerungssätze seien. Ergebnis war, daß bei eindeutigen Lagebeziehungen richtig und falsch besser erkannt wurde und daß bei uneindeutigen Lagebeziehungen die Unterscheidung von Beschreibungs- und Schlußfolgerungssätzen besser gelang. Die Autoren erklären dies mit unterschiedlichen Repräsentationsmodi: Bei schwierigen Problemen wird die Analogrepräsentation aufgegeben und die Lösung auf der Grundlage abstrakt-formaler Repräsentation gesucht.

Was ist aus den widersprüchlichen Ergebnissen abzuleiten? Offensichtlich sind mediale Modelldarstellungen nicht in jedem Falle kongruente Hilfen bei der Informationsverarbeitung. Bei den Transitivitätsschlüssen handelt es sich um Längenvergleiche, bei der Flächenaufgabe und beim Wegenetzproblem um topologische Strukturen. Die angesprochenen Sach- und Denkstrukturen sind räumlicher Natur, und in diesen Fällen ist die Analogrepräsentation in Modellen und die Förderung interner mentaler Modelle wohl angemessen. Bei der Fisch-Wal-Analogie und bei der First-Lady-Analogie sind die Sachstrukturen jeweils nicht vergleichbar; die Analogiebildung hilft nicht, weiterführend ist nur die Elaboration der Wissensstrukturen. Die Untersuchung von *Jülisch & Krause* (1976) ist in der Weise zu interpretieren, daß das konkrete Modell „Missionare, Kannibalen, Ufer, Boot usw.“ eine inkongruente Darstellung der eigentlich dahinterstehenden logischen Struktur des Sachverhalts ist. Die Autoren berichten tatsächlich von aufgabenirrele-

vanten Äußerungen der Versuchspersonen, die mit der konkreten Einkleidung zusammenhängen (z.B. „mit den Missionaren vorsichtig umgehen“, „den Kannibalen keinen Appetit machen“). In der Studie von *Mani & Johnson-Laird* (1982) ging es zwar um Lagebeziehungen, jedoch mußten im Falle der uneindeutigen Relationen die Versuchspersonen mit flexiblen Strukturen operieren, was besser mit propositionaler Repräsentation, z.B. mit abstrakten Pfeilen, gelang (vgl. Abb. 4).

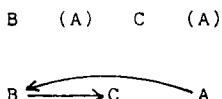


Abb. 4: Mögliche propositionale Repräsentationen uneindeutiger Lageangaben (nach *Johnson-Laird* 1983).

Es genügt also nicht, eine Kongruenz zwischen dem „Modell als Medium“ und dem „mentalenn Modell“ zu fordern. Letztlich muß die Kongruenz auf die angestrebten Denkopoperationen zielen, also eine Entsprechung zwischen Medium und Denk- oder Sachstruktur hergestellt werden. Zurecht sprechen *Aebli* (1981), *Strittmatter & Seel* (1984) u.a. von mentalen Modellen als internen *Medien*. Die mediale Vorstellung ist nicht das Denken selbst. Sie ist nur das Hilfsmittel für das Denken. Zwischen den Wahrnehmungsstrukturen (vgl. Abb. 3b) und den Denkstrukturen (vgl. Abb. 4) ist zu unterscheiden (*Strittmatter & Seel* 1984, S. 12). Wenn die Sachstruktur nichträumliche, abstrakte Relationen aufweist, können konkretisierende Modellvorstellungen stören. Nach *Vollmer* (1986) kann man die Fehlleistungen von Oberstufenschülern, die jahrelang Physikunterricht hatten, bei der Lösung physikalischer Aufgaben mit der Anwendung falscher Modelle erklären. Es werden vor-*Newtonsche* Modelle und Alltagsvorstellungen herangezogen, die mit den Mechanismen der Erkenntnis des Mesoraumes zusammenhängen. Der Autor fordert deshalb für den Unterricht nicht nur den Aufbau neuer Denkgebäude, sondern auch das gezielte „Zerstören und Beiseiteräumen älterer Überzeugungen“ (S. 53).

4. Mediendidaktische Folgerungen

Die neueren Kognitions- und Informationsverarbeitungstheorien fassen die kognitiven Strukturen des Langzeitgedächtnisses als abstrakte, amodale Repräsentationen, als symbolisierte Tiefenstrukturen, als semantische Netzwerke auf. Aus diesem Grund kommt den Medien außer der Veranschaulichungsfunktion in stärkerem Maße, als dies bisher gesehen wurde, die Aufgabe zu, den Prozeß der symbolisierenden Tiefenverarbeitung zu unterstützen. Eine Schlüsselstellung nehmen

dabei die mentalen Modelle ein: wegen ihrer gemischten Repräsentationsform mit Analogrepräsentationen und symbolischen Darstellungen haben sie eine Brückenfunktion zwischen den konkreten Fällen und Aufgabenstellungen einerseits und den zugrundeliegenden abstrakten Strukturen andererseits. Ein schönes Beispiel dafür liefert die bekannte Untersuchung von Dwyer (1969) zur Visualisierung der Funktion des menschlichen Herzens, in der eine schematische Darstellung mit eingefügten Begriffen zur besten Verarbeitung führte.

Wenn die Sachstrukturen sehr abstrakt sind, können — wie erwähnt — Modelle hinderlich sein, vor allem wenn sie unangemessene räumliche oder semantische Vorstellungen assoziieren. In der Studie von Jülisch & Krause (1976) mußten die Versuchspersonen allerdings Grundzüge der Vektoralgebra kennen, um das Missionars-/Kannibalenproblem ohne Modelldarstellung zu lösen. Dieser Umstand wirft unweigerlich die Frage auf: Welche Voraussetzungen führen dazu, daß im einen Fall Lerner direkt zur abstrakten Lösung vorstoßen können und im anderen Fall mediale Zwischenschritte einzufügen sind? Grundschüler hätten das Missionars-/Kannibalenproblem sicher nicht in vektoralgebraischer Darstellung lösen können, es hätte einer Einkleidung und räumlichen Analogie bedurft, wenn auch nicht gerade der ablenkenden Semantik des Gefressenwerdens. Mit Voraussetzungen sind nicht nur das Alter und die Symbolisierungsfähigkeit, sondern auch inhaltliche Vorerfahrungen gemeint. Jülisch & Krause (1976) berichten von einer Untersuchung mit einer vergleichbaren Aufgabenstellung, die als ökonomisches Problem eingekleidet war. Dabei lösten Wirtschaftsfachleute die Aufgabe in eingekleideter Form schneller als in abstrakter Form.

In systematischer Betrachtungsweise müssen wir also mindestens dreifach fragen: Mediale Darstellung für wen, für welche Sachstrukturen bzw. Denkopoperationen und für welchen Zielbereich (vgl. Abb. 5)?

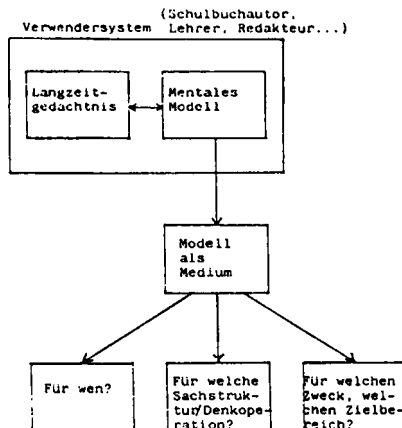


Abb. 5: Fragerichtungen einer differentiellen oder Mikro-Mediendidaktik.

Die zentrale Frage der Mediendidaktik kann nicht mehr in der alten pauschalierenden Weise lauten: Welches Medium ist besser, oder wähle ich für Thema x eine Hörszene, Dias oder einen Film aus? Vielmehr ist differentiell zu fragen: Ist das Medium geeignet, für eine spezifische Lernergruppe mit bestimmten Vorerfahrungen je nach angestrebtem Zielbereich Vorstellungen zu erzeugen, eine abstrakte begriffliche Verarbeitung einzuleiten bzw. zum Aufbau relationaler semantischer Tiefenstrukturen beizutragen?

Im folgenden sollen die drei Teilfragen mit Beispielen erläutert werden:

a) Mediale Darstellung für wen?

In einer Untersuchung in 10 Klassen der 4. Jahrgangsstufe haben wir versucht, den Erwerb biologischen Relationswissens mit Netzwerkdarstellungen zu unterstützen (*Treinius, Einsiedler & Glumpler 1987*) (vgl. Abb. 6).

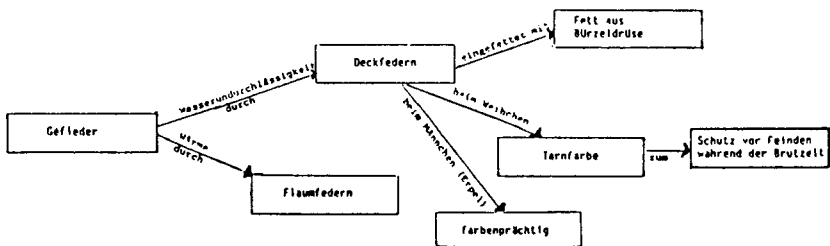


Abb. 6: Beispiel einer relativ abstrakten Netzwerkdarstellung zum Thema „Anpassung der Stockente an ihre Umwelt“.

Die Schüler erhielten Arbeitsbogen, auf denen sie Leerstellen in Bedeutungsnetzen ausfüllten. Entsprechend den Netzwerktheorien von *Norman & Rumelhart (1978)*, *Aebli (1980; 1981)* u.a. würden die Schüler damit ganz nahe an der typischen Codierungsform für sachunterrichtliches Beziehungswissen arbeiten. Die Ergebnisse bestätigen diese Auffassung jedoch nicht: Nur eine ganz kleine Gruppe leistungsstarker Schüler schnitt nach der Durcharbeitung der Netz-Präsentationsform besser ab als bei den Vergleichsmethoden. Wir vermuten, daß unsere Netzwerkdarstellung zu abstrakt war, mentale Modelle im eigentlichen Sinne nicht induzierte, da imaginale Vorstellungshilfen fehlten. Für eine Folgeuntersuchung haben wir deshalb die Netzwerkdarstellungen mit Bildern und stilisierenden Zeichnungen angereichert, um das Medium besser die Brückenfunktion zwischen konkretem Sachverhalt und abstraktem Relationswissen erfüllen zu lassen (Abb. 7).

b) Mediale Darstellung für welche Sachstruktur?

Die Untersuchungen zur Analogrepräsentation von *Shepard (1978)*, *Kosslyn (1980)*, *Johnson-Laird (1983)* u.a. legen nahe, bei Aufgaben mit räumlicher Sachstruktur analoge Modellvorstellungen zu verwenden, bei reinen Logikaufgaben, z.B. Syllogismen, mit Modellen jedoch eher

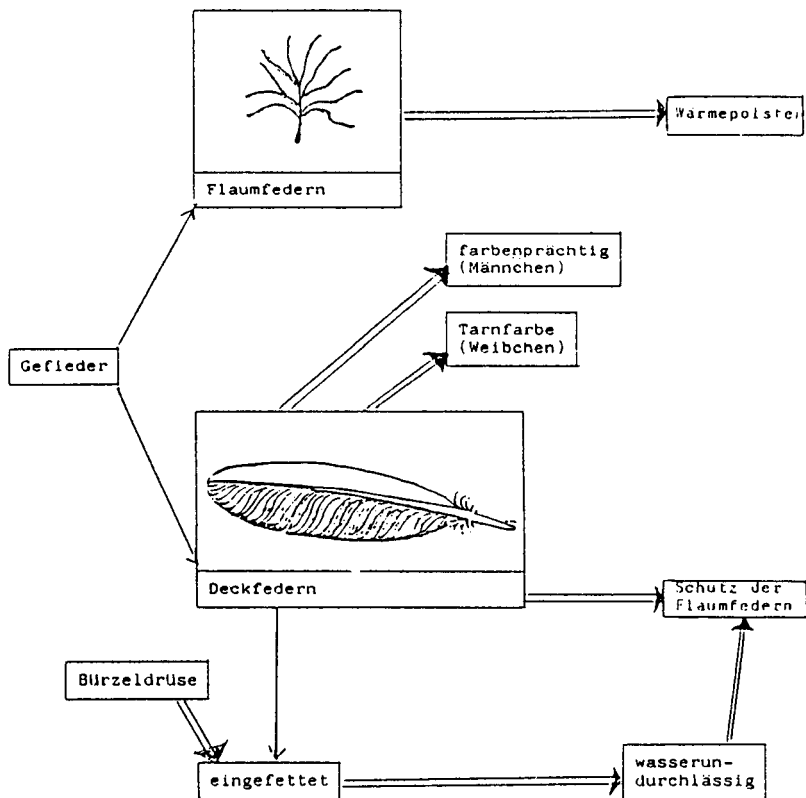


Abb. 7: Beispiel einer Netzwerkdarstellung zum Thema „Stockente“ im Sinne eines mentalen Modells.

zurückhaltend zu sein. Vermutlich muß man noch weiter differenzieren und innerhalb jedes Strukturbereichs (Ursache-Wirkungs-Strukturen in Physik, Motivstrukturen in Geschichte usw.) spezifische Überlegungen zur medialen Form anstellen. Z.B. gibt es innerhalb des Bereichs biologischer Funktionsaussagen wieder unterschiedliche Wissenstypen, bei denen im einen Falle, etwa beim menschlichen Herzen oder bei der Funktion des Wiesensalbeis, relativ konkrete Schemazeichnungen und im anderen Fall, etwa bei Anpassungsprinzipien oder natürlichen Kreisläufen, abstrakte Pfeildiagramme angemessen sind.

c) *Mediale Darstellung für welchen Zweck und für welchen Zielbereich?*
 Nach *Neugebauer* (1980) kann ein Modell umso zweckmäßiger sein, je mehr es sich vom Bezugssystem unterscheidet. In Straßenkarten sind z.B. die Autobahnen nicht in maßstäblicher Breite, sondern überdimensioniert eingetragen; deshalb sind sie zweckmäßiger als völlig analoge Karten. Ein anderes Beispiel sind Pictogramme, die das Bezugssystem nur noch stilisierend abbilden, jedoch ihren Zweck als Wegweiser

erfüllen. Für einen anderen Zweck ist dieses weite Abrücken vom Bezugssystem wiederum ungeeignet. So sehen wir im Fernsehen pictogrammartige Darstellungen zu statistischen Veränderungen, z.B. zu Arbeitslosenzahlen oder zur Rentenerhöhung. Diese meist überschematisierenden Graphiken haben kaum Informationswert, sie erfüllen ihren Zweck nicht. Auch im Unterricht ist der Zweck oder besser der Zielbereich das wichtigste Entscheidungskriterium. Schöne Bilder, Stopfpräparate oder filmische Personifizierungen machen u.U. ein Wirklichkeitsfeld anschaulich, führen aber nicht zwangsläufig zur Erkenntnis der Sachstruktur. Ein abstrahierendes Modell, das akzentuiert und Relationen herausstellt, kann evtl. zielführender sein.

Die hier vertretene differentielle oder mikromediendidaktische Konzeption geht wesentlich weiter als der ATI-Ansatz; sie bezieht unterschiedliche Lehrstoffstrukturen und Zielbereiche ein. Im Hinblick auf die Lerner sollen auch nicht wie beim ATI-Ansatz Schülereigenschaften oder Medienpräferenztypen als Entscheidungskriterien gelten, sondern Vorwissen und vorhandene Fähigkeiten. Die verschiedenen Zielbereiche und die fast unüberschaubare Menge unterschiedlicher Sachstrukturen verweisen eindeutig auf die Notwendigkeit einer curricular ausgerichteten mediendidaktischen Forschung. Da es nicht möglich ist, für jedes Thema unter verschiedenen Zielstellungen und hinsichtlich unterschiedlicher Schülervoraussetzungen Medienforschung zu betreiben, scheint der sinnvollste Weg zu sein, im Sinne von Untersuchungsreihen (vgl. Klauer 1980) theoriegeleitet zu *typischen Lerner-Sachstruktur-Ziel-Konstellationen* jeweils Medienvarianten zu überprüfen und so zu *exemplarischen präskriptiven Aussagen* zu gelangen.

Um die Komplexität des mediendidaktischen Forschungsfeldes zu reduzieren und um praktische Entscheidungen handhabbarer zu machen, soll abschließend ein vereinfachendes Zwei-Phasen-Entscheidungsmodells aufgezeigt werden. Es knüpft an die erkenntnistheoretischen Ausgangsüberlegungen an, wonach die sinnlichen Wahrnehmungen in einem Wechselwirkungsverhältnis mit abstrakteren „Vorausurteilen“, Erwartungen und Bedeutungen stehen. Abgesehen von Mathematik beziehen sich die abstrakten Bedeutungen bei einem Großteil der Lehrstoffe auf konkrete Wahrnehmungsinhalte. In einem ersten Schritt ist daher jeweils zu fragen: Muß durch direkte Anschauung oder durch Medien ein Bezugsrahmen geschaffen werden? Müssen Ankerreize bereitgestellt werden? Kann ein Film oder ein Bild im Sinne eines „Advance organizer“ wirken? Die Untersuchung von Dean & Enemoh (1983), in der vor dem Textlernen über das Thema „Mäandrischer Flußlauf“ ein entsprechendes Foto durchgearbeitet wurde, was zu besserem Lernerfolg führte, ist hier einzuordnen. Um mit Kant zu sprechen: „Begriffe ohne Anschauungen sind leer“. In einem zweiten Schritt ist in Richtung auf die abstrakt-propositionale Verarbeitung zu fragen: Sind gemischt imaginal-symbolische Darstellungen, Schemazeichnungen, Graphiken usw. geeignet, ein mentales Modell

aufzubauen, den Übergang vom konkreten Fall zur semantischen Struktur zu unterstützen, den abstrakten Bedeutungskern zu extrahieren? Wieder in Anknüpfung an *Kant*, aber um *Norman & Rumelhart* erweitert: „Anschauungen ohne Begriffe und vor allem Anschauungen ohne Symbolisierung in semantischen Netzwerken sind blind“.

Anmerkungen

- ¹ Referat zum Symposium „Medien in institutionalisierten Lehr-Lern-Prozessen“ auf dem Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaften in Saarbrücken am 21.3.1988.
- ² Zur Funktion von Modellen und Analogien beim Wahrnehmen und Problemlösen liegt inzwischen die Arbeit von *Seel* (1989) vor.

Literatur

- AEBLI, H. (1980): Denken: Das Ordnen des Tuns. Bd. 1: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie. Stuttgart: Klett-Cotta.
- AEBLI, H. (1981): Denken: Das Ordnen des Tuns. Bd. 2: Denkprozesse. Stuttgart: Klett-Cotta.
- BLANKERTZ, H. (1969): Theorien und Modelle der Didaktik. München: Juventa.
- BREZINKA, W. (1984): „Modelle“ in Erziehungstheorien. *Zeitschrift für Pädagogik* 30, 835-858.
- BRYANT, P.E. & TRABASSO, T. (1971): Transitive inferences and memory in young children. *Nature* 232, 456-458.
- DEAN, R.S. & ENEMOH, P.A.C. (1983): Pictural organization in prose learning. *Contemporary Educational Psychology* 8, 20-27.
- DÖRNER, D. (1976): Problemlösen als Informationsverarbeitung. Stuttgart: Kohlhammer.
- DWYER, F.M. (1969): Adapting visual illustrations for effective learning. In: Anderson, R.C. et al. (Eds.): Current research on instruction. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 256-264.
- GENTNER, D. & STEVENS, A.L. (Eds.) (1983): Mental models. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- v. GLASERSFELD, E. (1985): Einführung in den radikalen Konstruktivismus. In: Watzlawick, P. (Hg.): Die erfundene Wirklichkeit. München: Piper, 16-38.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983): Mental models. Cambridge: University Press.
- JÜLISCH, B. & KRAUSE, W. (1976): Semantischer Kontext und Problemlösungsprozesse. In: Klix, F. (Hg.): Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse. München: Kindler, 274-301.
- KANT, I. (1781): Kritik der reinen Vernunft. (Immanuel Kants Werke, hg. von Ernst Cassirer. Berlin 1912).
- KLAUER, K.J. (1980): Experimentelle Unterrichtsforschung. *Unterrichtswissenschaft* 8, 61-72.
- KOSSLYN, St.M. (1980): Image and mind. Harvard: University Press.
- LORENZ, K. (1943): Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung. *Zeitschrift für Tierpsychologie* 5, 235-409.
- MANI, K. & JOHNSON-LAIRD, P.N. (1982): The mental representation of spatial descriptions. *Memory and Cognition* 10, 181-187.
- NEUGEBAUER, W. (1977): Modelle im Unterricht. In: Neugebauer, W. (Hg.): Fachdidaktisches Studium in der Lehrerbildung. Wirtschaft II. München: Oldenbourg, 264-297.

- NEUGEBAUER, W. (1980): Didaktische Modellsituationen. In: Stachowiak, H. (Hg.): Modelle und Modelldenken im Unterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 50-73.
- NORMAN, D.A. (1983): Some observations on mental models. In: Gentner, D. & Stevens, A. (Eds.): Mental models. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 7-14.
- NORMAN, D.A. & RUMELHART, D.E. (Hg.) (1978): Strukturen des Wissens. Stuttgart: Klett-Cotta.
- NUTHALL, G. & SNOOK, I. (1977): Modelle des Lehrens. In: Loser, F. & Terhart, E. (Hg.): Theorien des Lehrens. Stuttgart: Klett, 50-97.
- PIAGET, J. (1969): Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde. Stuttgart: Klett.
- PLYSHYN, Z. W. (1973): What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin* 80, 1-24.
- RIEDL, R. (1985): Die Folgen des Ursachendenkens. In: Watzlawick, P. (Hg.): Die erfundene Wirklichkeit. München: Piper, 67-90.
- RIEDL, R. (1988): Biologie der Erkenntnis. München: dtv.
- RUMELHART, D.E. (1980): Schemata: The building blocks of cognition. In: Spiro, R.J., Bruce, B.C. & Brewer, W.F. (Eds.): Theoretical issues in reading comprehension. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 33-58.
- RUPRECHT, H. (1972): Modelle grundlegender didaktischer Theorien. Hannover: Schroedel.
- SCHAEFER, R.E. (1985): Denken. Berlin: Springer.
- SCHNOTZ, W. (1987): Textverstehen als Aufbau mentaler Modelle. Tübingen: Dt. Institut für Fernstudien.
- SEEL, N.M. (1986): Wissenserwerb durch Medien und „mentale Modelle“. *Unterrichtswissenschaft* 14, 384-401.
- SEEL, N.M. (1989): Die Rekonstruktion von Weltwissen mit Hilfe mentaler Modelle und ihre Beeinflussung durch Instruktion und Medien. Berlin: Springer.
- SHEPARD, R.N. (1978): The mental image. *American Psychologist* 33, 125-137.
- STRITTMATTER, P. & SEEL, N.M. (1984): Externe und interne Medien: Konzepte der Medienforschung. *Unterrichtswissenschaft* 12, 2-17.
- TREINIES, G., EINSIEDLER, W. & GLUMPLER, E. (1987): Auswirkungen unterschiedlicher Methoden der Wissensstrukturierung im Unterricht. Nürnberg: Institut für Grundschulforschung der Universität Erlangen-Nürnberg.
- VOLLMER, G. (1983): Evolutionäre Erkenntnistheorie. Stuttgart: Hirzel (4. Auflage).
- VOLLMER, G. (1986): Wissenschaft mit Steinzeitgehirnen? In: von Ditfurth, H. (Hg.): Mannheimer Forum. Ein Panorama der Naturwissenschaften. Mannheim: Boehringer, 9-61.
- WALCHER, P. (1974): Eine psychologische Untersuchung der Begriffe Anschauung, Anschaulichkeit und Veranschaulichung. Kiel: Dissertation.
- WEIDENMANN, B. (1988): Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern. Bern: Huber.
- WEIL, M. & JOYCE, B.R. (1978): Information processing models of teaching. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- WIMMER, H. & PERNER, J. (1979): Kognitionspsychologie. Stuttgart: Kohlhammer.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Wolfgang Einsiedler, Institut für Grundschulforschung,
Universität Erlangen-Nürnberg, Regensburger Straße 160, 8500 Nürnberg 30.