

**Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten im Unterricht: Versuche zu einer
alternativen Lehrstrategie**

Lompscher, Joachim

Inhaltsverzeichnis

0.	Vorwort	5
1.	Ausgangsabstraktionen und Konkretisierungsreihen	9
1.1	Naturkunde/Biologie/Physik	9
1.2	Geographie	16
1.3	Mathematik	20
2.	Lernaufgaben und Lernhandlungen	25
2.1	Naturkunde/Biologie/Physik	26
2.2	Geographie	31
2.3	Mathematik	33
3.	Gestaltung der Lerntätigkeit	36
3.1	Naturkunde/Biologie/Physik	37
3.2	Geographie	53
3.3	Mathematik	58
4.	Lernergebnisse	70
4.1	Verstehen von Naturvorgängen	73
4.2	Verstehen geographischer Sachverhalte	85
4.3	Lösen mathematischer Sach- und Anwendungsaufgaben	91
5.	Nachwort	102
<u>Anhang</u>		
	Literaturverzeichnis	103

0. Vorwort

Seit den siebziger Jahren haben wir uns bemüht, in pädagogisch-psychologischen Untersuchungen neue Ansatzpunkte für die Gestaltung und Ausbildung der Lerntätigkeit zu finden und damit gewissermaßen Alternativen zur bisher an unseren Schulen vorherrschenden Lehrplan- und Unterrichtskonzeption zu finden. Natürlich kann das nicht allein aus psychologischer Sicht erfolgen. Leider ist es trotz mehrfacher Angebote und Vorschläge unsererseits nicht zu einer Kooperation mit Didaktikern und Fachmethodikern in dieser Hineicht gekommen« So waren wir gezwungen, die didaktisch-methodischen und fachwissenschaftlichen Aspekte, so gut es ging, mit zu berücksichtigen bzw. zu bearbeiten. Einen wesentlichen Anteil daran hatten Aspiranten, die als ehemalige Fachlehrer Unterrichtsversuche im Rahmen unserer Konzeption der Lerntätigkeit und ihrer Ausbildung ausgearbeitet, gemeinsam mit Lehrern unserer Forschungsschule (Max-Kreuziger-Oberschule Berlin-Friedrichshain) durchgeführt und ausgewertet und die Versuchsmaterialien auf dieser Grundlage weiterentwickelt haben.

Die Unterrichtsversuche wurden zwischen 1978 und 1985 durchgeführt, zum Teil werden sie auch gegenwärtig weitergeführt. Eine ausführliche Darstellung der theoretischen Grundlagen und einiger Aspekte dieses Forschungsvorhabens haben wir in einer Monographie eines Autorenkollektivs veröffentlicht (Psychologische Analysen der Lerntätigkeit 1989). Darüber hinaus war 1986 eine zusammenfassende Darstellung der Anlage, Realisierung und Ergebnisse der einzelnen Unterrichtsversuche - auf der Grundlage einer größeren Anzahl von Dissertationen und Forschungsberichten - fertiggestellt worden, deren Publikation von der damaligen Leitung der Akademie der Pädagogischen Wissenschaften der DDR (APW) - nach einer ziemlich kontroversen Diskussion für und wider dieses Projekt (Materialien 1986) - abgelehnt wurde. Dabei spielte das Argument eine entscheidende Rolle, die - "an sich bemerkenswerten" - Forschungsergebnisse würden die Lehrer von der Aneignung und Umsetzung des neuen Lehrplanwerks ablenken. Das Argument

bedarf keines Kommentars, es spricht selbst für - oder besser gesagt - gegen sich! Wenn wir uns heute darum bemühen, die Enge der bisherigen Bildungs- und Erziehungs- (und Wissenschafts-!) -konzeption zu überwinden, um die These von der Subjektposition des Schülers im Unterricht wirklich und konsequent zu realisieren und ein wesentlich höheres Niveau der Unterrichtsqualität und -effektivität (und -attraktivität für die Schüler!) zu erreichen, brauchen wir unterschiedliche Ansatzpunkte und Konzeptionen, ihren Vergleich, eine schöpferisch-konstruktive Diskussion über ihre Potenzen und Grenzen. Als ein Angebot dafür möchte auch die jetzige Publikation des Manuskripts von 1986 verstanden sein. Es geht dabei weniger um die in den einzelnen Unterrichtsversuchen verwendeten Ausgangsabstraktionen und deren unterrichtliche Umsetzung - dazu gab es z. T. Bedenken aus fachwissenschaftlicher und lehrplantheoretischer Sicht (die vielleicht rechtzeitig hätten berücksichtigt und überwunden werden können, wenn es zu der von uns angestrebten Zusammenarbeit in der Forschung gekommen wäre). Viel wichtiger und aktueller ist das prinzipielle Herangehen an die Lerntätigkeit und ihre Ausbildung.

Gestützt vor allem auf die Arbeiten von Dawydow (1977) (1986) und von anderen sowjetischen Psychologen und in enger Kooperation mit ihnen (vgl. Ausbildung der Lerntätigkeit bei Schülern 1982) haben wir eine Lehrstrategie erarbeitet und realisiert, die wir als Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten (A → K) - in Anlehnung an die bekannte erkenntnis- und wissenschafts-theoretische Formulierung von Karl Marx - bezeichnet haben. Das hat manches Mißverständnis hervorgerufen, weil einerseits empirisch-sensualistische Auffassungen noch weit verbreitet sind ("Es muß doch sicher heißen: Aufsteigen von Konkreten zum Abstrakten!") und weil andererseits die Akzentuierung des entscheidenden Abschnitts des Erkenntnisprozesses für die Kennzeichnung des Ganzen genommen wurde und weil schließlich die Begriffe "abstrakt" und "konkret" nicht in ihrer erkenntnistheoretischen, sondern in ihrer alltagssprachlichen Bedeutung verstanden wurden (z. B. synonym zu

unanschaulich – anschaulich, schwierig – einfach, Allgemeines - Einzelnes). Es würde zu weit führen, die theoretische Konzeption hier zu erläutern. Dazu verweise ich auf die bereits angeführte Literatur und auf einen Beitrag in "Pädagogische Forschung" 6/1987 (Hinz/Lompscher/Scheibe 1987).

Natürlich kann eine Lehrstrategie bzw. ein Forschungsprojekt nicht alle Aspekte und Probleme der Unterrichtsgestaltung erfassen, geschweige denn bewältigen. Unser Schwerpunkt lag auf Bedingungen für die Ausbildung elementaren theoretischen Denkens - in Wechselbeziehung mit empirischem - und die Aneignung wissenschaftlicher Begriffe bzw. Begriffssysteme, die Befähigung zum Problemlösen und die Entwicklung kognitiver Lernmotive. Dazu war es vor allem erforderlich, die Schüler zu aktiver und bewußter Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Lerngegenstand anzuregen und die dafür notwendigen, aber noch nicht ausreichend vorhandenen psychischen Voraussetzungen systematisch bei ihnen auszubilden. Das gelingt weder durch bloße Forderung ("Denkt gründlich nach! Seid aufmerksam!" und dergleichen) noch durch Übermittlung fertiger Begriffe, Methoden usw. Entscheidender Ansatzpunkt ist die eigene Tätigkeit der Lernenden, ihre kognitive und motivationale Regulation, ihre entwicklungsfördernde Gestaltung. Dazu kann - wie die Erfahrungen und Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen belegen - die Lehrstrategie A → K einen wesentlichen Beitrag leisten.

Unsere Untersuchungen wurden vornehmlich in den Klassen 4 und 5 durchgeführt, da wir davon ausgingen, daß in der Mittelstufe unausgeschöpfte Reserven der psychischen Entwicklung vorhanden sind, die es aufzudecken und für die Entwicklungsförderung zu nutzen gilt. Der Gültigkeitsbereich der Lehrstrategie ist allerdings durchaus nicht auf diese Schul- oder Altersstufe beschränkt. Untersuchungen anderer Autoren haben Anwendungsmöglichkeiten und Lernergebnisse in der Unterstufe, in der Oberstufe, in der Berufsausbildung u. a. nachgewiesen. Spezifische Potenzen der Lehrstrategie sind z. B. auch in der Abiturstufe zu erwarten, wenn das dort erreichte Entwicklungsniveau und das Ziel einer intensiven Hochschulvorberei-

tung differenziert zugrunde gelegt werden.

Bei der Ausarbeitung und praktischen Realisierung unserer Unterrichtsversuche in unterschiedlichen Gegenstandsbereichen haben wir uns immer von der Einheit von Lerntätigkeit und Lerngegenstand leiten lassen: Die zur Aneignung eines Lerngegenstands, bezogen auf ein konkretes Entwicklungsniveau der Lernenden erforderliche Lerntätigkeit muß dem jeweiligen Lerngegenstand adäquat sein und von daher "konstruiert" werden. Die "Konstruktion" des Lerngegenstands selbst kann jedoch nicht unabhängig von der Lerntätigkeit erfolgen, da er so gestaltet und strukturiert werden muß, daß seine Aneignung durch gegenstandsadäquate Lerntätigkeit entsprechend den Voraussetzungen und Möglichkeiten der Lernenden überhaupt realisierbar wird. Diese Wechselbeziehung kann bei der Darstellung, die eine bestimmte Abfolge realisieren muß, nur andeutungsweise gekennzeichnet werden, ist also ständig mitzudenken. Gleiches gilt für die auf der Einheit von Lerngegenstand und Lerntätigkeit beruhende Einheit und Wechselbeziehung fachspezifischer und pädagogisch-psychologischer Aspekte der Analyse und Gestaltung von Gegenstand und Tätigkeit.

1. Ausgangsabstraktionen und Konkretisierungsreihen

Es sollen solche Bedingungen für die Lerntätigkeit geschaffen werden, daß die Schüler zunächst die für einen möglichst großen Lerngegenstandsbereich konstituierenden, wesentlichen, allgemeinen und zugleich widerspruchsvollen Grundmerkmale und -beziehungen aufdecken und in solcher Form fixieren, daß sie als Mittel des weiteren Eindringens in den Lerngegenstand (Fach, Stoffgebiet) dienen können. Exemplarisch soll dies für einige Gegenstandsbereiche gezeigt werden.

1.1 Naturkunde/Biologie/Physik

Ausgehend von den in den Klassen 1-3 und im Alltagsleben erworbenen Kenntnissen über Einzelercheinungen und elementare Zusammenhänge in der Natur sollten die Schüler in Klasse 4 in elementarer Form in die Naturwissenschaften eingeführt, d. h. an eine dem wissenschaftlichen Herangehen an die Natur adäquate Lerntätigkeit herangeführt werden und dabei das Bewußtsein gewinnen, daß sie im Vergleich zur Unterstufe ein höheres Niveau ihrer Lerntätigkeit erreichen. Zur Vorbereitung auf den Fachunterricht in Physik, Chemie und Biologie sollten die Schüler auf grundlegende, für diese Wissenschaftsgebiete gemeinsame Merkmale und Beziehungen orientiert werden. Der dazu von Irmscher (1982) erarbeitete und erprobte, etwa 30 Stunden umfassende Unterrichtsversuch Naturkunde (im Rahmen des Stundenvolumens der Disziplin Heimatkunde) wurde von Hinz (1985) weiterentwickelt.

Als Inhalt der von den Schülern zu gewinnenden Ausgangsabstraktionen wurde folgender Aussagenkomplex bestimmt:

- In der lebenden und nichtlebenden Natur laufen ständig Veränderungen ab (Naturvorgänge).
- Naturvorgänge laufen unter bestimmten Bedingungen ab und lösen selbst weitere Wirkungen, d. h. weitere Naturvorgänge aus.
- Das Vorhandensein von Energie ist eine notwendige Bedingung für den Ablauf aller Naturvorgänge. Es gibt verschiedene Energieformen, die an bestimmte Energieträger gebunden sind.

- Bei Naturvorgängen wird Energie übertragen, was häufig mit Energieumwandlung verbunden ist.

Diese Ausgangsabstraktion sollte die Schüler darauf orientieren, daß die Natur etwas Gewordenes und sich ständig Veränderndes ist und dass die Naturobjekte, -zustände, -prozesse analysierbar, erklärbar, voraussagbar und Erkenntnisse darüber in der Tätigkeit der Menschen nutzbar sind. Der Inhalt der Ausgangsabstraktion wurde in einem Lernmodell schematisch dargestellt (Abb. 1), das den Schülern jedoch nicht vorgegeben, sondern mit ihnen im Prozeß der Gewinnung der Ausgangsabstraktion entwickelt wurde. Das Lernmodell orientiert nicht nur auf grundlegende Merkmale eines Naturvorgangs, sondern zugleich auf wesentliche Aspekte der zu seiner Analyse erforderlichen Tätigkeit - die Erfassung eines Ausgangszustandes und seiner Veränderungen, die Aufdeckung von Bedingungen und Ursachen dieser Veränderungen und ihrer Auswirkungen (als Ausschnitt aus einer mehr oder weniger komplexen Kausalkette) sowie die Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse im Interesse der Menschen.

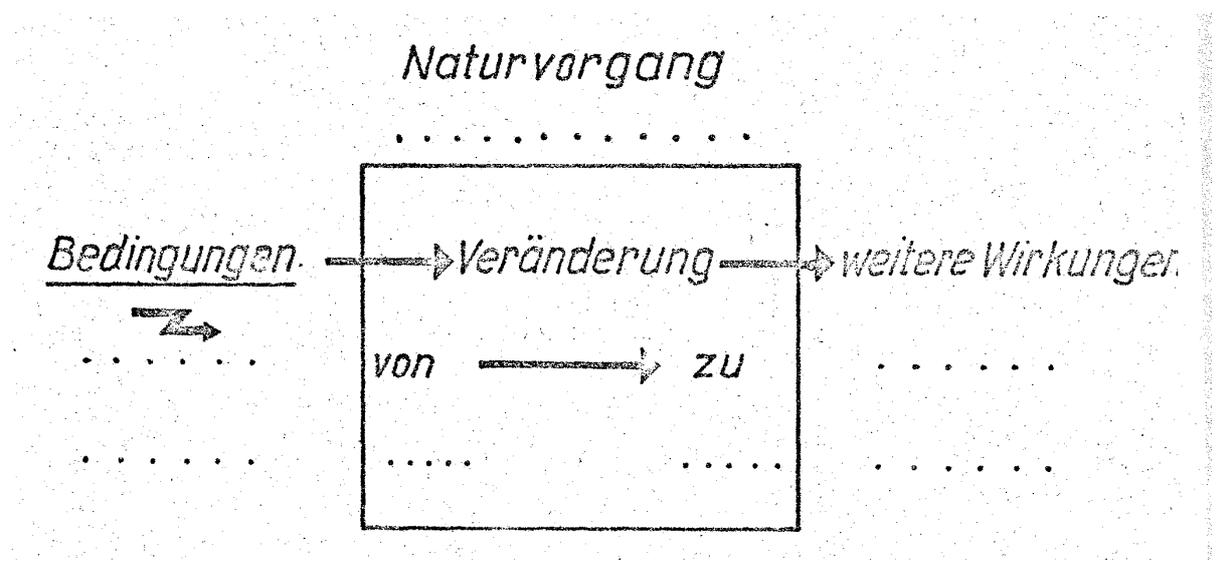


Abb.1: Lernmodell „Naturvorgang“ (nach IRMSCHER 1982 und HINZ 1985)

Um die Schüler - in erster Annäherung - an die Erkenntnis gesetzmäßiger Zusammenhänge in der Natur als eines einheitlichen, in sich differenzierten Ganzen, insbesondere der Zusammenhänge zwischen nichtlebender und lebender Natur (z. B. grundlegende Bedeutung der Sonne als Energiequelle, Nahrungskette in der Natur, Zusammenwirken verschiedener Naturvorgänge) heranzuführen und von rein beschreibender zu einer mehr auf Analyse und Erklärung orientierten Kenntnisgewinnung und

-nutzung zu bringen, wurden zur Konkretisierung der Ausgangsabstraktion folgende Naturvorgänge ausgewählt:

- Entstehung des Windes,
- Entstehung des Wasserkreislaufs,
- Ernährung und Wachstum der Pflanzen,
- Ernährung der Tiere und Menschen.

Diese Konkretisierungsreihen waren weder auf Vollständigkeit noch auf Detailliertheit der Behandlung orientiert, sondern auf Herausarbeitung des Grundlegenden, Wesentlichen als Voraussetzung für die speziellere und tiefere Aneignung im nachfolgenden naturwissenschaftlichen Fachunterricht.

Auf dieser Grundlage war es möglich, die Schüler in Klasse 5 parallel in Biologie und Physik einzuführen und damit die Ausgangsabstraktion Naturvorgang weiter auszudifferenzieren (Hinz 1984)(Hinz 1986)(Giest 1985)(Giest/Hinz 1985).

Für den ca. 60 Stunden umfassenden Unterrichtsversuch zur Einführung der Schüler in die Biologie, der über das ganze 5. Schuljahr lief, bestimmte Hinz (1984)(1986) als Ausgangsabstraktion für die Untersuchung der lebenden Natur die Einheit von Lebewesen und ihrer Umwelt, die im Hinblick auf grundlegende Lebensfunktionen schrittweise analysiert und konkretisiert wurde. Inhalt der Ausgangsabstraktion waren die folgenden Merkmale und Zusammenhänge:

- Lebewesen und ihre Umwelt bilden eine untrennbare Einheit. Nur durch den ständigen Kontakt zur Umwelt können im Körper der Lebewesen alle Lebensfunktionen ablaufen und so den Körper aufbauen, erhalten und Nachkommen bilden. Dies setzt voraus, daß die Lebewesen ihrer Umwelt angepaßt sind.
- Die wesentlichen Lebensfunktionen sind Ernährung und Atmung, Bewegung, Reizbarkeit, Wachstum, Entwicklung und Fortpflanzung.

- Umweltveränderungen bewirkten im Verlauf sehr langer Zeiträume die Anpassung der Lebewesen an die veränderte Umwelt und somit ihre Entwicklung.

Bei der Gewinnung und Anwendung dieser Ausgangsabstraktion standen zunächst die Gemeinsamkeiten von Pflanzen, Tieren und Menschen im Vordergrund. Ausgehend von einem Oberblick über die Lebensfunktionen und ihre wechselseitige Abhängigkeit wurden als Konkretisierungsreihen in Klasse 5

- die Reizbarkeit und
- die Ernährung und Atmung

genauer untersucht. Wachstum, Entwicklung, Fortpflanzung sowie Bewegung könnten in Klasse 6 Lerngegenstand sein (was im Rahmen des Unterrichtsversuchs nicht realisiert werden konnte).

Zur Analyse der Lebensfunktionen wurden typische Vertreter unterschiedlicher systematischer Gruppen der Lebewesen ausgewählt, so daß einerseits Gemeinsamkeiten zwischen ihnen hinsichtlich der jeweiligen Lebensfunktion als auch evolutionsbedingte Unterschiede zwischen den Gruppen erkannt werden können (ohne allerdings dabei bereits eine systematische Ordnung der Lebewesen aufzubauen).

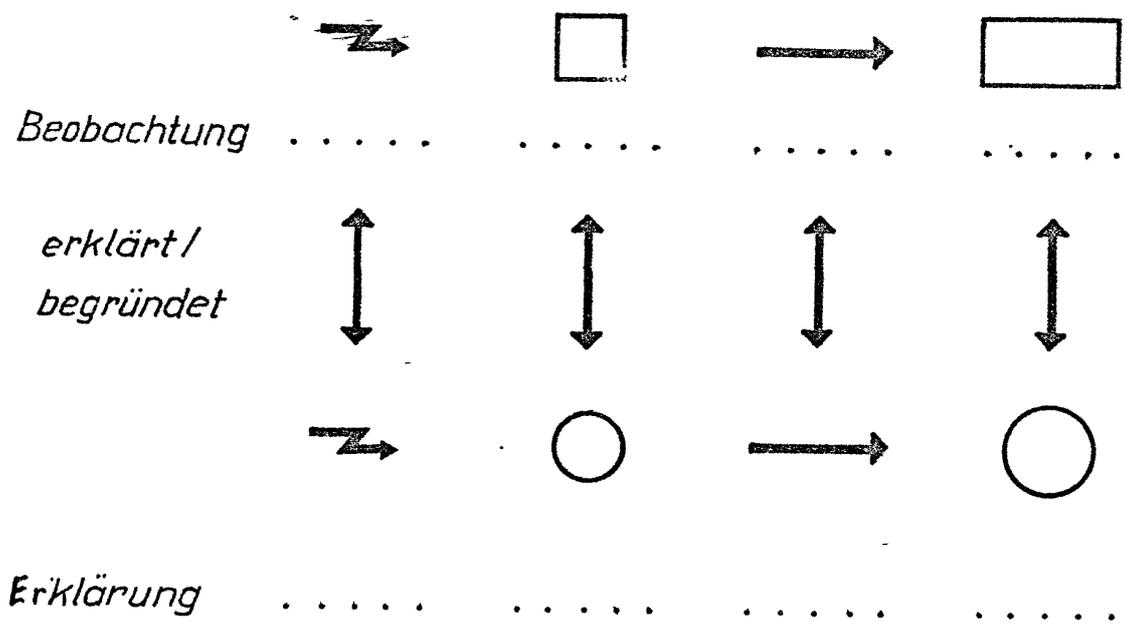
Parallel zur Beschäftigung mit der lebenden Natur wurden die Schüler in einem etwa 30stündigen Unterrichtsversuch in der ersten Hälfte des 5. Schuljahres in die Physik eingeführt (Giest 1985). Die Ausgangsabstraktion Naturvorgang wurde zu der spezifischeren Abstraktion physikalischer Vorgang konkretisiert, in dem sich Körper verändern, ihr Stoff jedoch invariant bleibt. In elementarer Form wurde dabei der Übergang von makrophysikalischen zu mikrophysikalischen Prozessen vollzogen, und die Schüler wurden mit nichtbeobachtbaren Sachverhalten konfrontiert. Als wesentliche Bestandteile der Ausgangsabstraktion wurden folgende Aussagen bestimmt:

- Körper sind aus Teilchen aufgebaut, diese sind unbeobachtbar klein.
- Während des physikalischen Vorgangs verändert sich der Aufbau der Körper aus Teilchen.
- Veränderungen im Aufbau der Körper aus Teilchen verlaufen unter der wesentlichen Bedingung des Vorhandenseins von Energie.

Diese Erkenntnisse wurden im Prozeß der Analyse entsprechender Sachverhalte schrittweise in einem Lernmodell fixiert, wobei besonderer Wert auf die Unterscheidung zwischen Beobachtungs- und Erklärungsebene und auf die systematische Ausbildung des Übergangs von einer Ebene zur anderen gelegt wurde. (Abb. 2).

Die Konkretisierung dieser Ausgangsabstraktion (die selbst eine Konkretisierung der ersten Ausgangsabstraktion Naturvorgang darstellt) erfolgt im Prozeß der Erklärung von Erscheinungen aus dem Gebiet der Wärmelehre (Diffusion, Volumenänderung bei Temperaturänderung, Aggregatzustände, Aggregatzustandsänderungen, Wärmeleitung u. a.) durch Veränderungen im Aufbau der Körper aus Teilchen (Veränderung des Teilchenabstands, der kinetischen und potentiellen Energie der Teilchen und der Art ihrer Bewegung). Weitere Konkretisierungen in Richtung der Moleküle u. a. sind möglich, wurden jedoch im Rahmen dieses Unterrichtsversuchs nicht realisiert. Für die Schüler blieben die Teilchen invariant, und die Frage, ob oder wie sie selbst sich verändern, miteinander verbinden o. ä., entstand für sie zunächst nicht.

Eine Weiterführung in Chemie (Klasse 7) wurde von Pavlik (1980) (1981) ausgearbeitet und erprobt, wobei die chemische Reaktion (Stoffumwandlung) vom physikalischen Vorgang abdifferenziert und das Teilchenmodell, das den Schülern aus dem Unterrichtsversuch von Le/Duong (1978) bekannt war, als Erklärungsprinzip weiter ausgebaut wurde (Atom-Molekül-Vorstellung und ihre Symbolisierung in der chemischen Zeichensprache). Zusammenhänge zwischen Stoffstruktur, Energieumsatz und chemischen Eigenschaften wurden exemplarisch, aber differenziert am Wasser untersucht, bevor zur Stöchiometrie und den anderen Inhalten des Chemielehrplans Klasse 7 übergegangen wurde.



- | | | | |
|--|--------------------------------|--|--|
| | Energie | | Energie der Teilchen |
| | Körper vor
der Veränderung | | Aufbau des Körpers aus
Teilchen vor der Veränderung |
| | Veränderung | | Veränderung im
Teilchenaufbau |
| | Körper nach
der Veränderung | | Aufbau des Körpers
aus Teilchen nach
der Veränderung |

Abb. 2 : Lernmodell „ Physikalischer Vorgang“ (nach GIEST 1985)

In weiterführenden Untersuchungen müßte geprüft werden, wie weit die dargestellten Ausgangsabstraktionen beim Eindringen in die entsprechenden Wissensgebiete tragfähig sind und an welchem Punkt im Aneignungsprozeß sie aus einem Analyse- und Integrationsmittel zu einem Hindernis werden und durch Abstraktionen ersetzt werden müssen, die ein höheres Abstraktions- und Komplexionsniveau erreichen und tieferes Durchdringen bzw. Einbeziehung weiterer Aspekte oder Teilgebiete des Lerngegenstandes gestatten. So sieht Giest (1985) unter Hinweis auf andere Experimente und Überlegungen folgende Perspektiven für den weiterführenden Physikunterricht, ausgehend von seinem Unterrichtsversuch in Klasse 5, in dem der Schwerpunkt auf der qualitativen Erfassung einiger physikalischer Zusammenhänge lag: In Klasse 6 könnte der Schwerpunkt auf der quantitativen Erfassung physikalischer Vorgänge und auf der quantitativen Darstellung von Grundgesetzen liegen. Dazu müßte der Übergang von der Ebene der Phänomenologie physikalischer Körper zur mathematischen Abbild-Ebene (und umgekehrt) systematisch ausgebildet werden. In Klasse 7 könnte ein Lehrgang der Elektrizitätslehre einsetzen, bei dem, ausgehend von der elektrischen Ladung, der Feldbegriff erarbeitet wird - die zweite wesentliche Abstraktion, womit grundlegende Voraussetzungen auch zum Verständnis der Mikroelektronik geschaffen würden. Das Erklären elektrischer Erscheinungen würde auf der Grundlage des Modells des elektrischen Leitungsvorgangs unter Einbeziehung von Teilchen- und Feldmodell erfolgen. Für die Weiterführung des Aneignungsprozesses in Biologie ergeben sich nach Hinz aus dem durchgeführten Unterrichtsversuch folgende Möglichkeiten: Nach der Untersuchung der Lebensvorgänge könnte - etwa in der Mitte des 6. Schuljahres - der Übergang zu Prozessen auf der Ebene der Zelle vollzogen werden, was die Gewinnung einer neuen Ausgangsabstraktion bedeuten würde. Auf dieser Grundlage könnten, von den Einzellern ausgehend, die systematischen Gruppen der Lebewesen abgeleitet und untersucht werden. Folgerichtig könnte danach - wie im bisherigen Biologieunterricht - im 8. Schul-

jahr das am höchsten entwickelte Lebewesen in der Natur, der Mensch, zum Lerngegenstand gemacht werden. Darauf könnte sich ein weiterer Zyklus zur tieferen geistigen Durchdringung all-gemeinbiologischer Sachverhalte und Gesetzmäßigkeiten aufbauen.

1. 2 Geographie

In Weiterführung des Unterrichtsversuchs Naturkunde sowie auf der Grundlage der im bisherigen Heimatkundeunterricht und insbesondere im Alltagsleben bereits gewonnenen Vorstellungen der Kinder sollte versucht werden, solche für die Geographie grundlegenden Begriffe, Zusammenhänge und Lernhandlungen auszubilden, die wesentliche Voraussetzungen für eine systematische Aneignung der Geographie der DDR und anderer Länder darstellen. Dabei sollte die Kenntnis bzw. Untersuchung der unmittelbaren Umgebung der Kinder zwar als Erfahrungsbasis mit genutzt, das Eindringen in die Geographie jedoch nicht durch schrittweise Erweiterung des geographischen Raumes (beginnend beim eigenen Wohngebiet), sondern durch schrittweise Konkretisierung einer Ausgangsabstraktion und den Aufbau eines allgemeinen Begriffssystems zur Untersuchung und Darstellung geographischer Objekte erreicht werden, das dann weiter ausdifferenziert und angereichert werden könnte.

Ohl (1973) hatte die Effektivität eines solchen Vorgehens bei der Einführung in die Geographie im 5. Schuljahr gezeigt. Fischer (1987) (1989) untersuchte, wie dieses Anliegen im Rahmen des Heimatkundeunterrichts der Klasse 4 realisiert werden kann, und erarbeitete und erprobte einen etwa 35 Unterrichtsstunden umfassenden Lehrgang dazu. Nachdem sich ein Versuch, mit der Untersuchung der Erde als Himmelskörper und ihrer Beziehungen zur Sonne zu beginnen, als zu aufwendig und zu schwierig (bezogen auf die Vorkenntnisse und die kognitiven Möglichkeiten der Schüler) erwiesen hatte, wurde als Inhalt der zu gewinnenden Ausgangsabstraktion folgender Aussagekomplex festgelegt:

- In Geographie untersuchen wir Gebiete der Erde. Ein Gebiet ist ein Teil der Erdoberfläche, der sich durch bestimmte Merkmale von anderen Teilen abgrenzt.
- Gebiete unterscheiden sich durch ihre Lage, ihre Größe, ihr Aussehen und ihren Aufbau. Sie untergliedern sich in die Bereiche Naturraum und Gesellschaft.
- Die Erde und ihre Gebiete werden mit Hilfe von Globus und verschiedenen geographischen Karten dargestellt und untersucht.

Ausgehend von dieser - natürlich sehr globalen und elementaren - Orientierung auf geographische Merkmale der Erde als Ganzes und auf die Mittel ihrer Darstellung und Untersuchung, konnte mit einer systematischen Untersuchung wesentlicher Komponenten der geographischen Analyse von Gebieten begonnen werden, wobei jeweils unterschiedliche, im Hinblick auf eine Komponente repräsentative Gebiete miteinander verglichen und die dafür erforderlichen Darstellungsmittel und Lernhandlungen ausgebildet wurden. Da es die Schüler überfordert hätte, von einem Überblick über alle Komponenten und ihre Zusammenhänge auszugehen, wurden zunächst die Komponenten der Natur eines Gebietes nacheinander erarbeitet (Relief, geologischer Bau/Gesteine, Klima, Boden, Wasser, Pflanzen/Tiere) und dabei abschnittsweise die Beziehungen zwischen ihnen untersucht und zunächst in Tabellenform erfaßt. Dies ermöglichte es, von reiner Beschreibung zunehmend zur Erklärung von Veränderungen in der Natur eines Gebietes und zur Verallgemeinerung gesetzmäßiger Zusammenhänge überzugehen und die Komplexität der grundlegenden Wechselbeziehungen in einem Modell zu erfassen (Abb. 3). Dabei kann es in der Einführung weder um Vollständigkeit noch um große Detailliertheit gehen. Entscheidend sind u. E. die Orientierung auf grundlegende Merkmale und Zusammenhänge, die Ausbaufähigkeit des Ansatzes und seine unmittelbare Verbindung mit den zur Analyse des Lerngegenstands erforderlichen Methoden. Das in diesem Aneignungsprozeß entstehende Begriffssystem der Schüler läßt sich hypothetisch in schematischer Form etwa so darstellen wie in Abb. 4.

Bei der Erarbeitung der Komponenten der Natur ergeben sich auch Beziehungen zur Gesellschaft, die in den folgenden Stunden speziell untersucht wurden.

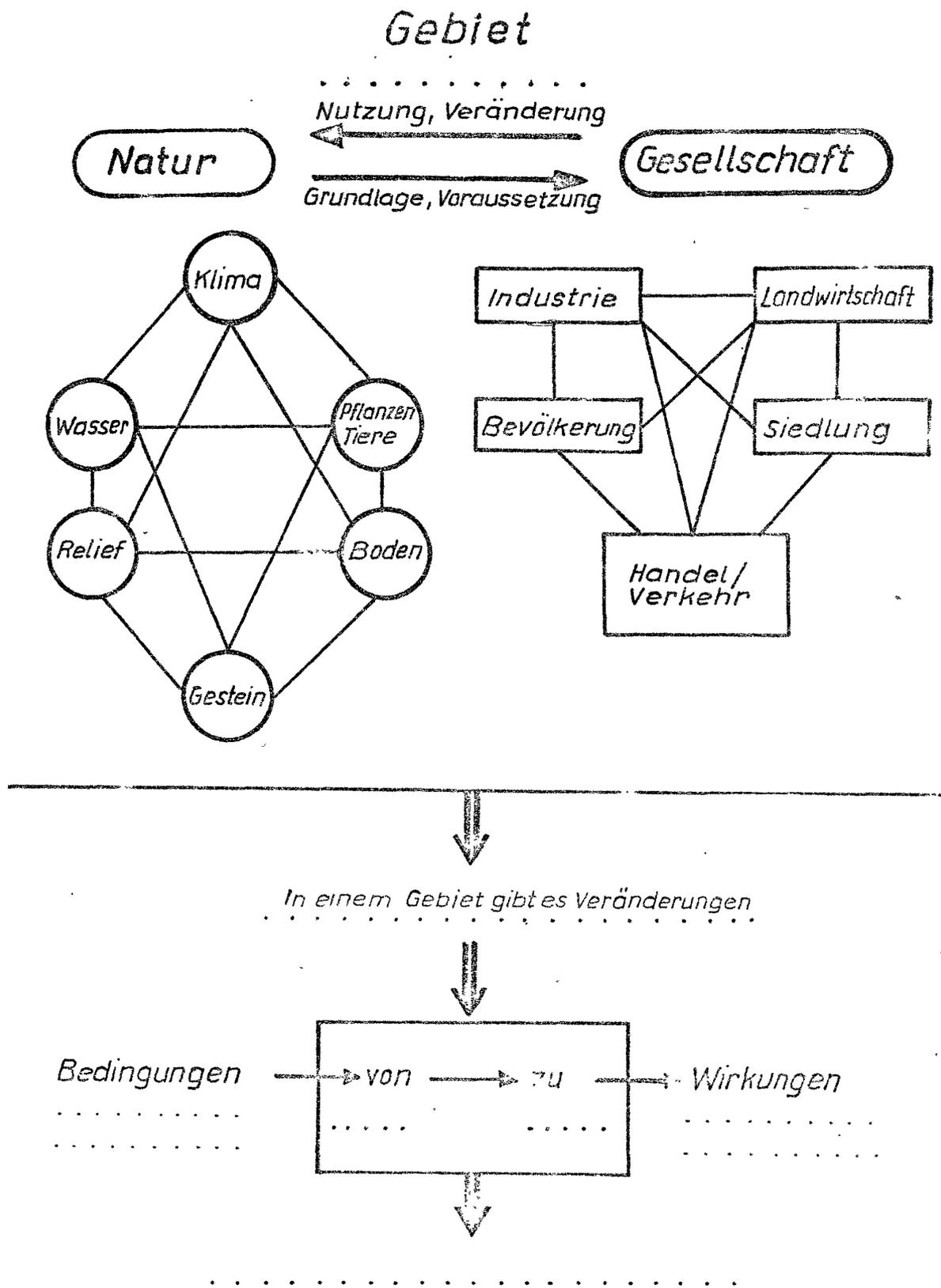


Abb. 3 : Modell eines Gebiets als Teil der Erdoberfläche (nach FISCHER 1987)

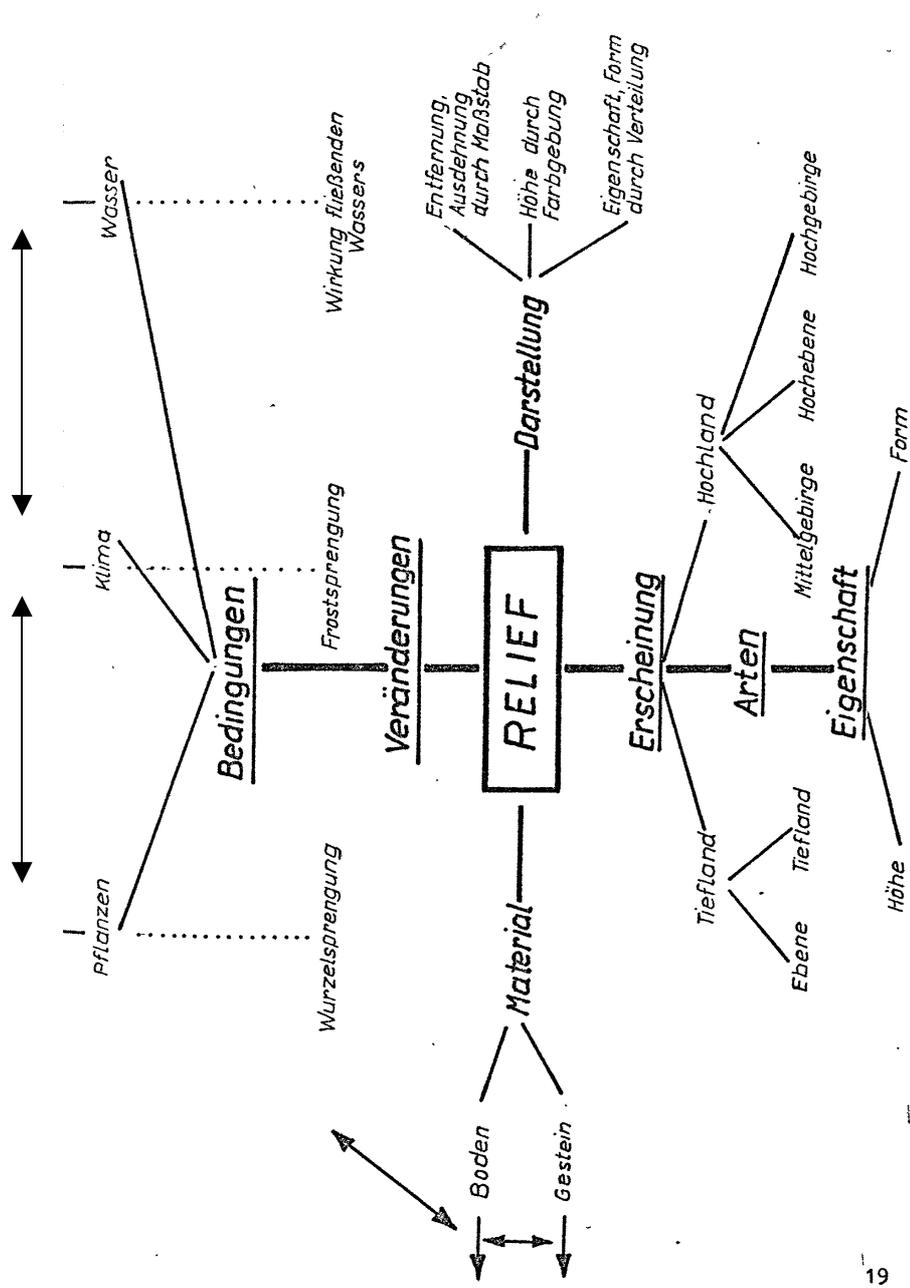


Abb. 4 : Aufbau des Begriffsystems Relief als Teil des Begriffssystem Gebiet (nach FISCHER 1987)

Mit Bezug zu Naturkunde (Nutzung der Kenntnisse über die Natur durch und für die Menschen, Lebensbedingungen der Menschen) und zur Ausgangsabstraktion Gebiet wurden in erster Annäherung Merkmale der Gesellschaft im Unterschied zur Natur und ihr wechselseitiger Zusammenhang sowie Komponenten des Bereichs Gesellschaft (Industrie, Landwirtschaft, Bevölkerung, Verkehr, Handel und Siedlung) und einige ihrer Beziehungen herausgearbeitet.

1.3. Mathematik

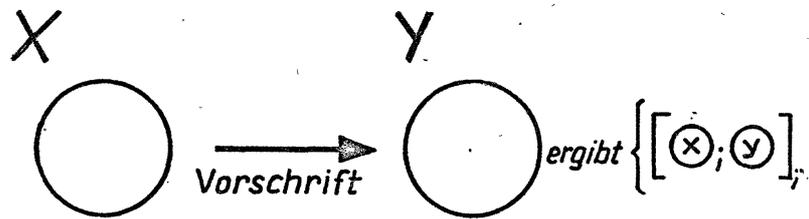
Unsere Unterrichtsversuche im Bereich des Mathematikunterrichts beschränkten sich weitgehend auf das Lösen von Sach- und Anwendungsaufgaben (SAA) als einer bedeutsamen Form des Problemlösens, bei der mathematisches Wissen und Können angeeignet und angewendet werden muß. Die dabei zu bewältigenden Anforderungen umfassen das Verstehen des Aufgabentextes, die Aufdeckung der darin enthaltenen mathematischen Größen und Beziehungen, ihre Übersetzung in Terme, Gleichungen usw., die Auswahl und Realisierung adäquater mathematischer Operationen, die Interpretation der erhaltenen numerischen Resultate mit Bezug zum Textinhalt.

Eine der zahlreichen Schwierigkeiten jüngerer Schüler beim Lösen von SAA betrifft funktionales Denken - das Erfassen funktionaler Beziehungen zwischen den im Text dargestellten Größen. Es geht dabei um die Aufdeckung gesetzmäßiger mathematischer Beziehungen (und deren Veränderungen) zwischen mindestens zwei Mengen, Größen oder anderen mathematischen Sachverhalten, ihre quantitative Erfassung und das mathematische Operieren mit ihnen. Küchler (1985) hat, ausgehend von seinen Untersuchungen zur Ausbildung eines mengentheoretisch bestimmten Funktionsbegriffs (Küchler 1984) einen Versuch im Umfang von etwa 20 Unterrichtsstunden mit Schülern der Klasse 4 durchgeführt, um bestimmte Grundlagen funktionalen Denkens als Voraussetzung für das Lösen von SAA (und andere Anforderungsbereiche des Mathematikunterrichts und darüber hinaus)

auszubilden. Die Ausbildung eines elementaren Begriffs der Funktion (auf mengentheoretischer Grundlage) und entsprechender Operationen als Ausgangsabstraktion für die Aneignung der vielfältigen Arten mathematischer Funktionen wurde zunächst auf den Bereich der direkten Proportionalität beschränkt. (Die Erweiterung auf die Bereiche der indirekten Proportionalität und der quadratischen Funktionen übersteigt die kognitiven Möglichkeiten der hier betrachteten Klassenstufe und müßte sich später anschließen.) Die Ausgangsabstraktion umfaßte folgenden Inhalt:

- Das Verfahren der Zuordnung: Bei Vorgabe zweier Mengen lassen sich Paare bilden, in denen die Elemente geordnet sind (Zugehörigkeit des einen zürn anderen).
- Die Vorschrift bestimmt, welche geordneten Paare entstehen.
- Günstige Möglichkeiten zur übersichtlichen Darstellung geordneter Paare sind Wertetabellen und Koordinatensystem (Streckendiagramme).
- Es gibt besondere Arten von Vorschriften. Die Eigenschaften von Vorschriften in Form der Gleichung $x - k = y$ werden in der Wertetabelle und im Koordinatensystem untersucht, und Vorschriften werden rechnerisch und zeichnerisch ermittelt.

Im Rahmen des Unterrichtsversuchs wurde diese Ausgangsabstraktion beim Lösen von SAA konkretisiert. Weitere Möglichkeiten des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten, wie die Anwendung des dargestellten Funktionsbegriffs und funktionalen Denkens auf solche Themen wie Maßstab, Winkel und Winkelfunktionen u. a. (müßten in weiterführenden Untersuchungen geklärt werden. Gleiches gilt für die möglichen Grenzen des mengentheoretisch bestimmten Begriffs und Verfahrens bzw. einer einseitigen, stabil orientierten Anwendung und die Erprobung anderer Zugänge zum Problemkreis der Funktionalität. Im Zusammenhang mit der Bildung und Untersuchung geordneter Paare entstand bei den Schülern schrittweise ein Modell (Abb. 5), das eine Zusammenfassung des erworbenen Wissens und Verfahrens darstellte und das sie bei der Arbeit mit Wertetabellen und Koordinatensystem, beim Lösen unterschiedlicher Aufgaben einsetzen.



Das Besondere: Die Vorschrift ist in Form einer Gleichung gegeben: $x \cdot k = y$

Abb. 5: Lernmodell zur Ausbildung des Funktionsbegriffs¹ und funktionalen Denkens in Klasse 4 (nach KÜCHLER 1984,1985)

Auf den Ergebnissen des Versuchs zur Ausbildung des dargestellten Funktionsbegriffs und funktionalen Denkens aufbauend erarbeitete und realisierte Reinhold (1988) einen etwa 30stündigen Unterrichtsversuch zum Lösen von SAA in Klasse 4. Unter Berücksichtigung der in den vorangegangenen Schuljahren beim Lösen von SAA erworbenen Kenntnisse und Handlungsverfahren und der Schwierigkeiten der Schüler bei der Bewältigung entsprechender Anforderungen und in Weiterführung der im Unterrichtsversuch Naturkunde geschaffenen Grundlagen für das Lösen naturwissenschaftlicher Probleme bestimmte er eine Ausgangsabstraktion für das Lösen von SAA als einer Klasse von Problemlösungsprozessen, deren

Spezifik in der psychologischen und mathematikmethodischen Literatur hinreichend analysiert ist (vgl. Schröter 1987) (Reinhold 1988). Im Vordergrund standen für uns die zielgerichtete Ausbildung grundlegender heuristischer Strategien (vgl. Köster 1983) und die Erfassung funktionaler Beziehungen zwischen Klassen und Größen. Die Ausgangsabstraktion umfaßte folgenden Inhalt:

- SAA beschreiben Probleme aus dem täglichen Leben. Sie werden mit Hilfe der Mathematik gelöst.
- Um SAA zu lösen, muß zunächst das Gesuchte bestimmt und festgestellt werden, welche Angaben notwendig sind, um es zu berechnen (Ziel-Mittel-Analyse, vorwiegend durch Rückwärtsarbeiten realisiert).
- Größen sind durch gesetzmäßige Beziehungen miteinander verbunden, die man aufdecken kann, indem man prüft, ob und wie sich eine Größe bei Veränderung einer anderen selbst verändert.
- Wenn alle wesentlichen Größen und Beziehungen zwischen ihnen erfaßt und dargestellt sind, werden die entsprechenden Gleichungen aufgestellt und nacheinander gelöst (vorrangig Vorwärtsarbeiten).

Im Prozeß der Erarbeitung dieses allgemeinen Handlungsverfahrens und der funktionalen Beziehungen zwischen bestimmten Klassen von Größen (Preise, Zeiten, Längen, Massen) entstand ein allgemeines Modell als Mittel der Analyse und Fixierung der jeweiligen mathematischen Struktur, das zur Analyse konkreter SAA eingesetzt wurde und dabei jeweils eine besondere Form annahm (Abb. 6). Gesuchte Angaben wurden durch Kreise, gegebene durch Rechtecke symbolisiert, in die die jeweiligen Größen in allgemeiner verbaler Form (Gesamtpreis für ..., Einzelpreis für ..., Anzahl der ... usw.) und die Angaben aus der SAA bzw. Symbole für unbekannte Größen eingetragen wurden. Die Beziehungen zwischen den Größen wurden durch Striche und einen kleinen Kreis für den jeweiligen mathematischen Operator symbolisiert.

Diese Ausgangsabstraktion wurde im Prozeß des Lösens von SAA gewonnen und zum Lösen weiterer SAA eingesetzt. Dabei erfolgte eine Konkretisierung im Hinblick auf

- die Erweiterung der Aufgabenstruktur und die zunehmende Kombination von Rückwärts- und Vorwärtsarbeiten sowie

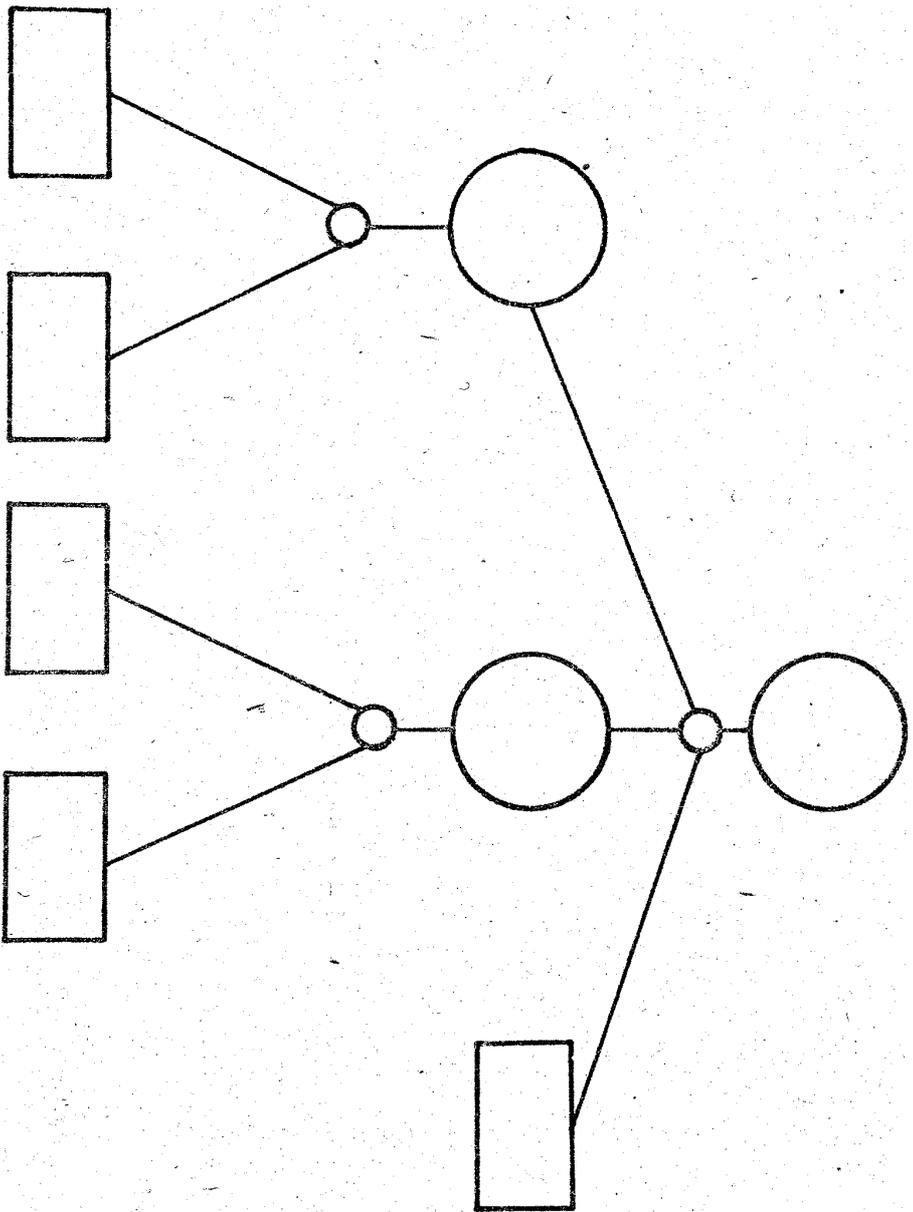


Abb. 6 : Strukturmodell zum Lösen von SAA
(nach REINHOLD 1988)

- die Einbeziehung zunehmend subjektiv unbekannter Inhalte, was die Ergänzung der Ziel-Mittel-Analyse durch die Analogiebildung (als ebenfalls allgemeine heuristische Strategie) ermöglichte und erforderte.

Dabei wurden auch Beziehungen der indirekten Proportionalität einbezogen (je größer ..., desto kleiner ... u. a.).

2. Lernaufgaben und Lernhandlungen

Mit den Ausgangsabstraktionen und Konkretisierungsreihen ist zunächst nur die Grobstruktur des Lerngegenstands markiert, wobei die Wechselbeziehung mit der Lerntätigkeit noch sehr global gefaßt ist. Um zu sichern, daß dieser Lerngegenstand tatsächlich angeeignet, die dazu erforderliche Lerntätigkeit tatsächlich ausgeführt und ausgebildet wird, muß sie selbst in ihrer Struktur und ihrem Verlauf (bezogen auf den Lerngegenstand) "konstruiert" werden. Aus der Analyse der objektiven Anforderungen des Lerngegenstands, der zu seiner Aneignung notwendigen und der bei den Lernenden real vorhandenen subjektiven Voraussetzungen lassen sich solche Lernaufgaben bestimmen, die für die Lernenden in allgemeiner Form markieren, was sie nicht wissen bzw. können und was sie sich aneignen müssen, um bestimmte neue Anforderungsklassen zu bewältigen (Lernzielbildung). Entsprechend der Struktur des Lerngegenstands geht es dabei zuerst um übergreifende (über- geordnete) Lernaufgaben, die die Schüler auf die Aufdeckung der grundlegenden, allgemeinen Merkmale und Zusammenhänge (Ausgangsabstraktionen) orientieren, deren systematische Analyse und schrittweise Konkretisierung dann die sukzessive Ausgliederung von besonderen Aspekten und Bezugsetzungen erfordert, welche in abgeleiteten Lernaufgaben (Teillernaufgaben) repräsentiert werden müssen. Auf diese Weise entsteht ein System von Lernaufgaben, das den Schülern die innere Logik des Lerngegenstands erschließen, bewußte Kontrolle und Bewertung der eigenen Lerntätigkeit durch Bezugsetzung zwischen Lernzielen und Lernergebnissen ermöglichen und zugleich wesentliche Impulse für die Entstehung entsprechender Lernmotive setzen soll. Die für den jeweiligen Lerngegenstand

wesentlichen Aspekte, Anforderungs- und Handlungsklassen müssen in den Lernaufgaben ihren Niederschlag finden, und zwar in einer den Voraussetzungen der Schüler entsprechenden wider-

spruchsvollen und systematischen Form, die ansteigende Anforderungen enthält und zielgerichtetes, schrittweises Vorgehen anregt und ermöglicht.

Die auf die Aneignung des Lerngegenstands orientierenden Lernaufgaben entstehen im Ergebnis von Lerntätigkeit - durch die Ausführung von Handlungen durch die Schüler selbst. Auch die Realisierung der Lernaufgaben - also die schrittweise Aneignung des Lerngegenstands - ist nicht anders möglich als durch Lernhandlungen, die - sofern bereits ausgebildet - eingesetzt bzw. - sofern noch nicht verfügbar - systematisch ausgebildet werden müssen. In jedem Fall müssen sie aber zunächst theoretisch auf der Grundlage der Anforderungs-Voraussetzungs-Analyse bestimmt werden. Auch dabei sollten möglichst von vornherein in Einheit mit den inhaltlichen und operationalen auch motivationale Aspekte beachtet werden (emotionale Ansprechbarkeit der Kinder, Gewährleistung von Lernerfolg u. a.).

Im Zusammenhang mit der "Konstruktion" der Lernaufgaben und Lernhandlungen wird der Lerngegenstand selbst weiter konkretisiert und präzisiert, weil sich aus der Wechselbeziehung Lerntätigkeit - Lerngegenstand (bezogen auf die Ziele und Grobstruktur eines Lehrgangs) genauer bestimmen läßt, welche Fakten, Zusammenhänge, Regeln, Verfahren, Lernmittel und -hilfen für eine vollwertige Aneignung des Lerngegenstands (auf einem vorbestimmten Qualitäts- und Quantitätsniveau) erforderlich sind.

2.1 Naturkunde/Biologie/Physik

Für den Unterrichtsversuch Naturkunde hat Hinz (1985) folgendes System der Lernaufgaben ausgearbeitet, das der Führung und Ausbildung der Lerntätigkeit zugrunde gelegt wurde (was die Schaffung von Bedingungen einschließt, damit die

Schüler unter Nutzung bereits gewonnener Erkenntnisse jeweils neue Lernaufgaben selbst bilden können):

1. Zur Gewinnung der Ausgangsabstraktion:

Übergeordnete Lernaufgabe:

Wir wollen lernen, wie man die Natur erforschen kann und was man dabei beachten muß!

Teilaufgaben:

- Was stellt man fest, wenn man die Bestandteile der Natur genau beobachtet?
- Wovon ist es abhängig, ob und wie Naturvorgänge ablaufen?
- Wie muß man vorgehen, wenn man selbständig Fragen zum Ablauf von Naturvorgängen (d. h. zu den Veränderungen, ihren Bedingungen und weiteren Wirkungen) lösen will?
- An welche Bedingungen ist der Ablauf aller Naturvorgänge gebunden?
- Wie tritt die Energie in Erscheinung?
 - Was passiert mit der Energie beim Ablauf der Naturvorgänge?

2. Zur Konkretisierung:

a) in der nichtlebenden Natur

übergeordnete Lernaufgabe:

Wie (oder wodurch) entsteht der Wind bzw. der Regen?

Teillernaufgaben:

- Was ist Wind? oder
Welche Veränderung tritt mit der Luft ein, wenn es windig ist?
- Durch welche Bedingung(en) entsteht die bewegte Luft?
- Wie (oder bei welchen Bedingungen) kommt das Wasser überhaupt in die oberen Luftschichten? Wie verändert es sich dabei?
- Wie (oder bei welcher(en) Bedingung(en)) kommt es dann auf die Erde zurück? Wie verändert es sich dabei?
- Unter welchen Bedingungen bildet sich aus dem verdunsteten Wasser Schnee bzw. Hagel?
- Wie kann der Mensch seine Kenntnisse über den Wasserkreislauf nutzen?

b) in der lebenden Natur

übergeordnete Lernaufgabe(n):

Welche Bedeutung hat das Licht der Sonne für die Lebewesen?

- Wozu brauchen die Pflanzen das Licht beim Wachstum?
- Warum sind die Tiere und Menschen letztendlich hinsichtlich ihrer Ernährung alle von den Pflanzen abhängig? Weshalb können sie sich nicht wie die Pflanzen (selbst) ernähren?

Teillernaufgaben:

- Welche Veränderungen treten beim Wachstum der Pflanzen ein?
 - * Welche äußeren Veränderungen treten ein?
 - * Welche weiteren Veränderungen treten auf?
- Welche Stoffe sind energiereicher - die bei der Ernährung der Pflanzen aufgenommenen Stoffe oder die dabei gebildeten Stoffe?
- Welche Energiequelle nutzen die Pflanzen für die Bildung der energiereicheren Stoffe? Welche Energieumwandlung findet dabei statt?
- Von welchen Pflanzenstoffen ernähren sich die Tiere und Menschen?
- Warum können sie diese Stoffe nicht selbst bilden?
(Frage nach der Bedingung für die Möglichkeit, energiereiche Stoffe aus den energieärmeren zu bilden).

In ähnlicher- Weise wurden Lernaufgaben für die weiterführenden Unterrichtsversuche in Physik und Biologie, bezogen auf den jeweiligen Lerngegenstand, bestimmt. Es ging dabei immer um die Markierung von Leerstellen im Wissen und Können hinsichtlich wesentlicher, über die Erscheinung hinausführender Merkmale und Zusammenhänge des Lerngegenstandes und zugleich - in unmittelbarer Wechselbeziehung damit - hinsichtlich der zu ihrer Aufdeckung notwendigen Methoden und Verfahren.

Bei der konzipierten Einführung in die Naturwissenschaft sollte die Aneignung des Lerngegenstandes, vor allem durch das Lösen naturwissenschaftlicher Probleme mittels Beobachtungs-, experimenteller und Modellmethode erfolgen. Dementsprechend wurden die erforderlichen Lernhandlungen bestimmt. Im Mittelpunkt stand dabei die Ziel-Mittel-Bedingungs-Analyse als grundlegende und allgemeine heuristische Strategie, die vor allem zur Lösung von Ermittlungs-, Beschreibungs-, Konstruktions- und Erklärungsproblemen eingesetzt wurde. Für Naturkunde wurden als vorrangig auszubildende Lernhandlungen bestimmt:

- Ableiten von Fragestellungen
- Aufstellen von Vermutungen
- Planen von Beobachtungen bzw. Experimenten zur Überprüfung der Vermutungen

- Durchführen von Beobachtungen und Experimenten, Ermitteln der Ergebnisse und Vergleichen mit der Vermutung
- Kontroll- und Bewertungshandlungen im Verlauf und zum Abschluß des Problemlösungsprozesses.

Der Schwerpunkt lag zunächst auf den ersten drei Lernhandlungen, da einerseits das Verständnis der Zusammenhänge zwischen der abgeleiteten Frage, der aufgestellten Vermutung und der geplanten Beobachtung bzw. dem Experiment entscheidend für den weiteren Fortgang der Tätigkeit und ihre Aneignungseffekte ist und andererseits die Beobachtungen und Experimente so gewählt wurden, daß sie möglichst elementare, ohne besondere Schwierigkeiten zu bewältigende Anforderungen an die Schüler stellten. Im Zusammenhang mit den genannten Lernhandlungen entstand das oben angeführte Lernmodell Naturvorgang, das bei der Analyse konkreter Naturvorgänge als allgemeines Schema eingesetzt und inhaltlich entsprechend ausgefüllt wurde. Es diente insbesondere der Ableitung von Fragen. Das Reflektieren über den Lösungsprozeß, seine wesentlichen Teilschritte und notwendig zu beachtende Bedingungen (auch aus der Analyse von Schwierigkeiten, Fehlern, Irrwegen) führte zum schrittweisen Aufbau eines Modells des Problemlösungsprozesses, das zunächst in ikonischer und verbaler Form entwickelt und dann durch einfache Symbole ersetzt wurde:

- ? = Ich habe ein Problem!
- I = Ich überlege, lese nach, befrage andere! Ich informiere mich I
Ich steile eine Vermutung auf!
- I/B/E = Ich überprüfe die Vermutung durch weitere Informationen, Beobachtungen oder Experimente!
- A? = Ich vergleiche das erzielte Ergebnis mit der Vermutung I
- A = Das Ergebnis bestätigt die Vermutung. Ich habe die Antwort gefunden. Ich formuliere sie!
- ? = Das Ergebnis stimmt nicht mit der Vermutung überein. Das Problem ist noch nicht gelöst. Ich muß nach neuen Lösungsmöglichkeiten suchen!

Diese allgemeine Handlungsvorschrift diente der Orientierung im komplexen Problemlösungsprozeß und der allmählichen Aneignung seiner Teilschritte und Teilhandlungen. Die durch Reflexion bewußt gewordenen Teilhandlungen, ihre Zusammen-

hänge und Abfolge wurden durch Anwendung beim Lösen konkreter Probleme - bei entsprechender pädagogischer Führung – angeeignet, wobei die Symbole als Gedächtnisstütze und Orientierungspunkte dienten.

Dieses Vorgehen fand seine Anwendung und Weiterentwicklung auch im Unterrichtsversuch Biologie. Dabei gewöhnten sich die Schüler zunehmend daran, beim Lösen entsprechender Probleme nur die Symbole als äußere Stützen zu verwenden bzw. selbst ohne diese auszukommen. Die Abfolge der Handlungsschritte und die Beachtung dafür relevanten Bedingungen wurden zunehmend verinnerlicht und zu einer komplexen Handlung integriert. Die Ausgangsabstraktion und ihre sukzessive Konkretisierung wurden beim Erschließen der vielfältigen Erscheinungen der Lebensvorgänge - ihrer Zurückführung auf allgemeine grundlegende Aspekte und Zusammenhänge - zunehmend handlungswirksam im Hinblick auf das Ableiten von Fragen und Formulieren von Vermutungen. Beim Planen, Durchführen und Auswerten von Beobachtungen und Experimenten sowie beim Informationsgewinn aus anderen Quellen war der Selbständigkeitsgrad der Handlungsausführung im Verlauf des Lehrgangs unterschiedlich in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen. Die Auswertung der erzielten Ergebnisse erfolgte vorrangig selbständig, was wir vor allem auf die intensive Ausbildung der erforderlichen Teilhandlungen - insbesondere der kognitiven Durchdringung – zurückführen.

Im Unterrichtsversuch Physik wurden diese Lernhandlungen vor allem beim Lösen von Erklärungsproblemen (Erklärung mit Hilfe einer Modellvorstellung, nämlich der des Teilchenmodells) eingesetzt. Dazu wurden das Beobachten, Beschreiben, Modellieren und Erklären, bezogen auf den oben genannten Lerngegenstand, weiter ausgebildet. Es ging dabei um

- das differenzierte Ermitteln von Erscheinungen und Zusammenhängen in der Phänomenologie physikalischer Körper,
- das exakte sprachliche Fixieren der Beobachtungsdaten,
- das über Analogiebildung erfolgende gedankliche Ermitteln der den beobachteten Zusammenhängen entsprechenden Zusammenhänge im Modell,

- das sprachliche Fixieren der im Modell ermittelten Zusammenhänge und die Interpretation der Beobachtungs- und der Modellaussagen zu einer Erklärung.

Zur Wetterentwicklung des Modellierens (gegenüber Naturkunde Klasse 4) wurden als Teilhandlungen ausgegliedert und ausgebildet:

- Reproduzieren der Symbolik und Darstellung des Modells,
- Reproduzieren der allgemeinen Bedeutung der Symbolik und deren schriftliche Darstellung,
- Finden der konkreten Bedeutung der Symbolik (Konkretisieren und Interpretieren des Modells).

Die zunächst globalen, auf relativ elementarem Niveau auszuführenden Lernhandlungen werden also im Verlauf des Aneignungsprozesses schrittweise ausdifferenziert und auf komplexere und kompliziertere Lerngegenstände angewendet und dabei weiter ausgebildet. Dies gilt nicht nur für die Struktur dieser Lernhandlungen, sondern auch für ihre Ausführungsqualität (Grad der Verinnerlichung, Operationalisierung, Selbständigkeit u. a.).

2.2. Geographie

Für die Einführung in die Geographie wurden als übergreifende Lernaufgaben die folgenden bestimmt:

- Warum haben die Gebiete der Erde ein so unterschiedliches Aussehen?
- Durch welche Merkmale unterscheiden sich Gebiete der Erde?
- Wie kann man die Erde und ihre Gebiete untersuchen?
- Wozu brauchen die Menschen Wissen über die Gebiete der Erde?

Aus dieser allgemeinen Orientierung wurden im Prozeß des Eindringens in den Lerngegenstand speziellere Lernaufgaben abgeleitet zur

- Untersuchung der Form, Größe und Teile der Erde,
- Bestimmung der Mittel und Methoden zur Darstellung der Erde
- Ausgliederung von Merkmalen zur Unterscheidung von Gebieten,
- Zuordnung von Objekten eines Gebietes zu den Bereichen Natur bzw. Gesellschaft und Bestimmung von Beziehungen zwischen den Bereichen,

- Untersuchung der einzelnen Komponenten von Gebieten und einiger Wechselbeziehungen zwischen ihnen.

Die Aneignung selbst elementaren geographischen Wissens und Könnens hängt weitgehend davon ab, wie es gelingt, die zur Arbeit mit Globen und geographischen Karten erforderlichen Lernhandlungen auszubilden. Dabei muß das Verständnis der Kinder für den Modellcharakter der Darstellung geographischer Objekte ("Übersetzung" der realen Merkmale wie Größe, Lage, Höhe usw. in die kartographische Darstellung und zurück, Zuordnung realer Sachverhalte zu Symbolen und umgekehrt), die Fähigkeit des Orientierens auf der Karte schlechthin und auf unterschiedlichen Karten entsprechend ihrem jeweiligen Inhalt und der jeweiligen Zielstellung, der adäquaten Informationsgewinnung aus geographischen Karten und anderen Quellen und der Synthese von Informationen aus verschiedenen Quellen, des Ableitens von Schlußfolgerungen aus den gewonnenen Informationen und ihrer Anwendung zum Lösen verschiedenartiger Aufgaben entwickelt werden. Dies ist ein langer und komplizierter Entwicklungsweg. Hier geht es um die ersten Schritte (die allerdings von grundlegender Bedeutung für die weitere Entwicklung sind). Als wesentliche Lernhandlungen für den Lehrgang in Klasse 4 wurden bestimmt:

- Darstellen von Form und Größe der Erde;
- Unterscheiden und Bestimmen von Kontinenten und Ozeanen auf dem Globus, der Weltkarte und der Umrißkarte;
- Bestimmen der Lage von Gebieten in Beziehung zu anderen Gebieten mit Hilfe der Windrose;
- Vergleichen von Größen und Entfernungen unterschiedlicher Ordnung;
- Ermitteln von Entfernungen mit Hilfe von Maßstabsleisten, Zirkeln und Lineal;
- Ausgliedern einzelner Komponenten von Gebieten aus unmittelbarer Beobachtung, bildhafter und sprachlicher Darstellung;
- Darstellen bestimmter Merkmale geographischer Objekte in graphisch-schematischer, tabellarischer und kartographischer Form;
- Darstellen geographischer Objekte in dreidimensionaler (Sandkasten) und kartographischer Form (Kartenskizze);
- Anfertigen einer Legende zu einem Gebiet und Darstellen des Gebietes nach der Legende (ausgewählte Merkmale);
- Beschreiben bestimmter Merkmale von Gebieten nach unterschiedlichen Karten auf der Grundlage der entsprechenden Legende;

- Wählen und Nutzen von Karten entsprechend der zu lösenden Aufgabe;
- Untersuchen und Darstellen einzelner Komponenten der Gebiete;
- Untersuchen von Zusammenhängen zwischen den Komponenten;
- modellhaftes Darstellen der Komponenten und ihrer Zusammenhänge;
- Erklären geographischer Erscheinungen durch Zurückführen auf Zusammenhänge zwischen Komponenten.

Obwohl die Arbeit mit geographischen Karten (Anfertigen und Lesen von Karten, Einsatz von Karten zum Lösen verschiedenartiger Aufgaben) im Zentrum der Aneignung geographischen Wissens und Könnens steht, spielen auch andere Lernhandlungen eine wichtige Rolle, Das gilt für das Analysieren von Bild und Zahlenmaterial, das Arbeiten mit Tabellen verschiedener Art, das Erfassen des Inhalts mündlicher und schriftlicher Texte, das sprachliche und graphische Darstellen u. a. Diese Lernhandlungen werden vorrangig bei der Aneignung anderer Lerngegenstände ausgebildet und können hier mitgenutzt werden. Zugleich müssen sie - entsprechend dem jeweils real erreichten Ausbildungsniveau und den konkreten Anforderungen des geographischen Lerngegenstandes - auch in diesem Kontext systematisch weiterentwickelt werden.

2.3. Mathematik

Für die Ausbildung eines elementaren Funktionsbegriffs und funktionalen Denkens hat Küchler (1985) ein System von Lernaufgaben erarbeitet. Der Ausgliederung des Verfahrens der Zuordnung dienen die folgenden Lernaufgaben:

- Wie kann man verschiedene Angaben einer Aufgabe übersichtlich darstellen?
 - * Wie finde ich entsprechende Angaben?
 - * Wem ordne ich was zu?
- Wir müssen lernen, wie alle Schüler die gleichen geordneten Paare erhalten (wovon eine Zuordnung abhängt)!

Abgeleitete Lernaufgaben betrafen

- die Suche nach konkreten Darstellungsmöglichkeiten,
- die Aufstellung und Auswertung von Wertetabellen und Diagrammen,

- die Möglichkeiten zur Bestimmung fehlender Werte (rechnerisch und zeichnerisch).

Um diese Lernaufgaben lösen zu können, müssen die Schüler gegenstandsadäquate Lernhandlungen ausführen, die - da subjektiv neu - systematisch auszubilden sind. Als wesentliche Lernhandlungen für die Aneignung dieses Lerngegenstandes wurden bestimmt:

- Zuordnen von Mengen bzw. ihren Elementen
 - * Festlegen der Mengen X und Y
 - * Bestimmen der entsprechenden Elemente
 - * Bilden geordneter Paare durch Zuordnen je eines Elements der Menge Y zu einem Element der Menge X
 - * Darstellen des Verfahrens in modellhafter Form
- Anlegen von Wertetabellen
 - * Zeichnen einer Tabelle
 - * Bezeichnen der Mengen und der Tabellenspalten entsprechend dem Modell
 - * Eintragen der Elemente der Mengen (entnommen z. B. aus einem Text) entsprechend ihrer Reihenfolge
 - * Bilden geordneter Paare nach dem Modell
- Auswerten (Lesen) von Wertetabellen
 - * Erfassen der zu untersuchenden Mengen
 - * Erfassen und sprachliches Darstellen der Beziehungen, die zwischen entsprechenden Elementen der beiden Mengen bestehen, unter Nutzung des Modells
- Arbeit mit dem Koordinatensystem
 - * Bezeichnen des Koordinatensystems (Ausgangspunkt ist ein Quadrat) hinsichtlich der Mengen X und Y entsprechend dem Modell
 - * Bestimmen eines Punktes im Koordinatensystem für ein geordnetes Paar
 - * Bestimmen der Koordinaten eines Punktes im Koordinatensystem
 - * Anfertigen und Auswerten einfacher Diagramme im Koordinatensystem
- Ermitteln fehlender Werte auf zeichnerischem und rechnerischem Wege auf der Grundlage vorgegebener bzw. selbständig bestimmter geordneter Paare und Zuordnungsvorschriften (im Rahmen der Gleichung $x \cdot k = y$) unter Nutzung von Wertetabellen und Koordinatensystem.

Für das Lösen von SAA bestimmte Reinhold (1988) die Lernaufgaben davon ausgehend, daß die Schüler einerseits bereits zahlreiche SAA gelöst haben und über bestimmte Kenntnisse und Handlungsverfahren verfügen, welche andererseits aber häufig ungenügend handlungswirksam sind, so daß die

Schüler häufig mit für sie kaum zu bewältigenden Schwierigkeiten beim Lösen von SAA konfrontiert sind» Die übergreifende Lernaufgabe wurde dementsprechend formuliert:

- Wir wollen lernen, wie man schwierige SAA löst.

Daraus ergaben sich abgeleitete Lernaufgaben:

- Kann man beim Lösen von SAA so vorgehen wie beim Lösen naturwissenschaftlicher Probleme?
- Wie kann man in SAA zuerst das Gesuchte bestimmen?
- Welche der gegebenen Größen sind für die Errechnung des Gesuchten notwendig? Wie findet man unter den gegebenen Angaben die wesentlichen heraus?
- Wie kann man fehlende Angaben berechnen?

Die für das Lösen von SAA wesentlichen Teilhandlungen sind:

- das Erfassen des Ziels (Formulierung des Gesuchten),
- Erfassen der wesentlichen Größen und der Beziehungen zwischen ihnen,
- Aufstellen adäquater mathematischer Modelle (Gleichungen),
- Lösen der Gleichungen,
- Kontrolle und Bewertung des Lösungsweges und des ermittelten numerischen Ergebnisses,
- Formulierung eines Antwortsatzes, bezogen auf das Ziel.

Im Unterrichtsversuch standen das Erfassen des Ziels, der wesentlichen Größen und der Beziehungen zwischen ihnen sowie die Kontroll- und Bewertungshandlungen einschließlich der Begründung der gefundenen Antwort im Zentrum. Das Aufstellen von Strukturmodellen, das exakte sprachliche Formulieren der Größen und der Beziehungen zwischen ihnen, das Begründen von Rechenoperationen und ihrer Abfolge durch Zurückführung auf die Beziehungen zwischen den Größen ermöglichte bzw. erleichterte den Schülern die geistige Durchdringung der jeweiligen Problemsituation und gewöhnte sie zunehmend an systematisches, zielgerichtetes Analysieren. Die allgemeinen heuristischen Strategien wurden dabei gefestigt und entsprechend der Spezifik der jeweiligen Aufgabe (Struktur, Inhalt) zunehmend flexibel und selbständig eingesetzt. Die Aufstellung und Realisierung der mathematischen Gleichungen sind davon abgeleitete und abhängige Handlungen und wurden in diesem Kontext ausgebildet. Die gegenstandsadäquate Ausführung der für das Lösen von SAA notwendigen Handlungen setzt zugleich auch Kenntnisse über die funktionalen Beziehungen

zwischen bestimmten Größen (2. B. Einzelpreis - Gesamtpreis - Stückzahl, Anfangszeit - Endzeit - Zeitdauer) voraus. Diese Beziehungen stellen einen wesentlichen Teil des Lerngegenstandes dar und müssen durch Untersuchung entsprechender Sachverhalte systematisch angeeignet werden.

3. Gestaltung der Lerntätigkeit

Damit das ausgewählte und aufbereitete gesellschaftliche Wissen und Können tatsächlich zum Gegenstand der Lerntätigkeit der Schüler wird und diese Tätigkeit hinsichtlich ihrer Intensität und Qualität so verläuft, daß die angezielten psychischen Ergebnisse (Persönlichkeitseigenschaften) tatsächlich entstehen, muß die Lerntätigkeit entsprechend gestaltet - geführt und ausgebildet - werden (vgl. Persönlichkeitsentwicklung in der Lerntätigkeit 1988). In den dargestellten Unterrichtsversuchen wurden vor allem die Bedingungen "Problemsituation, Orientierungsgrundlage, Modellierung, Interiorisation und Exteriorisation" systematisch gestaltet, in einigen Unterrichtsversuchen speziell und in anderen ansatzweise auch die Bedingung "Kooperation zwischen den Lernenden",

Um zu erreichen, daß die Schüler die Lernaufgaben selbst - unter pädagogischer Führung - bilden und ableiten (oder zumindest mit Verständnis nachvollziehen), wurde versucht, sie in solche Anforderungs-(Problem-)Situationen zu versetzen, die es ihnen ermöglichen, die Anforderungen mit den eigenen Lernvoraussetzungen in Beziehung zu setzen, zu analysieren und letztere entsprechend zu bewerten. Problemsituationen sind jedoch nicht nur der Ausgangspunkt aktiver geistiger Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand, sondern auch eine wesentliche (nicht die einzige) Form seiner systematischen Aneignung (Problemlösen als spezifische Lernhandlung).

Da die für die Bewältigung neuer Lernanforderungen notwen-

digen Lernhandlungen von den Schülern in der Regel noch nicht bzw. nicht in der notwendigen Qualität beherrscht werden, wurde ihrer systematischen Ausbildung entsprechende Aufmerksamkeit gewidmet. Soweit notwendig, wurden Formen praktisch-gegenständlicher Handlungsausführung und Formen und Etappen ihrer schrittweisen Interiorisation, Reduktion und Automatisierung bestimmt und praktisch realisiert. Auf das Arbeiten mit graphischen und symbolischen Modellen, das sprachliche Formulieren und Reflektieren, das Variieren der Anforderungsstrukturen zum Zwecke der Anforderungssteigerung, das gegenseitige Kontrollieren und Bewerten sowie das Üben von Handlungsvollzügen wurde dabei großer Wert gelegt. Zu einigen Lehrgängen konnten experimentelle Lehr- oder Übungsbücher entwickelt und im Unterrichtsversuch eingesetzt werden. So erarbeiteten und erprobten Studenten der Pädagogischen Hochschule Köthen unter Leitung von Baumann Lehrbuchentwürfe für Naturkunde und Biologie in Anlehnung an unsere Lehrgänge (vgl. Hentschel 1985). Eine wesentliche Form der Vorplanung und Steuerung der Lerntätigkeit waren in allen Unterrichtsversuchen vorbereitete Arbeitsblätter, die Aufgaben, Instruktionen, Lehrtexte und anderes Material und vor allem Leerstellen für die eigene Formulierung von Fragen, Aufgabenlösungen, Verallgemeinerungen, Schlußfolgerungen u. a. für die Ausführung von Übungen, die Ergänzung von Aussagen oder graphischen Schemata, das Ausfüllen von Tabellen usw. enthielten.

3.1. Naturkunde(Biologie/Physik)

In der ersten Naturkunde-Stunde wurden die Schüler - nachdem einige ihrer Kenntnisse über die lebende und nichtlebende Natur aktualisiert worden waren - mit der Frage konfrontiert, warum die Menschen die Natur überhaupt untersuchen. Die Überlegungen der Kinder wurden durch Beispiele von Justus von Liebig und Robert Koch (die bereits in der Kindheit selbständig Naturbeobachtungen und Untersuchungen durchführten und deren wissenschaftliche Leistungen den

Kindern in faßlicher und beeindruckender Weise nahegebracht wurden) ergänzt und präzisiert. So konnten einige wesentliche Beweggründe für die Erforschung der Natur herausgearbeitet werden. In einer Hausaufgabe sollten die Kinder überlegen, was sie selbst gern untersuchen würden und warum. Bei der Auswertung der Vorschläge und Überlegungen markierte der Lehrer Inhalte, die Gegenstand des Naturkunde-Unterrichts bzw. nachfolgender Unterrichtsfächer sein werden, und verwies auf weitere Möglichkeiten, sich mit der Natur zu beschäftigen (Kinderliteratur, außerunterrichtliche Arbeit u. a.). In diesem Gespräch wurde den Schülern zugleich zu Bewußtsein gebracht, daß es bei der Erforschung der Natur nicht nur um das Was und Wozu, sondern immer auch UM das Wie geht. Daraus ergab sich die übergreifende Lernaufgabe (s.o.), deren schrittweise Bewältigung im Verlauf von etwa 14 Unterrichtsstunden zur Gewinnung und Modellierung der Ausgangsabstraktion "Naturvorgang" und zur Ableitung der allgemeinen Vorgehensweise beim Lösen naturwissenschaftlicher Probleme führte. Dies erfolgte in folgenden Schritten:

1. Ableitung der Erkenntnis, daß in der Natur ständig Veränderungen (Naturvorgänge) ablaufen. Die Schüler wurden zunächst mit Heraklids Ausspruch konfrontiert: "Niemand kann zweimal in ein und denselben Fluß steigen." Diese der Erscheinung widersprechende Aussage veranlaßte die Kinder zur Diskussion über das Für und Wider. Sie führten Beispiele an und begründeten die Aussagen. An der Tafel entstand das erste Element des Modells: Veränderung von—> zu. Durch Beobachtung und Beschreibung ausgewählter Naturvorgänge bestimmten die Schüler Eigenschaften der Objekte und deren Veränderungen. Dabei wurde ihnen u. a. auch deutlich, daß Naturvorgänge mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ablaufen.
2. Untersuchung des Naturvorgangs "Rosten von Eisen". Aus dem Vergleich eines blanken und eines verrosteten Eisenstücks stellten die Schüler die Eigenschaften beider Zustände fest und trugen die Veränderungen in das entstehende Modell ein. Ausgehend von der Betrachtung besonders

stark verrosteter Eisenstücke sowie unter Nutzung ihrer Erfahrungen kennzeichneten sie Wirkungen des Rostens, und aus der Analyse von Rostschutzmaßnahmen schlossen sie auf die auslösenden Bedingungen. Entsprechend wurde das Modell des Naturvorgangs entwickelt und am Beispiel konkretisiert.

3. Reflexion über das Vorgehen. Die bisher realisierte Vorgehensweise wurde nun reproduziert und sprachlich formuliert, vom Beispiel abgehoben und verallgemeinert. Es wurden Fragen formuliert, die eine allgemeine Orientierung für die Untersuchung von Naturvorgängen darstellen:

- * Welche Veränderung(en) beobachtest du?
- * Welche Bedingungen führen zu dieser Veränderung?
- * Welche weiteren Wirkungen löst die Veränderung aus?
- * Wie nutzt der Mensch seine Kenntnisse darüber?

4. Aneignung des Lernmodells durch wiederholtes Operieren mit Legesymbolen und Kommentieren der Komponenten und Zusammenhänge des Modells (abgehoben von konkreten Naturvorgängen).

5. Anwendung des Lernmodells bei der Untersuchung eines weiteren Naturvorgangs. Aus einer konkreten Problemsituation (gleichartige Wettererscheinungen wie blauer Himmel und Sonnenschein im Winter und im Sommer, aber unterschiedliche Lufttemperatur) wurde die Frage abgeleitet: „Warum ist es im Sommer wärmer als im Winter?“ Zur Beantwortung dieser Frage mußten die Bedingungen für die Erwärmung der Luft untersucht werden. Hier waren natürlich keine umfassenden Analysen angezielt, sondern es wurden nur erste, elementare Erkenntnisse gewonnen (Dauer der Erwärmung). Danach wurde über das Vorgehen reflektiert, und es entstand schrittweise das Lernmodell "Lösen naturwissenschaftlicher Probleme". Beim Lösen weiterer Probleme wurde großes Gewicht auf die Formulierung von Fragen und Vermutungen durch die Schüler auf der Grundlage des Lernmodells "Naturvorgang" und unter Nutzung ihrer Kenntnisse und Alltagserfahrungen gelegt. Die Schüler wurden zur bewußten Ableitung prüfbarer

Folgerungen aus den Vermutungen veranlasst. Die Befähigung zum Planen der zur Überprüfung der Vermutungen notwendigen Beobachtungen und Experimente erfolgte schrittweise: Zunächst planten die Schüler ihr Vorgehen auf der Grundlage der Vorgabe aller notwendigen Geräte und Materialien bzw. Naturobjekte sowie deren modellmäßiger Darstellungen (Legesymbole). Dann wählten die Schüler die notwendigen Geräte, Materialien und Objekte selbst aus einer größeren vorgegebenen Menge aus, ggf. mit Hilfe entsprechender Legesymbole. Schließlich lernten sie, den Versuchsablauf mittels Versuchsskizzen zu planen. Es ist dann auch möglich, daß die Schüler anhand vorgegebener Versuchsskizzen ihr Vorgehen planen. Vollständige sprachliche Darstellung und gegenseitige Kontrolle und Bewertung dienen der Entwicklung von Bewußtheit, Selbständigkeit und Sicherheit hinsichtlich der Lernhandlungen.

6. Ableitung der Erkenntnis über Energie als Bedingung von Naturvorgängen. Bei verschiedenen Naturvorgängen beschrieben die Schüler die beobachtbaren Veränderungen und die sie auslösenden Bedingungen (z. B. Zufuhr von Wärme oder Bewegung). Als Gemeinsamkeit ganz verschiedener Naturvorgänge erkannten die Schüler - unter Führung des Lehrers -, daß das Vorhandensein von Energie eine notwendige Bedingung für den Ablauf aller Naturvorgänge ist (was im Lernmodell mit dem entsprechenden Symbol ergänzt wurde). Es wurden verschiedene Energieformen gekennzeichnet (Wärme-, Bewegungs-, Licht- und elektrische Energie) und deren Übertragung und Umwandlung am Beispiel einfacher Experimente untersucht. Natürlich konnte hier zunächst nur ein sehr globaler und im Grunde phänomenologischer Energiebegriff gebildet werden.
7. Bezugsetzung der gewonnenen Erkenntnisse zu der zu Beginn formulierten übergreifenden Lernaufgabe, Reflexion über den bisher zurückgelegten Weg und Zusammenfassung. Damit war eine Ausgangsabstraktion gewonnen, die nun zur Untersuchung ausgewählter Vorgänge der nichtlebenden und der lebenden Natur eingesetzt wurde. Dabei wurden die Lern-

handlungen weiter ausgebildet.

Die Untersuchung von Vorgängen der nichtlebenden Natur wurde mit einer Behauptung des Lehrers eingeleitet, die im Widerspruch zu den Erfahrungen der Kinder stand und eine lebhafte Diskussion auslöste: "Ohne Sonnenschein gibt es auch keinen Sturm und keinen Regen!" Unter Führung des Lehrers wurden daraus Lernaufgaben abgeleitet: Wie entsteht eigentlich der Regen? Welche Rolle spielt dabei die Sonne? (Analog bezüglich des Sturms bzw. Windes.) Anhand der allgemeinen Analysefragen des Lernmodells markierten die Schüler die Veränderungen ("Aufsteigen" und "Herabfallen" des Wassers) und stellten die Frage nach Bedingungen dafür. Da die Vorstellung, in den oberen Luftschichten befände sich ein großes Wassersammelbecken (das aber auch einmal leer werden müßte), von den Schülern abgelehnt wurde, entstand für sie die Frage, wie das Wasser überhaupt in die oberen Luftschichten kommt und wie es dann wieder auf die Erde gelangt. Unter Hinweis auf die allgemeine notwendige Bedingung von Naturvorgängen (Vorhandensein von Energie) und die Aussage am Beginn der Stunde gelangten die Schüler zu der Vermutung, daß die Sonne die Energiequelle für die Entstehung des Regens sein könnte. Durch gezielte Beobachtungen sowie Nutzung von Alltagserfahrungen und -wissen wurden Analogien gebildet, die es gestatten, Vorstellungen vom Vorgang der Verdunstung und Kondensation zu gewinnen (z. B. Wasserschalen in der Nähe der Heizung und entfernt von ihr). Damit waren die Vermutungen soweit konkretisiert, daß prüfbare Folgerungen abgeleitet werden konnten (bei Wärmezufuhr müßte das Wasser in die Luft "verschwinden", bei Abkühlung müßte der Wasserdampf wieder flüssig werden). Zur Prüfung der Vermutung wurde ein Experiment zur Verdunstung und Kondensation geplant. Dazu wurden den Schülern Geräte und Materialien in Originalform gezeigt und in Form entsprechender Legesymbole übergeben. Die notwendigen Geräte wurden aus einer größeren Anzahl selbständig ausgesucht und angeordnet. Die Vorschläge der Schüler wurden am Polylux demonstriert und ausgewertet. Es erfolgte eine Einigung auf den günstigsten Vorschlag und die mündliche

Beschreibung des Vorgehens, das anschließend von den Schülern selbständig realisiert wurde. Bei jedem Teilschritt gab es zugleich Kontroll- und Bewertungshandlungen. Bei der Auswertung und Interpretation des Experiments wurden solche Termini wie "gasförmiges und flüssiges Wasser, Luftfeuchtigkeit" u. a. eingeführt, die Analogie zum Wasserkreislauf in der Natur hergestellt und die entscheidende Bedeutung der Sonne für die Entstehung von Wind und Regen herausgearbeitet. Auf empirischer Ebene erfaßten die Schüler, daß Ursache der untersuchten Naturvorgänge die ständig gekoppelte Erwärmung und Abkühlung der Körper ist. Ein - wenn auch elementares - theoretisches Niveau war erreicht, wenn sie erkannten, daß die Voraussetzung für die Erwärmung eines Körpers stets das Zusammentreffen mit einem wärmeren Körper ist, der zwecks Energieausgleich Wärmeenergie abgibt und sich so abkühlt, während der kältere Körper diese Energie aufnimmt.

Nachdem diese Erkenntnis im Verlauf von etwa 7 Stunden gewonnen worden war, begann die Untersuchung von Vorgängen der lebenden Natur (wofür weitere 9 Stunden zur Verfügung standen) mit der Diskussion über die Frage, ob die Lebewesen ohne die Sonne leben könnten. Aufgrund ihrer bisherigen Kenntnisse stellten die Schüler fest, daß es ohne Sonnenschein auf der Erde kalt und dunkel wäre, und kennzeichneten einige Folgen (ohne Wärme kein Wasserkreislauf, ohne diesen kein Pflanzenwachstum, auch Tiere und Menschen brauchen Wasser zum Leben, ohne Wärme würden die Lebewesen erfrieren, ohne Licht kein Pflanzenwachstum, auch Tiere und Menschen brauchen Licht zum Leben). Der Lehrer stellte dem entgegen, daß viele Tiere im Dunkeln leben oder gar keine Augen haben (z. B. Regenwurm, Fledermaus), dass auch erblindete Menschen weiterleben. Ist das Licht also bedeutungslos für sie? Die Untersuchung einiger Nahrungsketten in der Natur (die jeweils bis zu den Pflanzen zurückverfolgt wurden) und die gemeinsame Diskussion führten die Schüler in elementarer Form zu der Erkenntnis, daß alle Tiere und Menschen in ihrer Ernährung letztlich von Pflanzen und damit vom Sonnenlicht abhängen. Warum dies so ist und wozu die Pflanzen das Licht

brauchen, konnten die Schüler nicht erklären, woraus sich für sie neue Lernaufgaben ergaben. Zur Lösung der Lernaufgaben wurde zunächst ein Experiment geplant (mit Versuchsskizzen der Schüler), gemeinsam durchgeführt und ausgewertet, das die Abhängigkeit des Pflanzenwachstums von der Lichtenergie nachwies. Daran schloß sich die genauere Untersuchung der äußeren Veränderungen beim Pflanzenwachstum (Länge, Umfang, Masse) an, wobei die erforderlichen Teilhandlungen wie Messungen, Eintragungen in eine Tabelle, Vergleiche usw. von den Schülern weitgehend selbständig - unter Anleitung des Lehrers - ausgeführt wurden. Dabei wurde - wie an anderen Stellen des Lehrgangs - auch über das Vorgehen beim Lösen der naturwissenschaftlichen Probleme reflektiert und das entsprechende Lernmodell zur Orientierung und Bewertung genutzt. Unter starker Führung des Lehrers wurden daraufhin die stofflichen Veränderungen beim Pflanzenwachstum untersucht (ein elementarer Stoffbegriff wurde gebildet, und auf der Grundlage zahlreicher Beobachtungen und Experimente sowie unter Nutzung von Lehrtexten und Vorwissen der Schüler wurde herausgearbeitet, daß die Pflanzen Wasser, Luft, Nährsalze sowie Licht- und Wärmeenergie aufnehmen und daraus andere Stoffe - Zucker, Fett, Stärke u. a. - bilden). Die Stoffe wurden hinsichtlich ihres Energiegehaltes (mit Bezug zu verschiedenen Energieformen) verglichen und als energieärmere bzw. energiereichere gekennzeichnet. Es wurde die Schlußfolgerung abgeleitet, daß das Sonnenlicht als Energiequelle für die Bildung energiereicherer Stoffe durch die Pflanzen fungiert.

Um zu klären, warum Tiere und Menschen letztlich von pflanzlicher Nahrung abhängen, wurde untersucht, welche Nährstoffe Pflanzen bzw. Tiere und Menschen zur Ernährung brauchen und daraus die Schlußfolgerung abgeleitet, daß Tiere und Menschen nicht mit Hilfe des Lichts energiereichere Stoffe bilden können, sondern sie durch pflanzliche Nahrung direkt oder indirekt aufnehmen müssen. Unter Nutzung ihrer Kenntnisse aus

der Schulgartenarbeit und anderer Erfahrungen stellten die Schüler die Wachstumsbedingungen der Pflanzen, Maßnahmen zu ihrer Sicherung und deren Bedeutung für die tierische und menschliche Ernährung zusammen. Dabei wurden - wie im Verlauf des Lehrgangs - der Bezug zum Lernmodell Naturvorgang hergestellt und ein Fazit gezogen, worin die Schüler ihre wesentlichen Lernergebnisse in Naturkunde sehen und was für sie offen geblieben ist (Ausblick auf die weitere Lerntätigkeit).

Der einführende Lehrgang Naturkunde war darauf gerichtet, die Schüler auf grundlegende Zusammenhänge in der Natur als Ganzes und auf das Zusammenwirken ihrer Bestandteile (speziell die zentrale Bedeutung der Sonne für Vorgänge der nichtlebenden und der lebenden Natur sowie Zusammenhänge zwischen nichtlebender und lebender Natur) zu orientieren, und grundlegende gegenstandsspezifische Lernhandlungen des Beobachtens, Experimentierens und Modellierens, vor allem als Mittel gezielten Problemlösens auszubilden. Damit wurden Voraussetzungen und Lernperspektiven geschaffen, die im 4. Schuljahr bei der Beschäftigung mit Geographie und im 5. Schuljahr in Biologie und Physik aufgegriffen und weitergeführt werden konnten. Es zeigte sich - speziell bei der Konkretisierung der Ausgangsabstraktion Naturvorgang im Bereich der lebenden Natur allerdings auch, daß der Komplexionsgrad der zu untersuchenden Sachverhalte, der dabei zu erfassende Anteil nichtbeobachtbarer Prozesse und Bedingungen, der Vermittlungsgrad der aus Beobachtungen abzuleitenden Folgerungen sehr hohe Anforderungen an die geistige Tätigkeit der Schüler stellte, für deren Bewältigung ihre Vorkenntnisse und das Entwicklungsniveau ihrer kognitiven Prozesse noch nicht ausreichten. Die Anforderungen lagen offensichtlich an der oberen Grenze der Zone ihrer nächsten Entwicklung bzw. teilweise auch darüber (insbesondere für leistungsschwächere Schüler). Es war deshalb ein sehr hoher Aufwand zur didaktischen Vereinfachung und Führung der Lerntätigkeit erforderlich, so daß Abstriche hinsichtlich des im 4. Schuljahr zu erreichenden Konkretisierungsniveaus bei der Untersuchung von Naturvorgängen nahezu legen sind.

Der Unterrichtsversuch Biologie in Klasse 5 baute unmittelbar auf dem in Klasse 4 (allerdings im ersten Drittel des Schuljahres) durchgeführten Lehrgang Naturkunde auf. Für die Gewinnung und Modellierung der Ausgangsabstraktion wurden etwa 18 Stunden (einschließlich - wie auch in den anderen Lehrgängen - Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Kontrollarbeit) gebraucht. Nach Reaktivierung von Kenntnissen über Naturvorgänge und Ableitung des Gegenstands und der Bedeutung der Biologie wurde aus Beobachtungen und Vergleichen und unter Nutzung der vielfältigen empirischen Kenntnisse, die die Schüler über Pflanzen und Tiere sowie zahlreiche biologische Vorgänge zu diesem Zeitpunkt bereits gewonnen haben, eine Problemsituation aufgrund des Widerspruchs zwischen der ungeheuren Erscheinungsvielfalt von Pflanzen, Tieren und Menschen und der Aussage, daß es trotzdem alles Lebewesen sind, geschaffen. Die Schüler formulierten übergreifende Lernaufgaben zur Untersuchung der Gemeinsamkeiten, die den Pflanzen, Tieren und Menschen das Leben ermöglichen, und der Ursachen für ihr unterschiedliches Aussehen. Unter Nutzung ihrer Vorkenntnisse stellten die Schüler gemeinsame Merkmale der Lebewesen zusammen, konnten aber nicht beweisen (bzw. bezweifelten), daß Bewegung und Atmung auch für Pflanzen zutreffen. Daraus ergaben sich abgeleitete Lernaufgaben, die durch entsprechende Beobachtungen und Experimente gelöst wurden. So wurde den Schülern bei dem Versuch einer Prüfung der Annahme, daß auch Pflanzen atmen, bewußt, daß sie mehr über die Atmung von Mensch und Tier wissen müßten, um dies dann bei Pflanzen überprüfen zu können. In dem Zusammenhang entstand die Frage, was eigentlich Luft ist. Nach Demonstration der Bestandteile der Luft und Klärung der Bedeutung des Sauerstoffs für die Atmung von Mensch und Tier sowie der Möglichkeit seines Nachweises wurde den Schülern die Aufgabe gestellt, einen Plan zu entwickeln, wie man nachweisen könnte, ob Pflanzen Sauerstoff einatmen (unter Nutzung einer Vorgabe: frische Blüten befinden sich in einem abgeschlossenen Glasgefäß). Nach Diskussion der Vermutungen und Vorschläge der Schüler wurde der experimentelle Nachweis des Sauerstoffverbrauchs (analog - der Ausatmungsgase) der Pflanzen demonstriert,

von den Schülern beobachtet, in einer Versuchsskizze fixiert und interpretiert. Jeder Schritt wurde anhand vorbereiteter Arbeitsblätter schriftlich formuliert, modellhaft dargestellt und kommentiert. Prinzipiell in gleicher Weise wurde das Merkmal Reizbarkeit gefunden und untersucht. Angeregt durch den Widerspruch, daß einzelne Merkmale nicht das Leben ausmachen (Wachstum von Kristallen, Bewegung von Autos u. a.) und andererseits der Arzt bei einem Unfall nur Atmung und Reizbarkeit prüft, um festzustellen, ob der Verletzte noch lebt, untersuchten die Schüler dann Zusammenhänge zwischen den Lebensfunktionen in der Wechselwirkung zwischen Lebewesen und Umwelt und stellten dies in einem Modell dar.

Zur Lösung der zweiten übergreifenden Lernaufgabe - Ursachen für die Erscheinungsvielfalt des Lebens - verglichen die Schüler Fisch- und Vogelpräparate und äußerten die Vermutung, daß das unterschiedliche Aussehen der Tiere mit den Unterschieden ihrer Umwelt zusammenhängt. Zur Überprüfung der Vermutung war es notwendig, den Körperbau und einige Lebensvorgänge (Fortbewegung, Atmung) der Tiere genauer zu beschreiben, Merkmale ihres Lebensraumes auszugliedern und mit Merkmalen des Körperbaus und der Lebensfunktionen in Beziehung zu setzen. Durch Beobachtungen und Vergleiche, Analogiebildungen, Formulierung von Vermutungen und deren Überprüfung, durch weitere Beobachtungen sowie Modellexperimente gelangten die Schüler z. B. schrittweise zu der Erkenntnis, daß die Federfläche der Flügel sehr dicht ist, keine Luft durchläßt und die Vögel in die Lage versetzt, mit Flügelbewegungen der Schwerkraft entgegenzuwirken, und daß somit die Vögel mit ihrem Körperbau dem Leben in der Luft angepaßt sind. Die Einheit von Lebewesen und ihrer Umwelt und ihre Angepaßtheit an ihre Umwelt wurden anhand weiterer Beispiele für alle Lebewesen verallgemeinert und in einem Lernmodell fixiert, das im weiteren als Orientierungsgrundlage fungierte. (Es erwies sich jedoch in der verwendeten Form als nicht genügend handlungswirksam, wahrscheinlich deshalb, weil es zu stark bei der ikonischen Abbildung der erkannten grundlegenden Zusammenhänge stehenblieb und zu wenig die Hand-

lungen erfaßte, die die Analyse, Abstraktion und Verallgemeinerung ermöglichen.)

Damit die Schüler die Ursachen der Erscheinungsvielfalt der Lebewesen verstehen, war es nun noch notwendig, sie - in elementarer Form - auf den Evolutionsprozeß zu orientieren. Aus der Feststellung der Angepaßtheit der verschiedenen Lebewesen an ihre Umwelt wurde die Frage abgeleitet, wie diese Vielfalt entstanden sein kann. Es wurden einige Informationen über das zeitlich unterschiedliche Auftreten, die weitere Veränderung bzw. das Aussterben von Arten vermittelt und Fossilien demonstriert und erläutert. Eine Vermutung über eine allmähliche Entwicklung in sehr langen Zeiträumen wurde formuliert und durch Darstellung der Veränderung einer Tierart, die in den letzten Jahrzehnten direkt beobachtbar war (Ausmerzung heller und Verstärkung dunkler Birkenspanner), begründet. Dieser Prozeß wurde genauer untersucht, und die Schüler erkannten den Zusammenhang zwischen Angepaßtheit an die sich ändernde Umwelt, Überlebenschancen der Lebewesen und ihrer weiteren Veränderung.

Damit war eine Ausgangsabstraktion geschaffen, die es ermöglichte, einzelne Lebensvorgänge genauer zu untersuchen, ohne den Gesamtzusammenhang zu verlieren. Bei der Arbeit an den Konkretisierungsreihen Reizbarkeit (16 Stunden) und Atmung und Ernährung (24 Stunden) wurden die genannten Lernhandlungen bei der Untersuchung differenzierterer und komplexerer Sachverhalte weiter ausgebildet, ihre Operationalisierung, ihr Selbständigkeits- und Flexibilitätsgrad weiterentwickelt. Zweifellos ist in der 5. Klasse bei weitem kein Abschluß dieses Ausbildungsprozesses zu erwarten. Die Schüler bewegen sich hier noch weitgehend auf einer elementaren, vorwiegend an der Phänomenologie orientierten Ebene. Aber sie eignen sich grundlegende Lernhandlungen des Beobachtens, Experimentierens und Modellierens an, die es gestatten, das entstehende Begriffssystem immer mehr anzureichern und auszubauen und die zunächst unumgängliche Abstraktheit schrittweise zu überwinden.

Im Unterrichtsversuch Physik wurde mit den Schülern der Klasse 5 ein weiterer Schritt zur Analyse und Erklärung nichtbeobachtbarer Prozesse und zum geistigen Operieren auf einer Erklärungsebene (in wechselseitigem Übergang mit einer Beobachtungsebene) vollzogen. Dazu war zunächst notwendig, das Wesen physikalischer Vorgänge zu erfassen. Eine entsprechende Lernaufgabe entstand aus der Anforderung zu kennzeichnen, womit sich die Vertreter verschiedener Naturwissenschaften (Biologen, Physiker, Chemiker) beschäftigen. Während dies den Schülern für Biologie möglich war (paralleler Unterricht in Biologie, Vorkenntnisse aus Heimat- und Naturkunde), konnten die beiden anderen Wissenschaftsgebiete (nichtlebende Natur) nicht unterschieden werden. Verschiedene Naturvorgänge wurden in Experimenten daraufhin untersucht, welche Veränderungen bei Energiezufuhr eintreten und ob sich dabei der Stoff der entsprechenden Gegenstände verändert oder nicht. Dementsprechend wurden physikalische Vorgänge von chemischen abgegrenzt, die Begriffe Körper und Stoff gebildet und die Veränderungen physikalischer Körper auf der Beobachtungsebene (vgl. Abb. 2 - oberer Teil) modellhaft dargestellt. Aufgrund ihrer bisherigen Erfahrungen mit Modellen war den Schülern der Sinn der verwendeten Symbole so weit klar, daß kein Fall einer Identifizierung der äußeren Form (kleines und großes Rechteck) mit spezifischen Eigenschaften physikalischer Körper (Volumen oder anderes) auftrat.

Die Beobachtung und Beschreibung solcher physikalischer Vorgänge wie Sieden unter vermindertem Druck, Diffusion von Flüssigkeiten und Gasen, Mischen von Wasser und Alkohol zu gleichen Teilen ließen bei den Schülern eine Problemsituation entstehen, da die beobachtbaren Veränderungen nicht den Erwartungen entsprachen und mit den bisherigen Kenntnissen und Modellmitteln nicht zu erklären waren (vgl. Abb. 7). Es entstand die Lernaufgabe, den nicht beobachtbaren Vorgang - der zwischen äußeren Bedingungen und unerwartetem Resultat steht - in modellhafter Form sichtbar und analysierbar zu machen, um die Erscheinungen erklären zu können. Durch Analogiebildung mit Hilfe von Modellexperimenten (Mischen

von Erbsen und Zucker u. a.) wurde den Schülern bewußt, daß eine Erklärung der Erscheinungen möglich wird, wenn von einer ganzheitlichen Vorstellung der physikalischen Körper zu einer Teilchenvorstellung übergegangen wird. Dies wurde modellhaft dargestellt (Abb. 8). Der Aufbau der Körper aus Teilchen wurde zur Erklärung unterschiedlicher Erscheinungen und Vorgänge eingesetzt. Bezogen auf beobachtbare Vorgänge wie Volumen- und Temperaturveränderung, Aggregatzustandsänderung u. a. wurden die Begriffe Teilchenabstand, kinetische Energie der Teilchen, Art der Bewegung der Teilchen u. a. schrittweise ausgebildet. Dabei lernten die Schüler, klar zwischen der Beobachtungs- und der Erklärungsebene zu unterscheiden und bewußt von einer Ebene zur anderen überzugehen (vgl. Abb. 2). Die exakte sprachliche Formulierung der geistigen Handlungen auf den Ebenen und beim Übergang zwischen ihnen war dafür eine wesentliche Bedingung (vgl. Abb. 9). Die auszubildenden Begriffe und ihre Wesensmerkmale wurden den Schülern nicht verbal vermittelt, sondern aus der Organisation entsprechender Handlungen von den Schülern selbst (unter pädagogischer Führung) gewonnen. Der Detailliertheit dieser Handlungen und dem Verständnis der Schüler für jeden Teilschritt und seine Notwendigkeit für die Gewinnung einer Erkenntnis kommt dabei entscheidende Bedeutung zu. Begriffe entstehen durch Handlungen, Handlungen stehen hinter den Begriffen. So wurde der Begriff Temperatur aus dem Vergleich der Diffusionsgeschwindigkeiten von Flüssigkeiten unterschiedlicher Temperatur und deren Erklärung mit Hilfe der unterschiedlichen Energie der Teilchen beider flüssiger Körper abgeleitet und als mittlere kinetische Energie der Teilchen bestimmt. Im Verlauf des Aneignungsprozesses konnte allmählich auf die zeichnerische Darstellung der beobachteten Veränderung und ihrer Teilcheninterpretation, auf die schriftliche Darstellung der allgemeinen Bedeutung der Symbole und dann auch ihrer konkreten Bedeutung und der Symbole selbst verzichtet werden. Entstanden aus entfaltetten Handlungen, wurden die Kenntnisse und die Handlungen selbst im Prozeß ihrer Anwendung schrittweise verfestigt und operationalisiert.

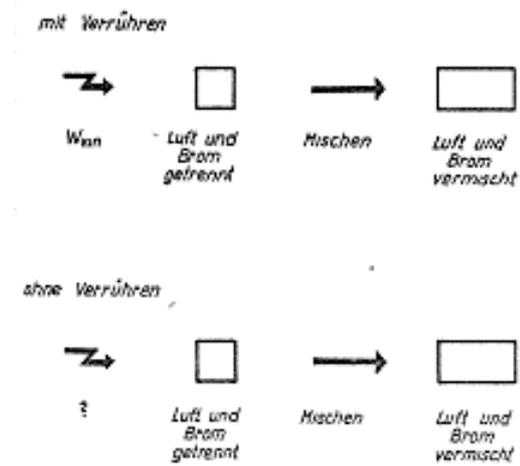


Abb. 7 : Modellhafte Darstellung einer Problemsituation, entstanden aus der Beobachtung der Diffusion von Gasen (nach G/EST 1985)

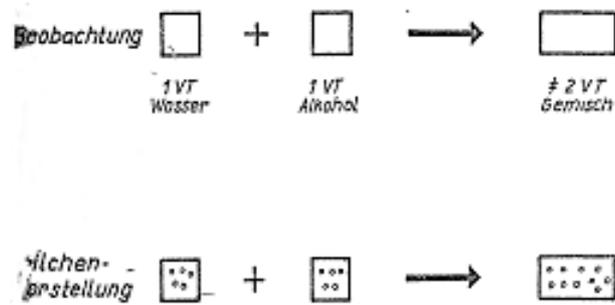


Abb. 8 → Modellhafte Darstellung eines beobachteten Vorgangs und seine Erklärung mit Hilfe des Teilchenmodells (nach GLEIST 1985)

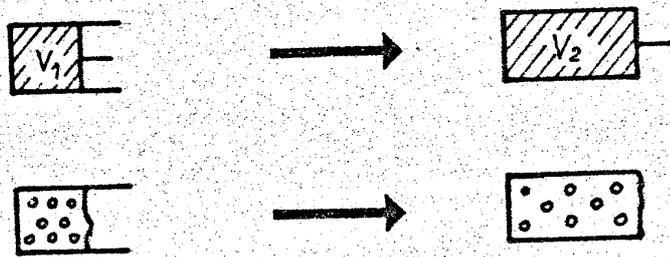
Beobachtung



Energie Körper vorder Veränderung Veränderung Körper nach der Veränderung

W_w V klein ($V_1 = 100 \text{ ml}$) Volumen- ausdehnung V groß ($V_2 = 150 \text{ ml}$)

Zeichnerische Darstellung



Erklärung



Energie Aufbau des Körpers aus Teilchen vor der Veränderung Veränderung Aufbau des Körpers aus Teilchen nach der Veränderung

W_{kin} Teilchenabstand klein Vergrößerung des Teilchenabstands Teilchenabstand groß

Ich habe beobachtet : Bei Wärmeenergiezufuhr dehnt sich ein gasförmiger Körper aus,

weil : die Teilchen mehr kinetische Energie erhalten und sich daher in größeren Teilchenabständen bewegen

Abb. 9 : Beispiel für die Anwendung des Modells bei der Analyse eines konkreten physikalischen Vorgangs (nach GIEST 1985)

Bei auftretenden Schwierigkeiten ist die Rückkehr auf ein früheres Niveau der Materialisierung, Entfaltung usw. prinzipiell möglich.

3.2. Geographie

Die Komplexität und weitgehende Unzulänglichkeit des Lerngegenstandes in Geographie für unmittelbares Wahrnehmen und Handeln und die Kompliziertheit der zur Aneignung erforderlichen Lernhandlungen - bezogen auf die bis zum Ende der Klasse 3 entwickelten Lernvoraussetzungen - veranlaßten Fischer (1987), die grundlegenden geographischen Begriffe und Methoden so in wesentliche Aspekte, Schritte und Teilhandlungen aufzuspalten, daß sie für die Kinder faßbar und ausführbar waren und systematisch angeeignet werden konnten. Auch hier wurde das Anliegen verfolgt, alle Schüler zu aktiver geistiger Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand zu veranlassen, neu auszubildende Lernhandlungen möglichst in praktisch-gegenständlicher Form ausführen und schrittweise interiorisieren und reduzieren zu lassen (soweit erforderlich), die Schüler zum Reflektieren über die Methoden und Quellen und zum gegenseitigen Kontrollieren und Bewerten der Lernhandlungen und Lernergebnisse ~ bezogen auf die jeweiligen Lernaufgaben - zu befähigen.

Mit dem neuen Lerngegenstand wurden die Schüler durch die Darstellung eines Ferienerlebnisses konfrontiert, wonach in einem internationalen Ferienlager die Kinder aus verschiedenen Ländern der Erde sehr unterschiedlich auf die Speisen reagierten, was durch Berichte über Hauptnahrungsmittel der Menschen in diesen Ländern ergänzt wurde. Die Schüler wollten Ursachen dieser und einiger anderer Unterschiede erfahren und äußerten auf der Grundlage ihrer Vorkenntnisse einige Vermutungen dazu. Die Vielfalt von Landschaften der Erde, die sie an ausgewählten Beispielen kennenlernten, machte die Notwendigkeit deutlich, zur Untersuchung der Gebiete Merkmale auszugliedern sowie Quellen

und Methoden, des Wissenserwerbs zu bestimmen. Dabei wurde deutlich, daß die in Naturkunde verwendeten Methoden für die Untersuchung der Erde nicht bzw. nicht in gleichem Maße einsetzbar sind. In knapper und anschaulicher Form wurden die Schüler mit der historischen Entwicklung des Wissens über Form und Größe der Erde und Möglichkeiten ihrer Erfassung und Darstellung bekannt gemacht. Sie lernten, Kontinente und Ozeane nach ihrer symbolhaften Darstellung auf dem Globus und der physischen Weltkarte zu unterscheiden und ihre Lage und Größe zu bestimmen. Dabei ergab sich die Notwendigkeit der Aneignung adäquater Mittel und Aspekte für die Schüler aus ihren eigenen zunächst unsicheren, unklaren oder widersprüchlichen Aussagen (z. B. bei der alleinigen Orientierung am Äquator). Mit einer auflegbaren Windrose wurden die Himmelsrichtungen auf der Umrißkarte erarbeitet und unterschiedliche Übungen zur Lagebestimmung ausgeführt. Allmählich konnten die Schüler auf das unmittelbare Operieren mit dem Hilfsmittel verzichten, es aber zur Kontrolle und Begründung, wenn erforderlich, heranziehen. Aus globalen Größenvergleichen der Kontinente nach der Umrißkarte, Bezugsetzungen zwischen geographischen Größen- und Entfernungsangaben und den Schülern bekannten Entfernungen sowie zunächst nicht lösbaren Aufgaben der Entfernungsbestimmung erwuchs die Notwendigkeit der Aneignung dafür geeigneter Mittel. Ausgehend von bekannten Strecken wurde der Maßstab erarbeitet und zunächst in Form von Papierstreifen zur praktisch-gegenständlichen Bestimmung von Ausdehnungen eingesetzt. Die Schüler erlernten das Prinzip, erkannten aber auch, daß diese Realisierung unbequem und unpraktisch ist. Sie gingen zur Maßstabsleiste und zur Arbeit mit Zirkel und Lineal über und überzeugten sich dabei von der Notwendigkeit sorgfältigen und genauen Arbeitens. Jeder Teilschritt der Handlung mußte genau demonstriert und geübt werden.

Bei der Untersuchung der Erde als Ganzes (Kontinente und Ozeane) wurden kleinere Gebiete und unterschiedliche geographische Objekte ausgegliedert. Sie genauer zu untersuchen ergab sich für die Schule aus einem Auftrag, den Besuch

vietnamesischer Pioniere gründlich vorzubereiten, die das Gebiet von Berlin (als Heimatgebiet der Schüler) so kennenlernen sollten, daß sie ihren Kameraden daheim ausführlich berichten können. Die Schüler machten aufgrund ihrer Vorkenntnisse viele Vorschläge, überzeugten sich jedoch bald davon, daß nur unsystematische Aufzählungen entstanden. Es mußten also Merkmale der Objekte und Ordnungsgesichtspunkte sowie Informationsquellen bestimmt werden. Die Objekte wurden so gruppiert, daß die Zuordnung zu Naturraum und Gesellschaft erfolgen konnte (für die Verallgemeinerung Naturraum hatten die Schüler durch den vorangegangenen Lehrgang Naturkunde gute Voraussetzungen, für die Verallgemeinerung Gesellschaft beschränkten wir uns auf die Feststellung, daß diese Objekte von Menschen geschaffen wurden und ihrem Leben dienen - wird der Lehrgang Geographie nach Natur- und Gesellschaftskunde durchgeführt, sind auch für diese Verallgemeinerung differenziertere Voraussetzungen vorhanden - s. u.). Die Unterscheidung der Bereiche Naturraum und Gesellschaft wurde durch bildhafte und sprachliche Darstellungen anderer Gebiete als allgemeingültig festgestellt. Zugleich wurde dabei wiederum die Vielfalt der Erscheinungsformen von Gebieten und damit die Notwendigkeit ihrer genaueren Untersuchung nach bestimmten Merkmalen deutlich. .

Nach dieser ersten Orientierung im Lerngegenstand, für die etwa 9 Unterrichtsstunden verwendet wurden, begann die systematische (elementare) Erarbeitung der Komponenten der Natur von Gebieten. Dabei wurde ständig der Bezug zum Heimatgebiet - auch im Zusammenhang mit dem angeführten Auftrag - hergestellt, die Untersuchung bezog aber immer auch Darstellungen anderer Gebiete der DDR und anderer Länder mit ein. Die vielfältigen - wenn auch fragmentarischen - Vorkenntnisse und Erfahrungen der Schüler (gewonnen nicht nur aus dem bisherigen Unterricht, sondern z. B. auch aus Ferienreisen, Erzählungen von Angehörigen, Kinderliteratur, Film und Fernsehen) konnten dafür mit genutzt werden und waren ein wichtiger Aktivierungsfaktor.

Als erste Komponente wurden die Oberflächenformen (Relief) und ihre kartographische Darstellung erarbeitet. Die wesentlichen Reliefarten, ihre Formen und Höhen wurden anhand von Bilddarstellungen unterschieden und in graphisch-schematischer Form (als Querschnitt des Höhenzuges) dargestellt. Nachdem die Schüler gelernt hatten, ein einzelnes Objekt (Berg) auf der Karte darzustellen (was sowohl Veränderung der Perspektive, als auch Aneignung adäquater Darstellungsmittel verlangte), sollten sie überlegen, wie man das Aussehen eines im Sandkasten dargestellten Gebietes, bestehend aus mehreren Objekten, festhalten und wiedergeben kann. Sprachliche Beschreibungen erwiesen sich als zu vielfältig und zu ungenau. Die Schüler schlugen das Kartenzeichnen als Alternative vor, und es wurde zunächst geplant, welche Materialien, Kenntnisse und Arbeitsschritte zur Realisierung der Aufgabe erforderlich sind. Durch eigene Skizzenversuche und deren Vergleiche erkannten die Schüler die Notwendigkeit der genauen Beachtung mehrerer Merkmale und ihrer eindeutigen Wiedergabe durch entsprechende Symbole. Schrittweise entstanden eine Legende und die dazugehörige Darstellung des Sandkastengebietes. Dabei wurde die Vorgehensweise gemeinsam detailliert erörtert, geplant, kontrolliert und bewertet. Nachdem die Schüler eine einfache kartographische Darstellung selbst hergestellt hatten, sollten sie vorgegebene Karten interpretieren. So sollten sie zur Vorbereitung einer Wanderfahrt anhand einer Karte entscheiden, ob es günstig ist, Fahrräder zu nehmen. Sprachliche Beschreibungen des auf der Karte dargestellten Gebietes und Vergleiche mit einer plastischen Karte des gleichen Gebietes führten zu einer Entscheidung, die durch die Kennzeichnung des Reliefs (einschließlich gegenseitiger Präzisierungen und Korrekturen) begründet wurde. Die gleichen Merkmale wurden dann auf der physischen Weltkarte identifiziert und weiter differenziert sowie zum Lösen verschiedener Aufgaben an entsprechenden Karten im Atlas angewendet. Schließlich wurden die Oberflächenformen der DDR untersucht. Die Schüler wählten im Atlas selbständig eine geeignete Karte aus und begründeten ihre Wahl mit den für die Oberflächenformen wesentlichen

Merkmale und Darstellungsmitteln. Sie planten die Schritte zur Beschreibung der Lage und Größe der Oberflächenformen der DDR und realisierten sie unter Anleitung des Lehrers durch selbständige Orientierung an der Legende und Ausführung der bisher angeeigneten Teilhandlungen (Ermitteln von Entfernungen, Höhen, Richtungen usw.). Entsprechende Aussagen wurden formuliert und notiert, mit Bilddarstellungen verglichen, in der Umrisskarte nachgezeichnet u. a..

Für diese Erarbeitung des Reliefs wurden 6 Unterrichtsstunden benötigt. Durch die Frage nach Ursachen, warum die Mittelgebirge der DDR unterschiedliche Formen aufweisen, und die Diskussion der Vermutungen der Kinder aufgrund ihrer bisherigen Kenntnisse und Erfahrungen wurde zur Untersuchung des Gesteins und des Bodens und ihrer Beziehungen zueinander und zum Relief übergeleitet. Die Arbeit mit realen Objekten, Bildern, Texten, Tabellen usw. führte zur Kennzeichnung dieser Komponente und ihrer Darstellung im Modell des Naturraumes von Gebieten.

Mit Bezug zu den Kenntnissen über Naturvorgänge wurden Veränderungen des Reliefs durch Frostverwitterung untersucht und Vermutungen darüber angestellt, in welchen Gebieten und unter welchen Bedingungen dies besonders deutlich auftritt und untersucht werden könnte. Angaben zu Temperaturen und Niederschlägen in verschiedenen Gebieten, aus der Arbeit mit Texten, Tabellen und Karten gewonnen, führten die Schüler zur Notwendigkeit der Ausgliederung und Kennzeichnung einer weiteren Komponente (Klima) und ihrer Beziehungen zu den bereits bekannten Komponenten. In ähnlicher Weise wurden die Komponenten Wasser und Pflanzen/Tiere und weitere Beziehungen zwischen den Komponenten erarbeitet und im Modell fixiert. Damit erweiterten sich allmählich die Möglichkeiten der Schüler, Merkmale von Gebieten - besonders auch des Heimatgebietes - nicht nur differenzierter zu beschreiben, sondern zunehmend auch zu erklären, z. B. durch Untersuchungen der Wurzelsprengung, der Zusammenhänge zwischen Relief und Gewässern, der Wirkung des fließenden Wassers. Dabei wurden weiterführende Fragen aus Aufgaben abgeleitet, die auf-

grund des Entwicklungsniveaus von Wissen und Können noch nicht gelöst werden konnten, für die Schüler aus dem Lernkontext heraus aber bedeutsam waren. Vermutungen wurden geäußert und begründet, Modellexperimente geplant und durchgeführt, Bild- und Zahlenmaterial analysiert, Tabellen erarbeitet und ausgewertet usw. Die Arbeit mit den jeweils relevanten geographischen Karten spielte dabei durchgängig eine wesentliche Rolle. Bei der Untersuchung der Natur des

Heimatgebietes wurde das schrittweise aufgebaute Modell als Ganzes eingesetzt. Dieser Teil des Unterrichtsversuchs (nach Erarbeitung der ersten Komponente) umfaßte etwa 13 Stunden (einschließlich Kontrollarbeit). Danach wurden die Komponenten des gesellschaftlichen Bereichs und seiner Wechselbeziehungen mit dem der Natur am Beispiel der DDR und des Heimatgebietes in weiteren etwa 8 Stunden erarbeitet.

3.3 Mathematik

Im Unterrichtsversuch von Küchler (1985) ergab sich die Notwendigkeit übersichtlicher Darstellung und eindeutiger Zuordnung von Aufgaben für die Schüler aus der Anforderung, Märchentitel zusammenzustellen. Die empirischen Erfahrungen der Schüler mit Zuordnungen unterschiedlicher Art reichten zwar aus, um die Anforderung anzunehmen und Lösungsvorschläge zu machen. Dabei traten aber Mißverständnisse, Verwechslungen usw. auf, die es sinnvoll erscheinen ließen, ein für alle gleiches Verfahren zu suchen. In Form eines Modellexperiments (mit einfachen Gegenständen) wurden die Teilhandlungen des Zuordnens (s. o.) zunächst auf praktisch-gegenständlicher Ebene ausgeführt und entsprechend sprachlich formuliert: "Ich bezeichne die Mengen X und Y. Ich nehme ein Element aus der Menge X. Dazu lege ich ein Element der Menge Y. Beide bilden ein geordnetes Paar." Das Vorgehen wurde graphisch veranschaulicht und in verallgemeinerter Form in einem Modell fixiert (Abb. 10), das auf unterschiedliche Sachverhalte Anwendung fand. Dabei wurde jeweils geklärt, was vorliegt bzw. gesucht ist (Mengen, Mengen geordneter Paare) und was wem zugeordnet ist oder wird.

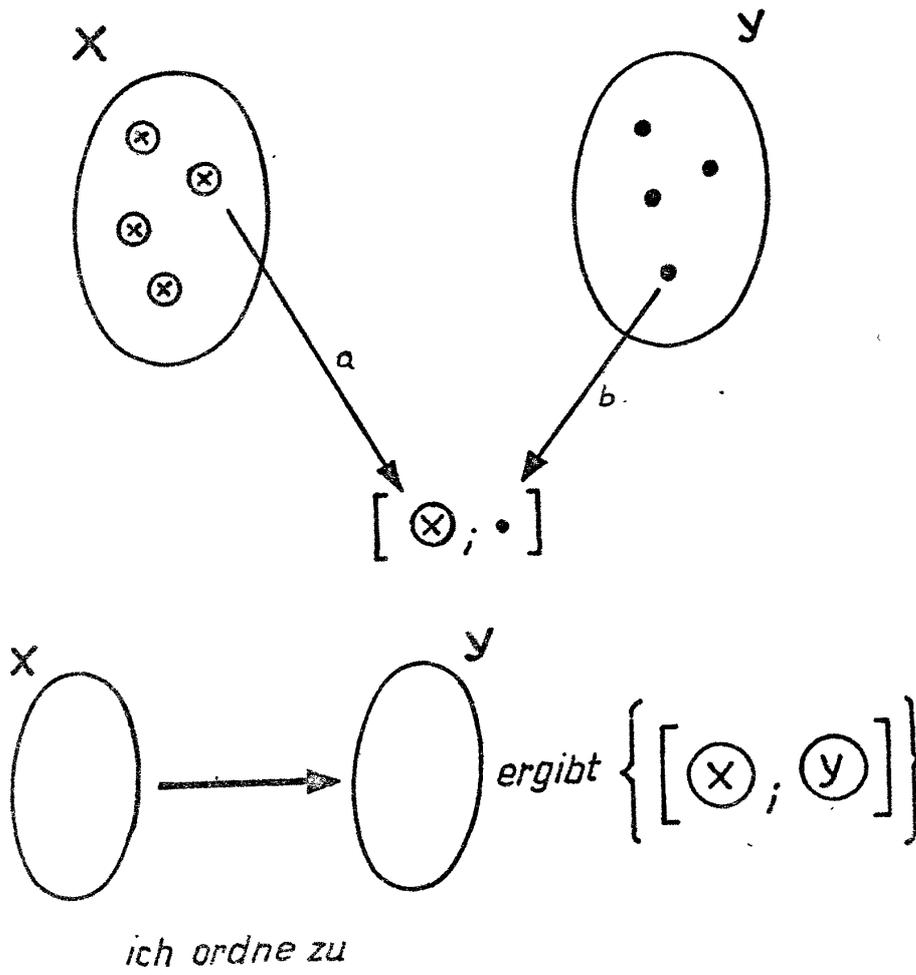


Abb. 10: Entstehung des Lernmodells Funktion (nach KÜCHLER 1985)

Aus unterschiedlichen Zuordnungsvorschlägen in einer Aufgabe wurde die Frage abgeleitet, wie alle Schüler die gleichen geordneten Paare erhalten können. Aus der Diskussion und Prüfung verschiedener Vermutungen ergab sich die Schlußfolgerung, man müsse sich einigen, welche geordneten Paare entstehen sollen, und man brauche dazu eine Vorschrift, die zunächst für den jeweiligen konkreten Fall verbal formuliert wurde. Der Begriff "Vorschrift" und die Entstehung einer Menge geordneter Paare wurden in das Modell aufgenommen.

Nachdem das Verfahren des Zuordnens in dieser allgemeinen Form erarbeitet und bei der Untersuchung einiger Fälle eingesetzt worden war (im Verlauf von 4 Unterrichtsstunden), wurden Darstellungsmöglichkeiten für Zuordnungen untersucht (weitere 6 Stunden). An einem längeren Text wurde die Anforderung, die identifizierten geordneten Paare übersichtlich darzustellen, bewußtgemacht, und eine entsprechende Lernaufgabe wurde abgeleitet. Aus den Vorkenntnissen der Schüler ergab sich der Vorschlag, dafür die bereits bekannte Tabellenform zu nutzen. Dies erfolgte wiederum schrittweise in materialisierter und verbalisierter Form: "Ich bezeichne eine (selbst angefertigte oder nur vorgegebene) Tabelle. Ich trage die beiden vorliegenden Mengen entsprechend ihrer Reihenfolge in die Tabelle ein. Ich notiere die Elemente, die einander zugeordnet sind." Ausgehend von Texten wurden Wertetabellen angelegt, wobei für die Mengen X und Y jeweils inhaltliche Kurzbezeichnungen formuliert und unter Zuhilfenahme des Modells die Reihenfolge der einzutragenden Elemente bestimmt wurden. Analog erfolgte die Ausbildung der umgekehrten Handlung beim Lesen und Interpretieren oder Vervollständigen von Tabellen verschiedener Art (gegenständliche Inhalte, abstrakte Zahlbeziehungen).

Das Koordinatensystem als Darstellungsmöglichkeit wurde in einer Problemsituation eingeführt, die mit den bisherigen Kenntnissen nicht zu lösen war (Darstellung des Wanderweges einer Pioniergruppe auf einer Karte und in Textform mit Koordinatenangaben). Die erforderlichen Teilhandlungen wurden

schrittweise durch die Ausführung von Handbewegungen, ihre Darstellung mit Hilfe von Pfeilen und die entsprechende verbale Formulierung ausgebildet, wobei zunächst am Quadrat gearbeitet wurde, das in gleiche Felder ("Kästchen") aufgeteilt war (Abb. 11): "Wir bezeichnen das Quadrat einheitlich. Zuerst waagrecht von links nach rechts (X-Achse). Dann senkrecht von links unten nach links oben (Y-Achse). Die Elemente werden im gleichen Abstand vom Anfangspunkt eingetragen. Wir bezeichnen die Elemente." Um für ein gegebenes geordnetes Paar den entsprechenden Punkt (zunächst ein Kästchen) im Quadrat (das im weiteren zum Koordinatensystem vereinfacht wurde) zu finden, wurden die Teilhandlungen ebenso detailliert ausgebildet: "Auf der waagerechten (X-) Achse bis zur ersten Koordinate, senkrechte Hilfslinie nach oben. Auf der senkrechten (Y-) Achse bis zur zweiten Koordinate, waagerechte Hilfslinie nach rechts. Wo sich beide Hilfslinien schneiden, liegt das Kästchen (der Punkt)." Analog wurde bei der Bestimmung der Koordinaten eines gegebenen Kästchens (Punktes) verfahren. Aufgaben unterschiedlichen Inhalts und unterschiedlicher Form dienten dazu, die Handlungsausführung in abwechslungsreicher und die Kinder ansprechender Art und Weise zu üben. Dies wurde bis zur Anfertigung einfacher Diagramme (aus Wertetabellen oder Texten) und zur Auswertung und Interpretation derartiger Diagramme geführt (z. B. Darstellungen von Klimaerscheinungen, Fieberkurven, Sammelergebnissen von Pioniergruppen und Schulklassen).

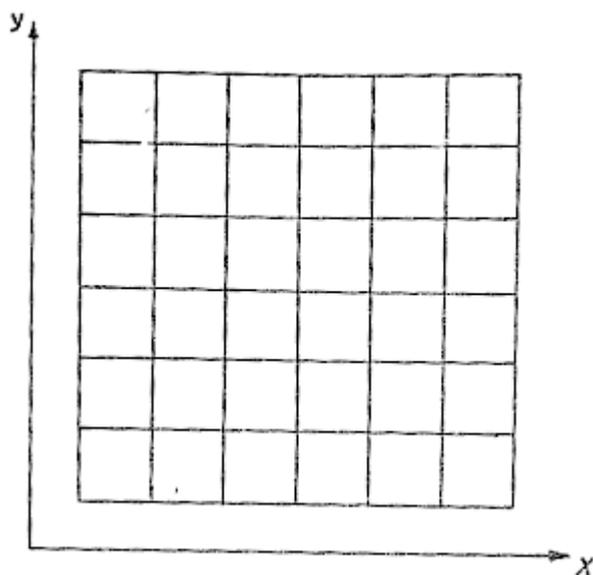


Abb. 11: Einführung des Koordinatensystems (noch KÜCHLER 1985)

Zur Gewinnung der Vorschrift für die lineare Funktion wurde eine Problemsituation geschaffen, die in der Schwierigkeit bestand, gleiche Flüssigkeitsmengen für unterschiedliche Gläser zu bestimmen und in einer Wertetabelle übersichtlich darzustellen. Nach mehreren praktisch-gegenständlichen Versuchen wurde vom Lehrer die Frage aufgeworfen, ob das Modell zur Bildung geordneter Paare Hilfe bei der Lösung solcher schwieriger Aufgaben leisten könne und es möglich wäre, die Lösung auf mathematischem Wege einfacher zu finden. Für die Schüler entstand wiederum die Frage nach dem Wie. Zur Bestimmung der fehlenden Werte wurde die Werte-

tabelle hinsichtlich der Beziehungen zwischen den Elementen im geordneten Paar untersucht und der jeweils gleiche Faktor k herausgefunden. Die Vorschrift für die Bildung geordneter Paare dieser Art wurde als Gleichung $x \cdot k = y$ formuliert und auf entsprechende Aufgaben angewendet. Das Modell wurde entsprechend ergänzt (vgl. Abb. 5). Die gleichen Werte wurden dann im Koordinatensystem dargestellt und hinsichtlich ihrer Lage analysiert. Es konnte die Erkenntnis gewonnen werden: "Gilt $x \cdot k = y$, so liegen entsprechende Punkte im Koordinatensystem auf einem Strahl."

Die dargestellte Gewinnung der Vorschrift und des Verfahrens der rechnerischen und zeichnerischen Ermittlung fehlender Werte bei konstantem Faktor k erfolgte in 4 Unterrichtsstunden. In einigen weiteren Stunden wurden verschiedenartige Anwendungsaufgaben gelöst. So mußten geordnete Paare aus verbal vorgegebenen Elementen der Menge X und einer konkreten Vorschrift unter Nutzung der Wertetabelle und des Koordinatensystems bestimmt, fehlende Werte in einer Wertetabelle ermittelt, geordnete Paare selbständig auf der Grundlage einer konkreten Vorschrift gebildet, Sachaufgaben gelöst werden, in denen das Vielfache bzw. der k -te Teil einer Größe mit zwei Operationen zu bestimmen war. Auf diese Weise analysierten die Schüler funktionale Beziehungen der direkten Proportionalität in unterschiedlichen Erscheinungsformen und führten sie auf ihr mathematisches Wesen (im dargestellten Umfang und Niveau) zurück. Wie bereits oben vermerkt, ergaben sich daraus verschiedene Linien der Konkretisierung und Erweiterung. In unserem Unterrichtsversuch wurde nur das Lösen von Sach- und Anwendungsaufgaben weiter verfolgt.

SAA sind den Schülern aus dem bisherigen Unterricht bekannt. Deshalb besteht hier nicht die Aufgabe, den Schülern einen neuen Lerngegenstand zu erschließen, sondern eine neue Sicht oder ein neues Herangehen zu erreichen. Es geht dabei vor allem um eine Umorientierung. Während die Ausbildung des Lösens von SAA bisher weitgehend empirisch erfolgte –

bezogen auf jeweils konkrete Aufgaben, ihre Inhalte und Strukturen - und die Schüler dabei in der Regel von den im Text enthaltenen Zahlenangaben und Hinweiswörtern ausgingen und versuchten, geeignete Verknüpfungen von Zahlen zu finden (häufig erfolglos oder fehlerhaft, wenn es sich um nicht oder wenig geübte Aufgabenstrukturen handelte), sollten sie sich nun ein allgemeines Lösungsverfahren bewußt aneignen, das auf unterschiedlichste Strukturen und Inhalte anwendbar ist und die Analyse des Gesuchten und seiner gesetzmäßigen Beziehungen mit anderen Größen fordert. Zwar hatten die Schüler in der Unterstufe auch ein allgemeines Verfahren für das Lösen von SAA kennengelernt, das aber wenig handlungswirksam ist, da es zu wenig auf die Analyse des Problems, mehr auf den formalen Handlungsablauf orientiert, ausgehend vom Gegebenen. Die real bei vielen Schülern unter diesen Bedingungen entstehenden Strategien sind wenig effektiv. Häufig reduzieren sie sich auf eine mehr oder weniger blinde Versuch-Irrtum-Methode bzw. führen leicht zu vorrangigem Übernehmen vorgemachter oder vorgegebener Lösungen und zum Aufgeben der Lösungsbemühungen bei Schwierigkeiten. Die meisten Schüler reflektieren unter diesen Bedingungen wenig über ihr Vorgehen und dessen Voraussetzungen, können die eingesetzten Strategien und ausgeführten Handlungen kaum klar sprachlich formulieren und bewußt auf andere Anforderungen übertragen. Sie sind in der Regel mehr auf das Erlangen (irgend-) eines Ergebnisses orientiert als auf die dazu erforderliche Methode und ihre Begründung,

Im Unterrichtsversuch von Reinhold (1988) sollte den Schülern zunächst das Wesen von SAA bewußt werden. Anknüpfend an den Unterrichtsversuch Naturkunde wurden ihnen sprachliche und bildliche Informationen über Tropfsteinhöhlen vermittelt und daran die Aufgabe geknüpft, das Alter eines Stalagmiten zu bestimmen. Die Schüler äußerten Vermutungen und machten Vorschläge für deren experimentelle Überprüfung, mußten aber bald erkennen, daß die experimentelle Methode hier nicht anwendbar ist. Es wurde eine andere Methode gesucht und in der Anwendung der Mathematik, speziell im Lösen von SAA gefunden.

Die Schüler bildeten selbst verschiedene Varianten von SAA zum gegebenen Sachverhalt und gelangten unter Anleitung zu der Verallgemeinerung, daß SAA Probleme aus dem täglichen Leben beschreiben und mit Hilfe der Mathematik gelöst werden können. Aus selbständigen Versuchen, die formulierten Aufgabenvarianten zu lösen, und der Diskussion über die dabei auftretenden Schwierigkeiten, Fehler und unterschiedlichen Vorgehensweisen in der Klasse ergab sich die übergreifende Lernaufgabe: Wir wollen lernen, wie man (solche) schwierigen SAA löst. Diese Orientierung auf die Methode wurde bei einer weiteren SAA verstärkt - es traten ganz unterschiedliche Lösungswege und Ergebnisse auf, weil unterschiedliche Größen als gesucht zum Ausgangspunkt genommen wurden. Mit Bezug zu den Erfahrungen aus Naturkunde begründeten die Schüler, daß man auch beim Lösen von SAA zuerst das Gesuchte bestimmen muß. Aus diesbezüglichen Schwierigkeiten wurden die Feststellung und sprachliche Formulierung des Gesuchten zur gezielten Lernaufgabe, die an unterschiedlichen SAA gelöst wurde.

Aus selbständigen Lösungsversuchen einer weiteren schwierigen SAA und den unterschiedlichen Realisierungen wurde den Schülern bewußt, daß sie lernen müssen, wie man, ausgehend vom Gesuchten, unter den gegebenen Angaben diejenigen herausfindet, die zum Berechnen des Gesuchten notwendig sind. Unter Nutzung von Kenntnissen aus dem bisherigen Unterricht sowie Alltagserfahrungen wurden aus unterschiedlichen Sachverhalten und Situationen Größen ausgegliedert und Vermutungen formuliert, welche anderen Größen und Beziehungen zwischen ihnen für deren Berechnung wesentlich sein könnten. Die Schüler formulierten dazu mögliche Fragen. Unter Anleitung prüften sie systematisch die funktionalen Beziehungen zwischen bestimmten Größen (Preise, Zeiten, Längen, Massen) auf praktisch-gegenständlicher Ebene, indem jeweils eine Größe verändert und die Auswirkung auf eine andere Größe festgestellt wurden. Dies wurde in Tabellenform erfaßt (Abb. 12). Als wesentlich für die Berechnung einer gesuchten Größe wurden die Größen erkannt, deren Veränderung

eine Veränderung der gesuchten bewirkt. Diese Beziehungen zwischen den Größen wurden in einem Modell dargestellt (Abb. 13), und es wurde verallgemeinert, welche Größen in welcher Beziehung zueinander stehen und wie eine jeweils gesuchte berechnet werden kann. Im Weiteren wurde die Erkenntnis gewonnen, daß zum Berechnen einer gesuchten Größe stets mindestens 2 Angaben notwendig sind.

1. gegebene Größe	Gesuchte Größe	2. gegebene Größe	Gesuchte Größe	3. gegeben Größe	Gesuchte Größe

Abb. 12: Erfassung der funktionalen Beziehung zwischen Größen auf der Grundlage praktisch-gegenständlicher Handlungen (Veränderung von Größen und Prüfung der Auswirkung auf eine andere Größe) (nach Reinhold 1986)

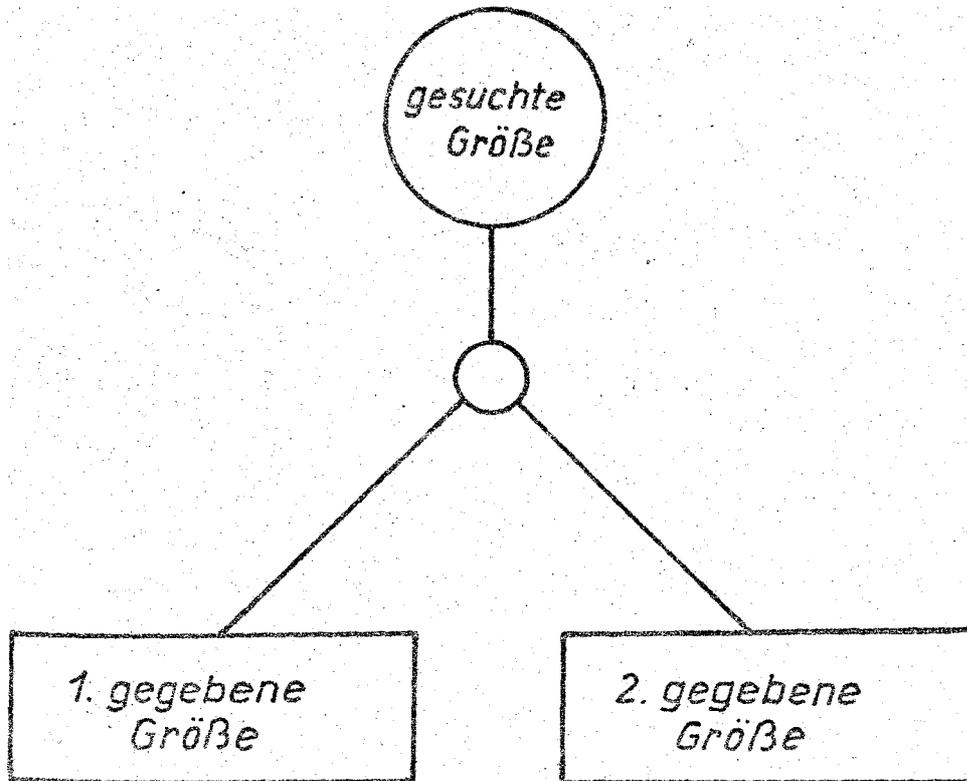


Abb. 13: Entstehung des Strukturmodells für SAA aus der Untersuchung funktionaler Größen
(nach REINHOLD 1988)

Diese Voraussetzungen für das Lösen von SAA wurden im Verlauf von etwa 10 Unterrichtsstunden erarbeitet. Sie wurden in weiteren 3 Stunden auf das Lösen von SAA angewandt, in denen an unterschiedlichen Inhalten die Beziehung zwischen einer gesuchten und zwei dafür wesentlichen gegebenen Größen zu finden war (aus verschiedenen unwesentlichen Angaben). Dabei mußten alle Teilhandlungen im Zusammenhang ausgeführt werden, wobei der Schwerpunkt bei der Analyse und modellhaften Darstellung der Aufgabenstruktur (Größen und ihre Beziehungen) und Aufstellung der mathematischen Gleichungen auf dieser Grundlage sowie bei der Reflexion über das Vorgehen lag. Die Schüler arbeiteten dabei verstärkt kooperativ (in Zweier-Gruppen): Vor dem Lösungsprozeß gab jeweils ein Schüler das Vorgehen in abstrakt-verbaler Form an. Beide Schüler lösten die Aufgabe selbständig. Danach erläuterte und begründete der zweite Schüler dem ersten seinen Lösungsweg und sein Ergebnis. Beide Schüler kontrollierten und bewerteten Lösungsweg und Ergebnis wechselseitig.

Das soweit angeeignete allgemeine Verfahren wurde in den folgenden 7 Stunden auf SAA mit erweiterter Struktur und bisher verwendeten Inhalten (Größen) angewendet. In einer sehr umfangreichen und deshalb für die Schüler unübersichtlichen SAA mit unterschiedlichen Sachverhalten und unwesentlichen Angaben war eine für die Berechnung des Gesuchten wesentliche Größe nicht gegeben. Aus den Lösungsversuchen und Schwierigkeiten ergab sich die Lernaufgabe zur Bildung und Berechnung von Teilzielen. Die Schüler erkannten, daß fehlende wesentliche Größen wiederum als Gesuchtes behandelt und das bisherige Strukturmodell entsprechend erweitert werden müssen. Beim Lösen unterschiedlicher SAA entstanden Varianten des Strukturmodells in Abhängigkeit von den jeweiligen Zusammenhängen zwischen gesuchten und gegebenen Größen (im Umfang von zwei abhängigen Operationen). Im weiteren wurden den Schülern SAA zum Lösen vorgelegt, deren Inhalt ihnen weniger oder gar nicht bekannt war, z. B. die Beziehung zwischen physikalischen Kräften (Einzel-

kräfte - Gesamtkraft) oder die Durchschnittsbildung. Durch Anwendung des Verfahrens zur Analyse und Lösung von SAA eigneten sich die Schüler dabei neue fachspezifische Kenntnisse über Größenbeziehungen und mathematische Gesetzmäßigkeiten an.

Bei der Erarbeitung des jeweiligen Strukturmodells dominierte das Rückwärtsarbeiten und damit die Bildung von Teilzielen. Bei der Aufstellung des mathematischen Modells (der Gleichungen) und der Realisierung des Lösungsweges konnte auf dieser Grundlage vorrangig vorwärts gearbeitet werden (was Rückgriffe, Kontrolle und Korrektur bereits absolvierter Schritte natürlich nicht ausschließt). Es wurde großer Wert darauf gelegt, daß die Schüler alle Teilhandlungen des Lösens von SAA exakt ausführten und begründeten, das erreichte Ergebnis auf das Gesuchte und den zurückgelegten Weg bezogen und über ihr Vorgehen reflektierten. Dabei spielte die wechselseitige Kontrolle und Bewertung bei jeder Teilhandlung und nach Abschluß des Lösungsprozesses (auch in Form zusammenhängender sprachlicher Darstellung und Begründung des absolvierten Lösungsweges) eine bedeutsame Rolle. Die Sicherung der entfalteten Handlungsausführung, ihrer Unterstützung durch praktisch-gegenständliches Handeln und Modellieren sowie Verbalisieren war die Voraussetzung dafür, daß die Teilhandlungen zunehmend integriert und die Gesamthandlung zunehmend selbständiger, sicherer und der jeweiligen Aufgabe adäquat ausgeführt und allmählich reduziert und interiorisiert werden konnten (natürlich nicht bei allen Schülern in gleichem Tempo und Umfang und immer in Abhängigkeit von den konkreten Anforderungen).

Dieses Vorgehen zur Ausbildung des Lösens von SAA ist prinzipiell auch geeignet für die Arbeit auf früheren Klassenstufen, wodurch die Notwendigkeit der dargestellten Umorientierung der Schüler vermieden oder zumindest der Grad der erforderlichen Umorientierung von vorrangig empirischem zu mehr theoretischem Herangehen an SAA verringert werden könnte. Selbstverständlich müßten die konkreten subjektiven Voraussetzungen der Schüler in Klasse 2 oder 3 entsprechend

berücksichtigt werden. Bei einem so angelegten und über mehrere Schuljahre systematisch aufgebautem Vorgehen sind die Schüler ganz sicher zur Bewältigung komplizierterer Aufgabenstrukturen und Inhalte zu befähigen. Dies zu untersuchen, war jedoch nicht Gegenstand der dargestellten Untersuchung.

4. Lernergebnisse

In den dargestellten Unterrichtsversuchen wurden durch Prä-Post-Vergleiche unserer Versuchsklassen (VK) mit gleichwertigen Kontrollklassen (KK), die nach dem zu der Zeit gültigen Lehrplan und entsprechenden Anleitungsmaterialien (Unterrichtshilfen u. a.) von erfahrenen Lehrern unterrichtet wurden, ein gleiches Ausgangsniveau und gleichartige Rahmenbedingungen aufwiesen (soziales Milieu, Schulausstattung u. a.), Lernleistungen der Schüler erhoben. In der Regel wurden auch Zwischenergebnisse im Verlauf des Unterrichtsversuches erfaßt und, soweit möglich, verzögerte Posttests durchgeführt. Dies erfolgte sowohl mit im Klassenunterricht üblichen Methoden (schriftliche Arbeiten, Beobachtung, Befragung) als auch mit spezielleren Methoden in Form von Einzelversuchen. Wenn es vom Inhalt des Unterrichtsversuchs her sinnvoll war, wurden ältere Klassenstufen zum Vergleich herangezogen, in denen laut Lehrplan Sachverhalte vermittelt werden, die aufgrund unserer Lehrstrategie nach Klasse 4 oder 5 vorgezogen werden sollten. Die konkrete Untersuchungsmethodik und die ihr zugrunde liegenden Fragestellungen und Hypothesen können den oben angegebenen Arbeiten entnommen werden. Es zeigte sich durchgängig - wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung und Form -, daß die Lehrstrategie A—> K bedeutsame Potenzen für die Effektivitätssteigerung der Lerntätigkeit enthält. Dies gilt sowohl für die Ausbildung gegenstandsspezifischer Lernhandlungen und entsprechender Sach- und Verfahrenskennntnisse als auch für allgemeinere kognitive, motivationale und andere Entwicklungseffekte. Die Ergebnisse zu den von uns

untersuchten Aspekten der psychischen Regulation und Entwicklung der Lerntätigkeit werden in der Monographie eines Autorenkollektivs "Psychologische Analysen der Lerntätigkeit" (1989) dargestellt. Hier wollen wir uns auf einige ausgewählte Beispiele gegenstandsspezifischer Lernergebnisse beschränken, die den oben angegebenen Arbeiten entnommen sind. Zu ihrer Einordnung und Wertung sind einige Erläuterungen erforderlich.

Nicht selten hört man das Argument, daß bessere Lernergebnisse in Versuchsklassen eigentlich selbstverständlich seien und nichts belegen, da hier größerer Aufwand betrieben wurde und größeres Engagement der Beteiligten vorausgesetzt werden müsse. Die genannten Faktoren spielen gewiß eine Rolle und können u. U. sogar zur Verfälschung oder Fehlinterpretation von Ergebnissen führen. Sie können die Ergebnisse jedoch nicht erklären. Wenn im Vergleich zu bisher üblichen und als angemessen betrachteten wesentlich veränderte Anforderungen an die Lerntätigkeit hinsichtlich des Lerngegenstands, des Aneignungsniveaus, der Vorgehensweisen usw. gestellt und wesentlich veränderte Ausbildungsbedingungen geschaffen werden, ist die Frage, ob die hypothetisch gesetzten Ziele überhaupt bzw. in welchem Maße erreichbar sind, keineswegs trivial. Natürlich muß ihre Beantwortung von vergleichbaren Bedingungen wie aufgewendete Unterrichtszeit, Qualifikationsgrad der Lehrer, Entwicklungsniveau der beteiligten Klassen u. v. a. ausgehen. Deren Berücksichtigung bzw. Parallelisierung ist allerdings immer auch von dem realisierbaren Forschungsaufwand abhängig und erfordert in der Regel einen begründeten Kompromiß zwischen den Forderungen eines hohen methodischen Standards und den Möglichkeiten seiner praktischen Realisierung, insbesondere in Untersuchungen unter natürlichem Unterrichtsbedingungen mit Erkundungscharakter.

Hinsichtlich des Aufwandes bei der Vorbereitung und Durchführung von Unterrichtsversuchen sind Versuchsklassen durchaus nicht in der privilegierten Lage, die man ihnen häufig

zuschreibt. Wenn man die in Lehrplänen, Lehrbüchern, Unterrichtsmitteln, Unterrichtshilfen, Methodiken und anderen Materialien vergegenständlichten Ergebnisse und Erfahrungen der Arbeit großer Kollektive von Wissenschaftlern und Praktikern, die Aus- und Weiterbildung sowie schulpolitisch-pädagogische Führung der Lehrer und ihre mehr oder weniger langjährige Erfahrung berücksichtigt (bekanntlich erreichen allgemein in der Schulpraxis eingeführte Lehrpläne erst nach mehrjähriger Realisierung ihre volle Wirkung), dann ist die Ausarbeitung, Anleitung und Durchführung eines Unterrichtsversuches durch einen oder eine kleine Gruppe von wissenschaftlichen Mitarbeitern, Aspiranten und Forschungslehrern im Rahmen eines pädagogisch-psychologischen Forschungsprojektes ein vergleichbar kleiner Aufwand. Die damit gewonnenen Ergebnisse können Hypothesen stützen und präzisieren, bedürfen aber weiterer Überprüfung und Bestätigung unter zunehmend "normalen" schulischen Bedingungen - in größerem Umfang, bei entsprechender Anleitung und Sicherung der notwendigen Materialien, bei Einordnung in die ganze Komplexität des pädagogischen Prozesses usw.

Lernergebnisse aus Unterrichtsversuchen sollten weder unter- noch überschätzt werden. Auch wenn sie sich nicht diametral, wohl aber signifikant von Ergebnissen der Kontrollklassen unterscheiden, weisen sie auf ernstzunehmende Potenzen der realisierten Lehrstrategie bzw. bestimmte Aspekte derselben hin. Andererseits stellen sie in der Regel kein Optimum oder gar Maximum dar, sondern Tendenz- und Möglichkeitsaussagen, die weiterer Überprüfung und Einordnung in die für den pädagogischen Prozeß relevanten komplexen Zusammenhänge bedürfen.

4.1 Verstehen von Naturvorgängen

Die Aneignung elementarer naturwissenschaftlicher Kenntnisse und entsprechender Lernhandlungen wurde von Irmscher (1982), Hinz (1984) (1985), Giest (1985) analysiert. Wir beschränken uns auf einige Ergebnisse von Hinz (1985) aus dem Unterrichtsversuch Naturkunde (erstes Drittel des 4. Schuljahres) und von Giest (1985) aus dem Unterrichtsversuch Physik (erste Hälfte des 5. Schuljahres).

Unterrichtsbeobachtungen und Ergebnisse einer Kontrollarbeit nach der Erarbeitung der Ausgangsabstraktion zeigten, daß Schüler der Klasse 4 in der Lage sind, unter den von uns gestalteten Bedingungen einen - wenn auch elementaren - allgemeinen Begriff vom Naturvorgang zu bilden und mit ihm zu operieren (Hinz 1985, S. 52 ff.). Die einzelnen Merkmale und Beziehungen der Ausgangsabstraktion wurden in verschiedenen Aufgaben von 65 bis 80 % der Schüler von 2 Versuchsklassen (n = 36) vollständig und von weiteren 20 bis 15 % teilweise richtig reproduziert; fehlerhafte oder keine Reproduktion trat zwischen 5 und 20 % auf. So konnten 80 % der Schüler alle zur Analyse eines Naturvorgangs erforderlichen allgemeinen Begriffe (entsprechend unserem Vorgehen) in ein leeres Schema des Modells eintragen, weitere 15 % erfüllten die Aufgabe nicht vollständig. Die Angabe der Energieformen einer rollenden Kugel, von Sonnenstrahlen, des fließenden Wassers, des elektrischen Stromes gelang 70 % der Schüler vollständig, weiteren 20 % unvollständig. Die Anwendung der Kenntnisse auf neue Erscheinungen bereitete den Kindern naturgemäß mehr Schwierigkeiten. So konnten nur reichlich 60 % der Schüler formulieren, was beim Reiben der Hände mit der Bewegungsenergie passiert, und nur knapp 40 % waren in der Lage, das zu beobachtende Schmelzen von Zucker im Modell des Naturvorgangs adäquat sprachlich wiederzugeben (55 % der Schüler bewältigen diese Aufgabe teilweise richtig). Bei beiden Anforderungen zeigten sich in größerem Umfang Schwierigkeiten der eindeutigen Erfassung und sprachlichen Formulierung entsprechender Sachver-

halte, z. B. der klaren Unterscheidung zwischen der Veränderung beim Schmelzen und weiteren Wirkungen der Erwärmung. Dies war auch im Unterricht mehrfach zu beobachten und weist auf die Notwendigkeit hin, die Begriffsaneignung konsequent als Einheit von praktisch-gegenständlicher Tätigkeit, Beobachtung, gedanklicher Verarbeitung und sprachlicher Formulierung zu organisieren und jede dieser Seiten in Wechselbeziehung mit den anderen sorgfältig auszubilden. So wurde der sprachlichen Gestaltung des Unterrichts und der Kontrolle und Bewertung der Schüleräußerungen im Unterrichtsversuch noch nicht ausreichend Aufmerksamkeit gewidmet.

Sowohl nach dem Lehrplan Heimatkunde Klasse 4 als auch in unserem Unterrichtsversuch Naturkunde lernten die Schüler den Wasserkreislauf kennen. Zur Reproduktion ihrer Kenntnisse hatten sie Fragen über die Veränderung der Zustandsform des Wassers bei der Verdunstung und bei der Kondensation und über die dabei wirkende Bedingung zu beantworten sowie die Begriffe Eis, Wasser, Regen, Wasserdampf, festes Wasser, Schnee, flüssiges Wasser in ein leeres Schema einzuordnen, d. h. eine Über-, Unter- bzw. Nebenordnung der Begriffe herzustellen. Die Ergebnisse von 2 Versuchsklassen (n = 35) und 3 Kontrollklassen (n = 50) zeigt Abb. 14.

Die Unterschiede sind signifikant auf dem 5%-Niveau. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der Reproduktion von Kenntnissen über die Veränderungen beim Wachstum und über Wachstumsbedingungen der Pflanzen – ebenfalls Lerngegenstand in Versuchs- und Kontrollklassen. Daß die Schüler im 4. Schuljahr in der Lage sind, Zusammenhänge zwischen Naturvorgängen zu erfassen und zu reproduzieren, zeigen ihre Antworten auf die Fragen nach den Veränderungen, die auf der Erde eintreten würden, wenn die Sonne nicht mehr scheinen würde. Nur 12 % der Schüler der Versuchsklassen und zwischen 16 und 29 % in den Kontrollklassen konnten keine oder nur völlig inadäquate Folgen nennen. Die Mehrzahl der Schüler stellte die Zusammenhänge zwischen dem Licht der Sonne, dem Pflanzenwachstum und der Ernährung der Tiere und Menschen

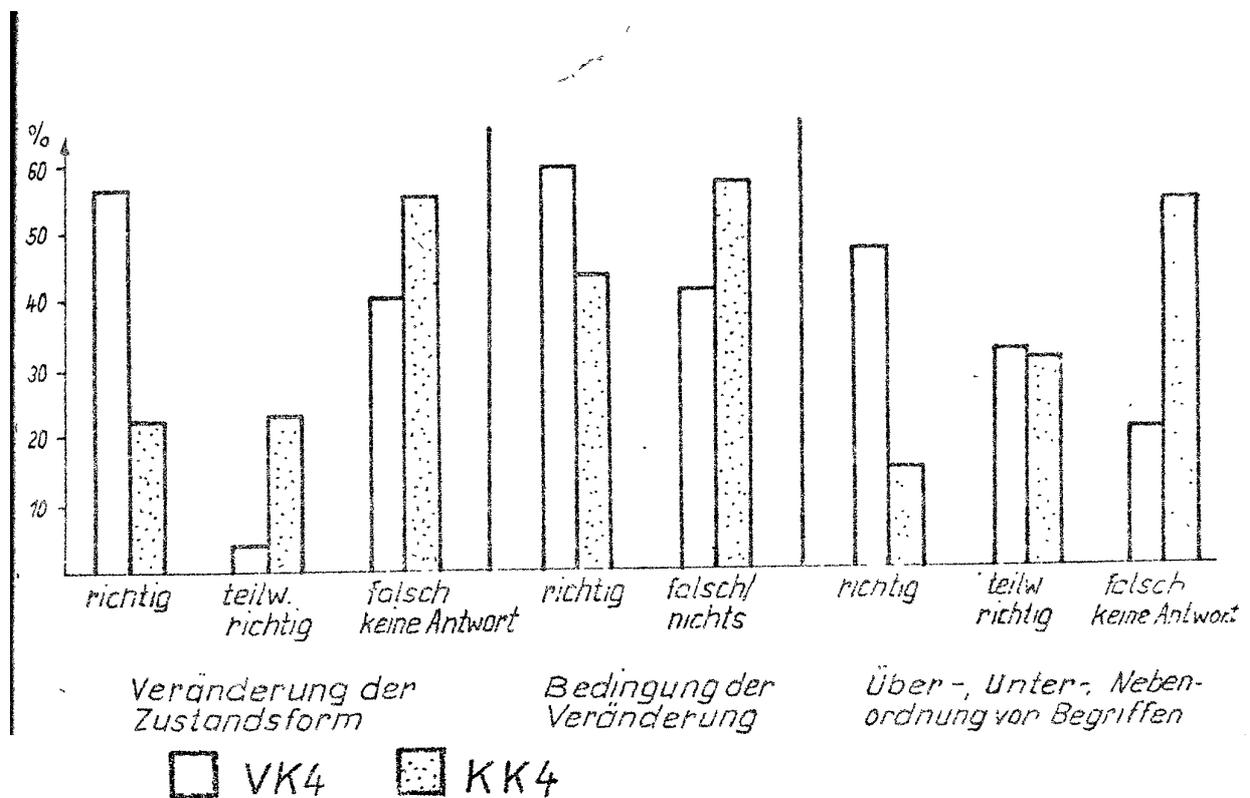


Abb. 14 : Reproduktion von Kenntnissen zum Wasserkreislauf (nach HINZ 1985)

dar, nannte aber wesentlich seltener den Zusammenhang mit dem Wasserkreislauf (obwohl vorher in dieser Kontrollarbeit wesentliche Aspekte dieses Sachverhalts von sehr vielen Schülern reproduziert worden waren). Hier zeigt sich u. E. die häufig beobachtbare Tendenz jüngerer Schüler, sich mit der Darstellung eines Aspekts oder Zusammenhangs zufriedenzugeben und noch keine umfassende Sicht anzustreben bzw. die eigene Leistung in dieser Hinsicht nicht bewußt zu kontrollieren. Das Denken in Zusammenhängen ist ein wesentlicher Aspekt wissenschaftlich-dialektischen Denkens und muß in der Lerntätigkeit (und nicht nur da) systematisch ausgebildet werden. Allerdings kann dies nur auf der Grundlage und im Prozeß der Aneignung relevanter Kenntnisse

geschehen.

Während die Schüler der Versuchsklassen solche globalen Zusammenhänge wie zwischen Pflanzenwachstum und Tierproduktion gut reproduzierten, gelang es nur 30 - 40 % die im Unterrichtsversuch erarbeiteten Kenntnisse zur unterschiedlichen Ernährungsweise von Pflanzen, Tieren und Menschen zu reproduzieren, d. h. sie erkannten, daß Zusammenhänge bestehen, hatten aber Schwierigkeiten zu verstehen, warum das so ist. Diese Zusammenhänge waren zwar unter Führung des Lehrers analysiert und entsprechende Aussagen formuliert worden, jedoch war die geistige Durchdringung bei der Mehrzahl der Schüler nicht so gründlich, daß eine adäquate Reproduktion zu einem späteren Zeitpunkt noch möglich gewesen wäre. Für das Verständnis dieser Naturvorgänge sind mehr Voraussetzungen erforderlich als in Klasse 4 - unter den von uns geschaffenen Bedingungen - ausbildbar. Um die Lernaufgaben zur lebenden Natur zu bewältigen, müßten die Schüler in elementarer Form den Ablauf der betreffenden Naturvorgänge erfassen, die chemische Reaktionen darstellen. Dafür wäre eine ganz neue Betrachtungsebene erforderlich. Konnten bei der Untersuchung der nichtlebenden Natur die jeweiligen Vorgänge direkt oder indirekt veranschaulicht werden, so ist dies hier nur bedingt möglich. Anhand anschaulicher Vergleiche folgten die Schüler zwar dem vom Lehrer geführten Erkenntnisgang, ihre Lernergebnisse zeigten jedoch, daß sie im makroskopischen Bereich verbleiben und die chemische Betrachtungsebene, die sich ihrer bisherigen Vorstellungswelt entzog, nicht erreichten. Der Übergang zur Erklärung nicht direkt beobachtbarer Naturvorgänge mit Hilfe entsprechender Modellvorstellungen - z. B. des Teilchenmodells - muß speziell ausgebildet werden (vgl. Le/Duong 1978) (Pavlik 1981) (Hinz 1984) (Giest 1985), was in Klasse 4 - zumindest unter den von uns geschaffenen Bedingungen - nicht zu erreichen sein dürfte. Es erscheint demnach sinnvoll, auf diese Sachverhalte in Naturkunde Klasse 4 noch zu verzichten, sie auf eine spätere Aneignungsetappe zu verschieben und hier solide Voraussetzungen dafür vorrangig im Makrobereich zu schaffen.

Im Einzelversuch wurde eine Problemanforderung gestellt und geprüft, wie die Schüler an ihre Lösung herangehen: "Obwohl es in der Nacht nicht regnete, war das Gras der Wiese morgens naß. Welche Frage ergibt sich für dich daraus?" Nach der Formulierung einer Frage hatte der Schüler zunächst darzustellen, wie man allgemein vorgeht, wenn man Fragen zur Natur, die man noch nicht beantworten kann, selbständig lösen will. Nach der Reproduktion der Verfahrenskennnisse wurden sie vom Versuchsleiter, wenn erforderlich, ergänzt bzw. erläutert (dies speziell bei den Schülern der Kontrollklassen). Anschließend sollten die Schüler eine Vermutung und einen Versuchsplan aufstellen und realisieren. Bei Bedarf wurden standardisierte Hilfen gegeben. Mit allen Schülern wurde der Versuch bis zur Formulierung einer Antwort auf die eingangs gestellte Frage geführt. Beim Ableiten der Frage, Bilden einer Vermutung und Planen eines Versuchs zu ihrer Überprüfung erwiesen sich die Schüler der Versuchsklassen erwartungsgemäß als überlegen. Bei den nachfolgenden Teilhandlungen sind die Unterschiede gering, da durch Hilfen alle Schüler zur Versuchsplanung und -realisierung geführt wurden. Während in den Versuchsklassen 86 % der Schüler eine adäquate Frage selbständig und die übrigen mit 1-2 Hilfen formulieren konnten, gelang dies in den Kontrollklassen nur 60 % selbständig, weiteren 19 % mit 1-2 Hilfen und 21 % mit 3 - 4 Hilfen und mehr. Die Formulierung einer Vermutung und die Versuchsplanung sind in Abb. 15 bzw. in Abb. 16 dargestellt. Die Unterschiede sind signifikant auf dem 5%-Niveau. Es zeigte sich allerdings, daß die Reproduzierbarkeit der Kenntnisse über den Naturvorgang der Kondensation allein nicht genügt, um die Schüler zu ihrer selbständigen Nutzung für die Erklärung einer konkreten Naturerscheinung (Morgentau) bzw. die Bildung einer entsprechenden Vermutung einzusetzen. Es bedurfte zusätzlicher Impulse (z. B. "Wasser kann nicht aus dem Nichts entstehen. Es muß schon dagewesen sein. Wo? In welcher Zustandsform?"), um die Schüler zur Übertragungsleistung anzuregen. Die Gewinnung der Ausgangsabstraktion und erste Schritte zu ihrer Konkretisierung im Bereich

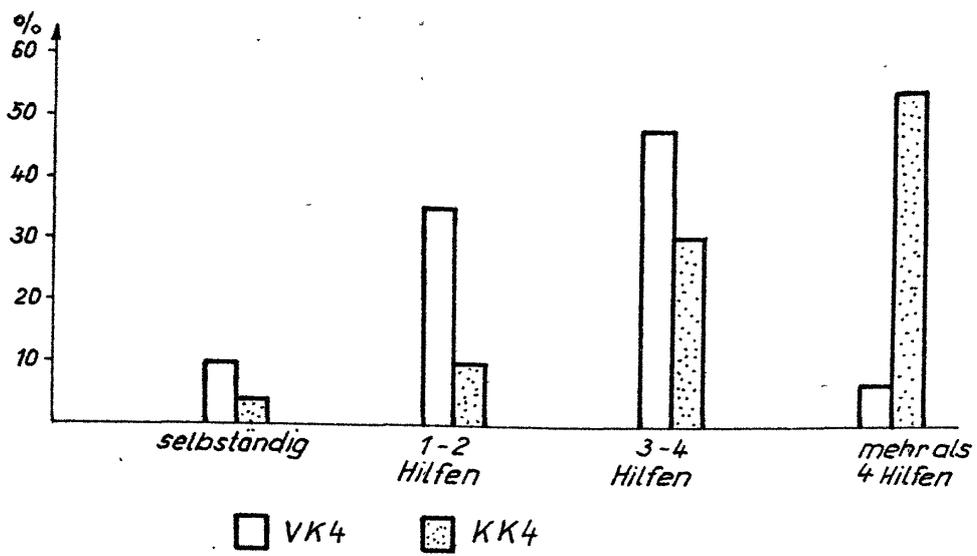


Abb. 15: Vermutungsbildung im Einzelversuch (nach Hinz 1985)

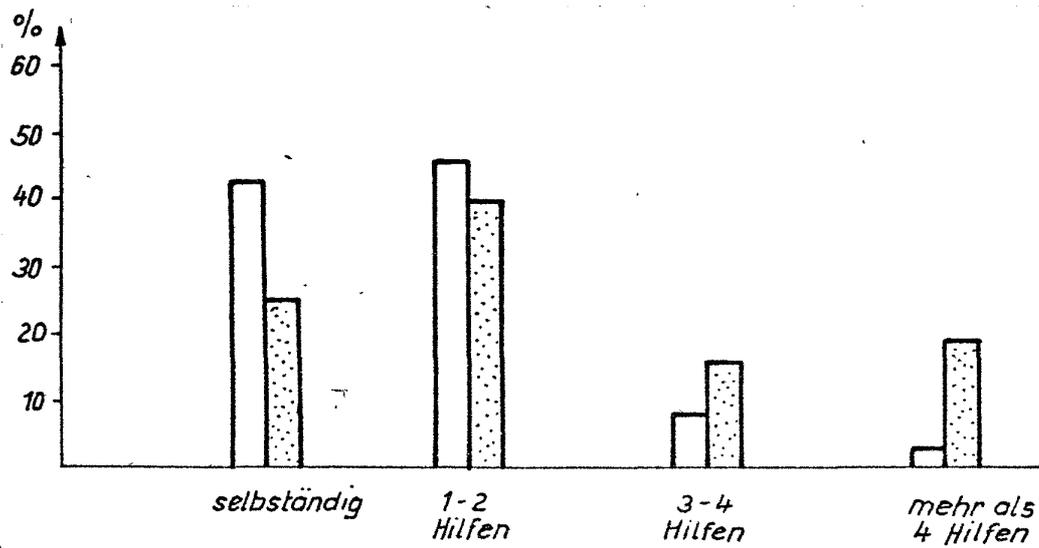


Abb. 16: Versuchsplanung im Einzelversuch (nach HINZ 1985)

der nichtlebenden Natur sowie die systematische Ausbildung entsprechender Lernhandlungen waren die Grundlage dafür. Eine volle Aneignung und disponible Anwendung der Kenntnisse und Lernhandlungen erfordern jedoch die Weiterführung des Aufstiegs vom Abstrakten zum Konkreten (Untersuchung weiterer Naturvorgänge, Vertiefung und Erweiterung der Erfassung von Zusammenhängen, schrittweise Erhöhung des Selbständigkeitsgrades bei der Handlungsausführung und des Komplexionsgrades der zu untersuchenden Sachverhalte u. a.) und die differenziertere Führung der Lerntätigkeit unter Berücksichtigung des unterschiedlichen (und genauer zu erfassenden) Entwicklungsniveaus der Lernvoraussetzungen. Dazu gehören insbesondere die differenziertere Analyse und Ausbildung von Schlußprozessen bei der Anwendung des angeeigneten Wissens auf die Untersuchung und Erklärung subjektiv neuer Sachverhalte sowie die Ausbildung der dafür erforderlichen sprachlichen Mittel und ihrer adäquaten Nutzung.

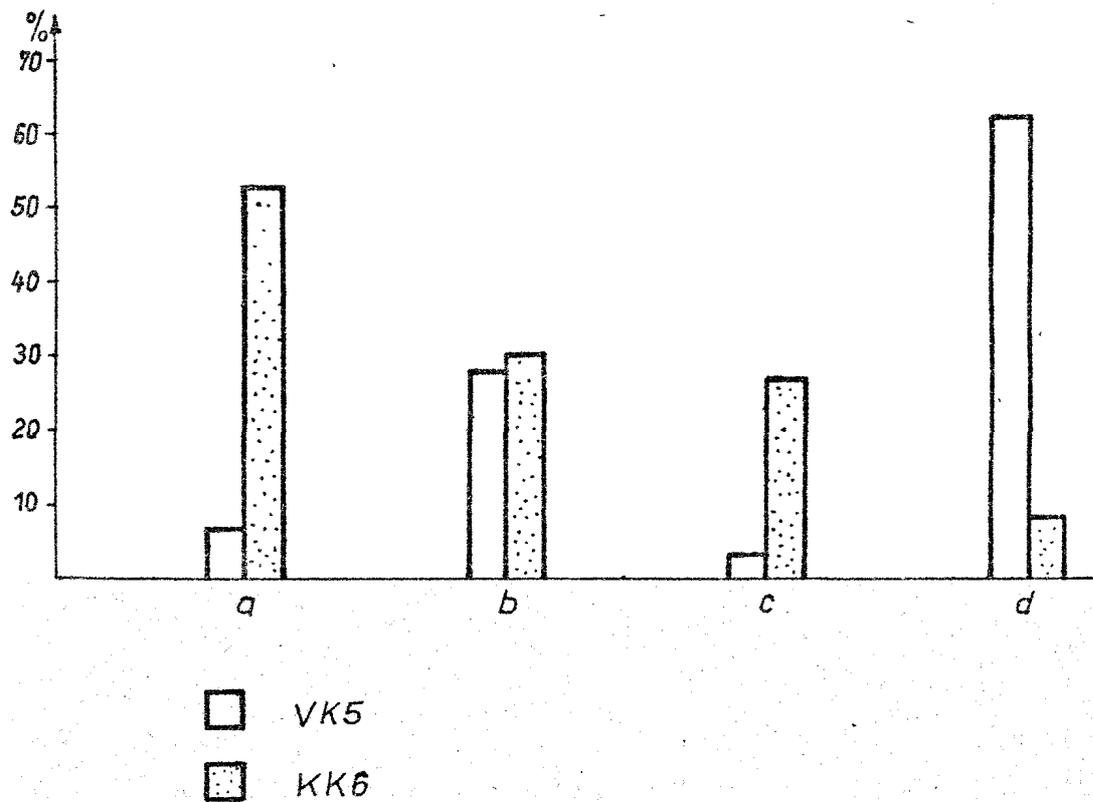
Bei der Weiterführung des Aneignungsprozesses im Unterrichtsversuch Physik wurde besonderer Wert auf die Ausbildung der komplexen Handlung des Erklärens physikalischer Vorgänge mit Hilfe des Teilchenmodells und - zu diesem Zweck - des wechselseitigen Übergangs zwischen Phänomenologie- und Modellebene gelegt (s. o.). Nach der Erarbeitung des Modells des physikalischen Vorgangs erhielten die Schüler der Versuchsklassen (n = 47) neben anderen die Aufgabe zu erklären, warum sich Wasser und Sirup mischen, auch wenn sie nicht umgerührt werden. Als Stütze erhielten sie dazu einen Lückentext, der die Teilschritte vorgab und verlangte, die Symbolbedeutungen zu reproduzieren und auf den konkreten Vorgang zu konkretisieren und die entsprechenden Begriffe adäquat zu reproduzieren und anzuwenden (Giest 1985, S. 117 ff.). 80 % der Schüler bewältigten die Anforderung. Eine Wiederholung der Aufgabe nach Abschluß des Unterrichtsversuchs, nun aber ohne Stütze, erbrachte in den Versuchsklassen (n = 44) 58 % adäquate Erklärungen (weitere 23 % unvollständig) gegenüber 5 % (weitere 20 % unvollständig) bei Schülern aus 6. Klassen mit lehrplangemäßigem Physik-

unterricht (n = 40). Die zum Vergleich zusätzlich einbezogenen Schüler aus 7. bis 10. Klassen gaben nur um 10 % adäquate Erklärungen. Bei Aufgaben der Reproduktion von Kenntnissen über physikalische Zusammenhänge (Vorgänge) zeigten die Versuchsklassen ebenfalls ein eindeutig höheres Qualitätsniveau als die 6. Klassen, wenn auch das angestrebte Niveau nicht bei allen Schülern erreicht wurde.

Schon diese Angaben machen deutlich, daß einerseits Schüler im 5. Schuljahr bei entsprechender Vorarbeit im 4. Schuljahr und bei systematischer Ausbildung der erforderlichen Lernhandlungen durchaus in der Lage sind, sich die mit dem Teilchenmodell zusammenhängenden Begriffe in elementarer Form anzueignen und den Übergang von der Phänomenologie- zur Modellebene zu vollziehen, und daß andererseits bei in dieser Hinsicht ungenügender Führung der Lerntätigkeit nur bei wenigen Schülern eine spontane Entwicklung entsprechender Lernhandlungen zu erwarten ist. Es ist allerdings unter den gegebenen Bedingungen noch nicht gelungen, die komplexe Handlung des Erklärens bei allen Schülern soweit auszubilden, daß sie sie ohne äußere Stützen und selbständig auf unterschiedliche Sachverhalte anwenden können. Der Aneignungsprozeß muß systematisch weitergeführt und seine Effektivität muß auch von Anfang an weiter erhöht werden (differenziertere Berücksichtigung des unterschiedlichen Ausbildungsniveaus, Sicherung der jeweils erforderlichen Aneignungsbedingungen, z. B. hinsichtlich des Operierens mit dem Modell, des Vollziehens der notwendigen kognitiven Operationen und Teilschritte, ihrer Verbalisierung, Kontrolle und Bewertung).

Zur Kennzeichnung des durch den Unterrichtsversuch erreichten Aneignungsniveaus sollen einige weitere ausgewählte Ergebnisse angeführt werden.

Die Schüler der VK und der KK 6 sollten u. a. den Begriff des Erklärens mit Hilfe von Wahlantworten identifizieren (Abb. 17). Obwohl auch in den Kontrollklassen das Teilchen-



a - ... indem ich genau beobachte

b - ... indem ich exakt experimentiere

c - ... indem ich die Bedingungen und Ursachen des physikalischen Vorgangs nenne

d - ... indem ich mir vorstelle, welche Veränderungen im Teilchenaufbau der Körper den beobachteten physikalischen Vorgang bewirken

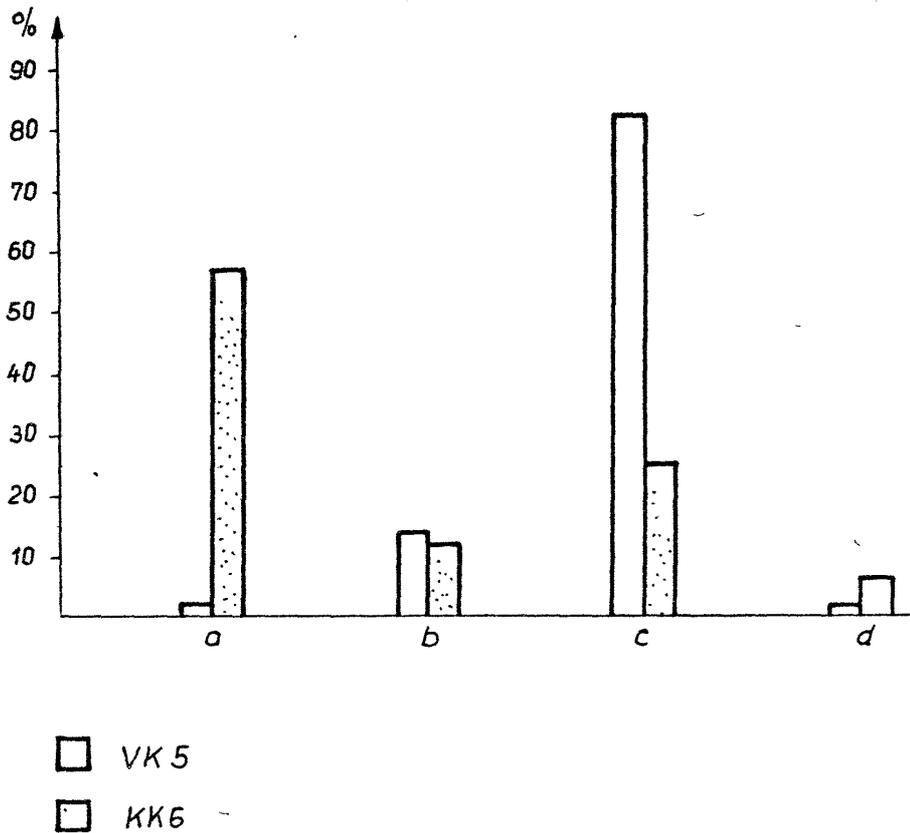
Abb. 17: Identifikation des Begriffs Erklären (nach Giest 1985)

modell laut Lehrplan behandelt worden war, orientierten sich nur 8 % der Schüler (gegenüber 62 % in den VK) darauf, während die übrigen auf der Phänomenologieebene verblieben (gegenüber etwa einem Drittel, in den VK).¹ Der Unterschied ist signifikant auf dem 0,1%-Niveau.

Zu mehreren Aufgaben hatten die Schüler Erklärungen physikalischer Vorgänge zu identifizieren. Die Wahlantworten waren so konstruiert, daß die Orientierung der Schüler auf die Phänomenologie- bzw. Modellebene erfaßt werden konnte (als Beispiel s. Abb. 18). In den Versuchsklassen wurden zu zwei Dritteln und mehr die Erklärungen auf der Modellebene gewählt, während die Schüler der 6. Klassen die im Unterricht vermittelten Kenntnisse zum Teilchenmodell wenig nutzten und in der Mehrzahl (zwei Drittel und mehr) auf der Phänomenologieebene operierten. Die Unterschiede sind auf dem 0,1%-Niveau signifikant.

Im Einzelversuch wurde bei 30 Schülern aus den Versuchsklassen geprüft, wie die Schüler in der Lage sind, ihre Kenntnisse zum Teilchenmodell bei der Durchführung eines Gedankenexperiments zu nutzen: "Von 5 Versuchen, bei denen jeweils zwei flüssige Körper zusammengegeben werden, sind uns die Teilchengrößen bekannt (Darbietung in Form einer Tabelle). Überlege, in welchen Versuchen a) $V_1 + V_2 = V_{\text{ges}}$. und in welchen b) $V_1 + V_2 > V_{\text{ges}}$. zu beobachten sein wird!" Die Zahlenangaben in der Tabelle waren so gestaltet, daß bei 4 Versuchen die Teilchengrößen der je zwei Körper ungleich und bei einem Versuch gleich waren. Das Volumen des Flüssigkeitsgemisches wäre demnach im letzten Fall gleich der Summe der Einzelvolumina, in den anderen Fällen kleiner. Diese komplexe Anforderung macht das gedankliche Operieren sowohl auf der Phänomenologie- als auch auf der Modellebene und die Bezugsetzung zwischen ihnen notwendig. Etwa 65 % der Schüler ermittelten die Gültigkeitsbedingungen der

¹ In den Kontrollklassen wurden z. T. mehrere Antworten von einem Schüler gewählt.



Bei Wärmeenergiezufuhr wird das Volumen eines Körpers größer, weil

a) der Körper sich ausdehnt

b) der Körper flüssig wird

c) die Teilchenabstände größer werden

d) die Teilchen sich schneller bewegen

Abb. 18: Identifikation einer Erklärungsansage

(nach GLEST 1985)

beiden Ausdrücke a) und b) selbständig, weitere 30 % mit Hilfsfragen. Alle Schüler waren in der Lage, die Lösung zu finden, wobei 27 % dies bereits durch ein Gedankenexperiment gelang (also auf abstrakt-verbaler Ebene), weitere 43 % benötigten dazu eine sinnliche Stütze, indem sie Modellobjekte - Becher mit Kugeln bestimmter Größen - betrachten konnten (Ebene der unmittelbaren Anschauung), und 30 % mußten das Modellexperiment real durchführen (praktisch-gegenständliche Ebene).

Ebenfalls im Einzelversuch hatten die Schüler den Vorgang des Brennens einer Kerze zu beobachten und zu beschreiben und anschließend anhand des Lernmodells zu erklären, warum die Kerze tropft. Es zeigte sich unter anderem, daß zunächst 90 % der Schüler spontan eine Erklärung auf der Phänomenologieebene - entsprechend ihrer Alltagserfahrung - gaben (Wachs der Kerze wird durch Erwärmen flüssig und kann daher, tropfen). Durch eine Hilfsfrage angeregt (Überlege, ob du den Vorgang wirklich erklärst hast!) differenzierten sie jedoch zwischen Beschreiben und Erklären und gelangten - z. T. mit weiteren Hilfen - zur adäquaten Erklärung mit Hilfe des Teilchenmodells. Dabei erwies sich die entfaltete Handlungsausführung anhand des Lernmodells für die meisten Schüler noch als unentbehrlich.

Insgesamt zeigte sich, daß es möglich ist, im 5. Schuljahr bei der Analyse von Natur- (physikalischen) Vorgängen den Übergang von der Phänomenologie- zur Modellebene zu vollziehen, die komplexe Handlung des Erklärens von Erscheinungen mit Hilfe der Teilchenvorstellungen auszubilden und dadurch die Orientierung der Schüler auf die Erfassung des hinter den Erscheinungen stehenden Wesens und gesetzmäßiger Zusammenhänge, die Aneignung theoretischer Begriffe und einer entsprechenden Denkweise zu verstärken. Selbstverständlich ist im Rahmen des Unterrichtsversuches Physik nur ein bestimmter Schritt in dieser Richtung getan worden. Die Interpretation der Teilhandlungen, ihre Interiorisation, Operationalisierung und Reduktion und damit der

Selbständigkeits- und Disponibilitätsgrad der Handlung müssen weitergeführt bzw. weiterentwickelt werden. Die Ausführbarkeit der Handlung hängt im konkreten Fall dabei immer von den verfügbaren Kenntnissen ab, wie andererseits die Aneignung dieser Kenntnisse nur über die Ausführung entsprechender Handlungen erfolgen kann. Hier liegt ein wesentlicher Zugang zur Überwindung der z. T. erheblichen Niveau- und Tempounterschiede im Aneignungsprozeß bei den unterschiedlichen Leistungsgruppen der Schüler, speziell zur Überwindung bzw. Verhinderung des Zurückbleibens von Schülern.¹

Die Analyse der Lernergebnisse zeigte auch bei diesem Unterrichtsversuch, daß der systematischen Ausbildung der sprachlichen Mittel und ihrer differenzierteren Nutzung sowie der grundlegenden Schlußprozesse bei der Gestaltung der Aneignung der Begriffe und Lernhandlungen verstärkt Aufmerksamkeit gewidmet werden muß, um das weitere Vorschreiten der Schüler im Aneignungsprozeß zu gewährleisten.

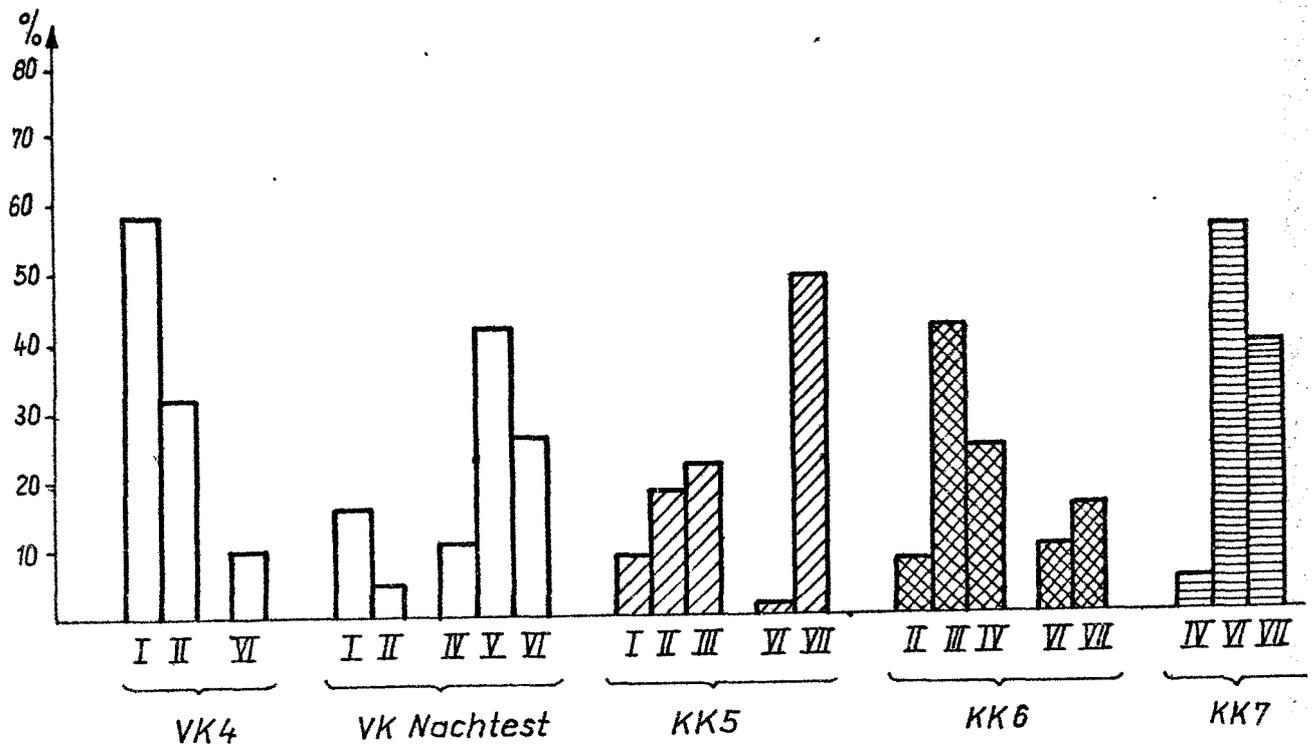
4.2 Verstehen geographischer Sachverhalte

Wesentlicher Inhalt unserer Einführung in die Geographie in Klasse 4 war die Erarbeitung der Komponentenstruktur des natürlichen und des gesellschaftlichen Bereiches von Gebieten (Territorien) als Ausgangsabstraktion für die geographische Analyse konkreter Gebiete (Fischer 1987). Die Lernergebnisse der Versuchsklassen wurden zu mehreren Zeitpunkten im Hinblick auf unterschiedliche Anforderungen erfasst. Zum Vergleich wurden Schüler aus 5. und 7. Klassen herangezogen, da nach Lehrplan der Geographieunterricht in Klasse 5 einsetzt und die Merkmale von Territorien nur allmählich - im Zusammenhang mit der Untersuchung unterschiedlicher geographischer Gebiete - ausgegliedert werden.

¹ Böhme (1990) konnte inzwischen zeigen, daß leistungsschwache Schüler 4. Klassen - unterrichtet in kleinen Gruppen - den Lehrgang Naturkunde in gleicher Zeit wie im Klassenunterrichtsversuch absolvierten und Lernergebnisse erreichten, die dem Niveau der mittleren Leistungsgruppen im Klassenversuch von Hinz entsprechen.

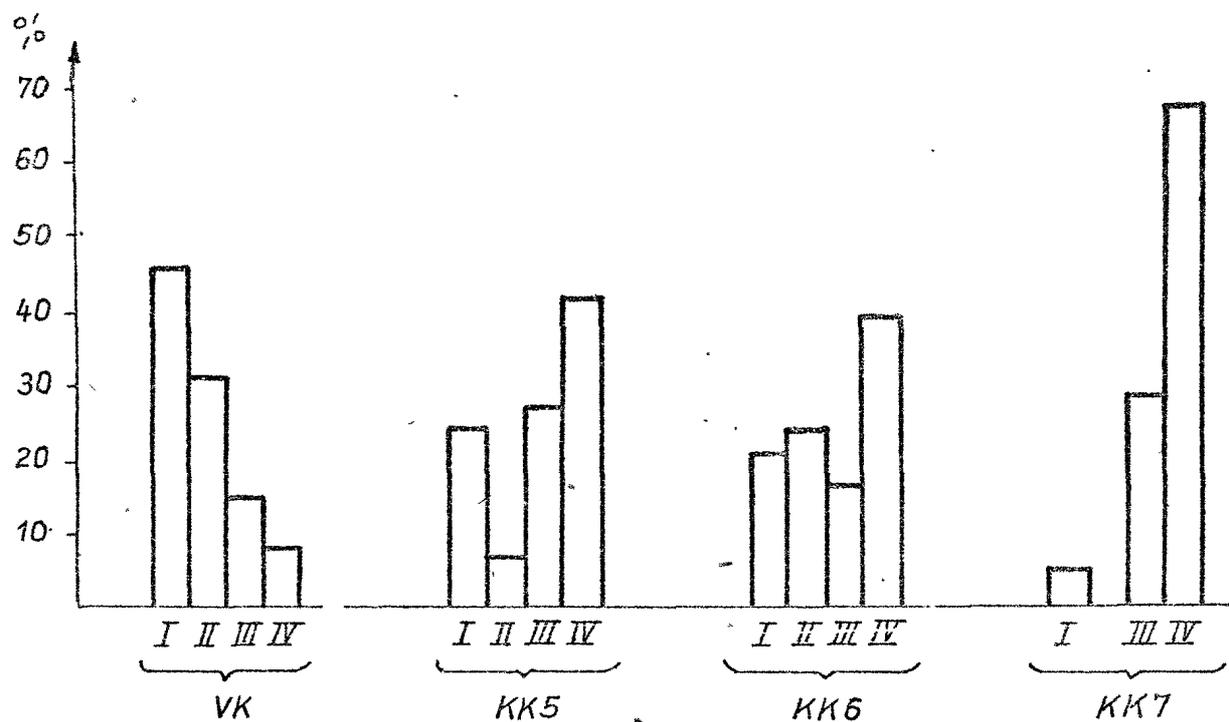
Nach Abschluß des Unterrichtsversuches hatten die Schüler u. a. die Komponentenstruktur eines Gebietes zu reproduzieren. Abb. 19 zeigt die Ergebnisse hinsichtlich des Naturraumes. Die Ergebnisse hinsichtlich des gesellschaftlichen Bereichs unterscheiden sich in VK und KK 5 nicht prinzipiell davon, nur in KK 6 und KK 7 liegen sie wesentlich niedriger. Die systematische Erarbeitung des Strukturmodells des Gebiets erweist sich demnach für die Schüler der Klasse 4 durchaus als möglich. Ein Nachtest nach etwa einem halben Jahr (die Schüler besuchten inzwischen Klasse 5) zeigte einen deutlichen Abfall. Trotzdem waren die Leistungen der VK auch hier noch eindeutig (auf dem 5% -Niveau) besser als die der KK, in denen z. B. die Niveaustufe I gar nicht auftrat (KK 6 und KK 7) und ein unterschiedlich großer Teil der Schüler nicht einmal einzelne Komponenten oder Beziehungen reproduzieren konnte. Die Niveaustufen V und VI, die in der VK (Nachtest) 68 % der Schüler repräsentierten (in den KK 2 % bzw. 10 % bzw. 56 %), sind Ausdruck ungenügender Exaktheit der Begriffsverwendung, z. B. der Ersetzung des Begriffs Klima durch speziellere Begriffe wie Wetter oder Luft. Wenn dies für Schüler des 4. – 5. Schuljahres durchaus verständlich ist und darauf hinweist, daß sie sich den Sachverhalt zwar angeeignet, aber noch gewisse Schwierigkeiten im Umgang mit den entsprechenden fachwissenschaftlichen Termini haben, so sollte in Klasse 7 - nach mehrjährigem Fachunterricht in diesem Bereich - größere Sicherheit und Festigkeit von Grundbegriffen erwartet werden.

Von den Schülern wurde des weiteren gefordert, ihr Vorgehen bei der geographischen Untersuchung eines Territoriums zu verbalisieren (Abb. 20). Während in der VK nur 8 % nicht in der Lage war, dazu Aussagen zu machen, lag der Anteil dieser Niveaustufe in den KK zwischen 39 und 67 %. Aussagen zur Methode (mit oder ohne Aussagen zum Inhalt) machten in der VK 61 % der Schüler, in der KK 5 51 %, in der KK 6 37 % und in der KK 7 33 %. Die Unterschiede sind auf dem 5%-Niveau signifikant. Obwohl die KK vom 5. Schuljahr an wesentlich mehr Territorien kennengelernt hatten als die



- I : Angabe aller Komponenten und aller Beziehungen*
- II : Angabe aller Komponenten und einiger Beziehungen*
- III : Angabe aller Komponenten, keine Beziehungen*
- IV : Angabe einiger Komponenten und einiger Beziehungen*
- V : Angabe teilweise falscher Komponenten und aller Beziehungen*
- VI : Angabe teilweise falscher Komponenten und einiger Beziehungen*
- VII : keine Angaben*

Abb. 19 : Reproduktion der Komponentenstruktur des Naturraums eines Gebietes (nach Fischer 1987)



I : Aussagen zu Inhalt und Methode

II : Aussagen nur zum Inhalt

III : Aussagen nur zur Methode

IV : keine Aussagen

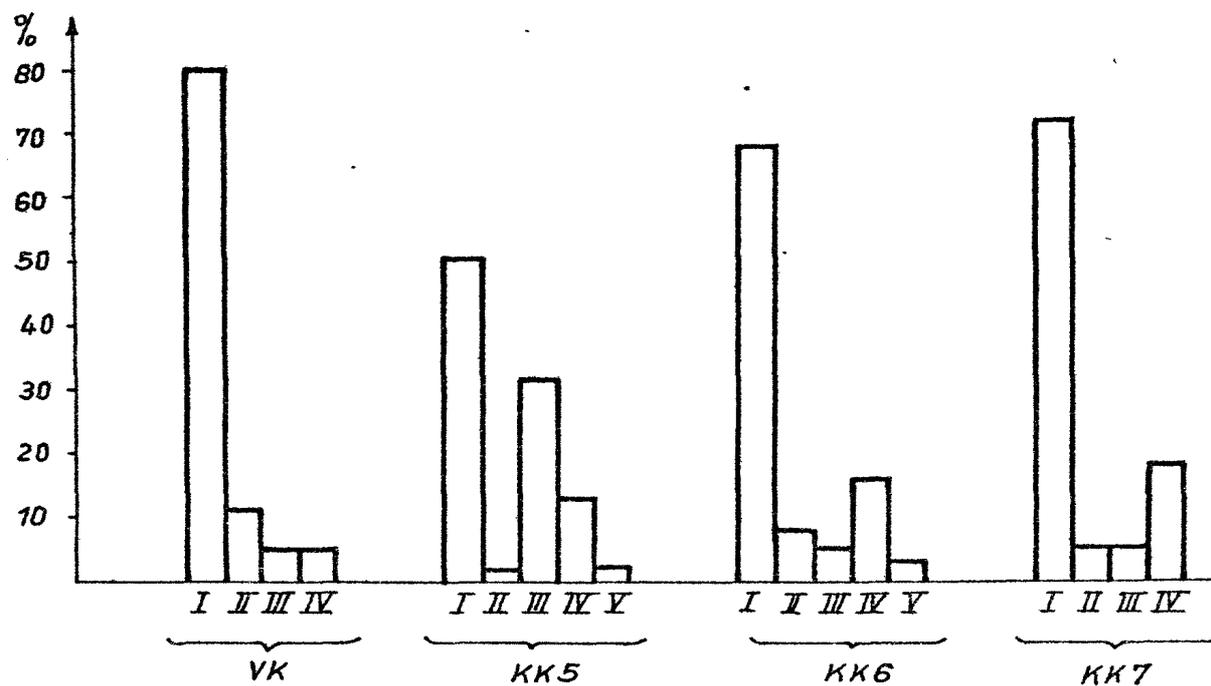
Abb. 20 : Verbalisieren des Vorgehens bei der geographischen Untersuchung eines Gebiets (nach FISCHER 1987)

Schüler in unserem Versuchsunterricht, waren die Bewusstheit des Vorgehens zur Aneignung des Lerngegenstandes und insbesondere der wechselseitige Zusammenhang von Inhalt und Methode eindeutig geringer entwickelt als bei den Schülern der VK (wenn uns das hier erreichte Niveau auch noch nicht zufriedenstellen kann). Auch bei der Reproduktion der konkreten Verfahrenskennnisse zum Bestimmen von Entfernungen und zum Ermitteln der Lage von Objekten auf geographischen Karten erwies sich die VK als überlegen. Das gilt auch für die Anwendung von Kenntnissen und Verfahren. So hatten die Schüler bekannte Objekte (Gebirge, Flüsse, Bezirke der DDR) in eine Umrißkarte einzuzeichnen bzw. aus ihr zu identifizieren sowie geographische Karten auszuwerten (Entfernungen zwischen bestimmten Objekten zu ermitteln, ihre Lage zu bestimmen, ihre Eigenschaften aufgrund der Kartendarstellung zu interpretieren). Die Unterschiede zwischen VK und KK waren auch hier signifikant zugunsten der VK (als Beispiel s. Abb. 21). Ähnliche Anforderungen wurden auch im Einzelversuch mit je 12 Schülern aus VK und KK 5 gestellt (zu gleichen Anteilen leistungsstarke, -schwache und mittlere Schüler). So sollte ein verbal beschriebenes Territorium in Form einer Kartenskizze dargestellt werden. Die Leistungen der Schüler bei dieser für sie relativ schwierigen und komplexen Anforderung sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Darstellung eines Gebietes in Form einer Kartenskizze (in absoluten Zahlen)

Lösungsniveau	VK	KK 5
richtig, ohne Hilfe	3	-
unvollständig, mit Hilfe richtig	8	5
falsch, mit Hilfe richtig	-	4
auch mit Hilfe falsch	1	3

Der Grad der Selbständigkeit ist in der VK höher und der Fehleranteil geringer als in der KK (wenn auch das Aneignungsziel nicht in vollem Maße erreicht wurde).



I: richtige und vollständige Bezeichnung

II: Fehlende Bezeichnung

(Objekt richtig eingezeichnet)

III: falsche Bezeichnung

(Verwechslung von Objekten oder Teilen)

IV: unzutreffende Bezeichnung

V: keine Lösung

Abb. 21: Bezeichnung von Objekten auf einer Umrißkarte (nach FISCHER 1987)

Insgesamt zeigte sich, daß bereits bei erstmaliger Durchführung des Unterrichtsversuchs Geographie eine eindeutige Überlegenheit der Versuchsklassen erreicht werden konnte. Eine Wiederholung nach partieller Überarbeitung der Lehrgangskonzeption und -materialien erbrachte eine weitere Leistungssteigerung. Die Einführung in die Geographie nach der Lehrstrategie A → K - hier im Rahmen des Heimatkunde-Unterrichts in Klasse 4 als "Brücke" zwischen Naturkunde und Gesellschaftskunde realisiert - führt also zu einer deutlichen Effektivitätssteigerung bei der Aneignung und Anwendung fachspezifischer Kenntnisse und Verfahren. In weiterführenden Untersuchungen müßte geprüft werden, welche Konsequenzen sich daraus für die Anlage und den Inhalt des Geographieunterrichts bezogen auf den gesamten Lehrgang von Klasse 5 bis Klasse 10 sowie für seine Wechselbeziehungen mit anderen Fächern (z. B. Geschichte) ergeben könnten.

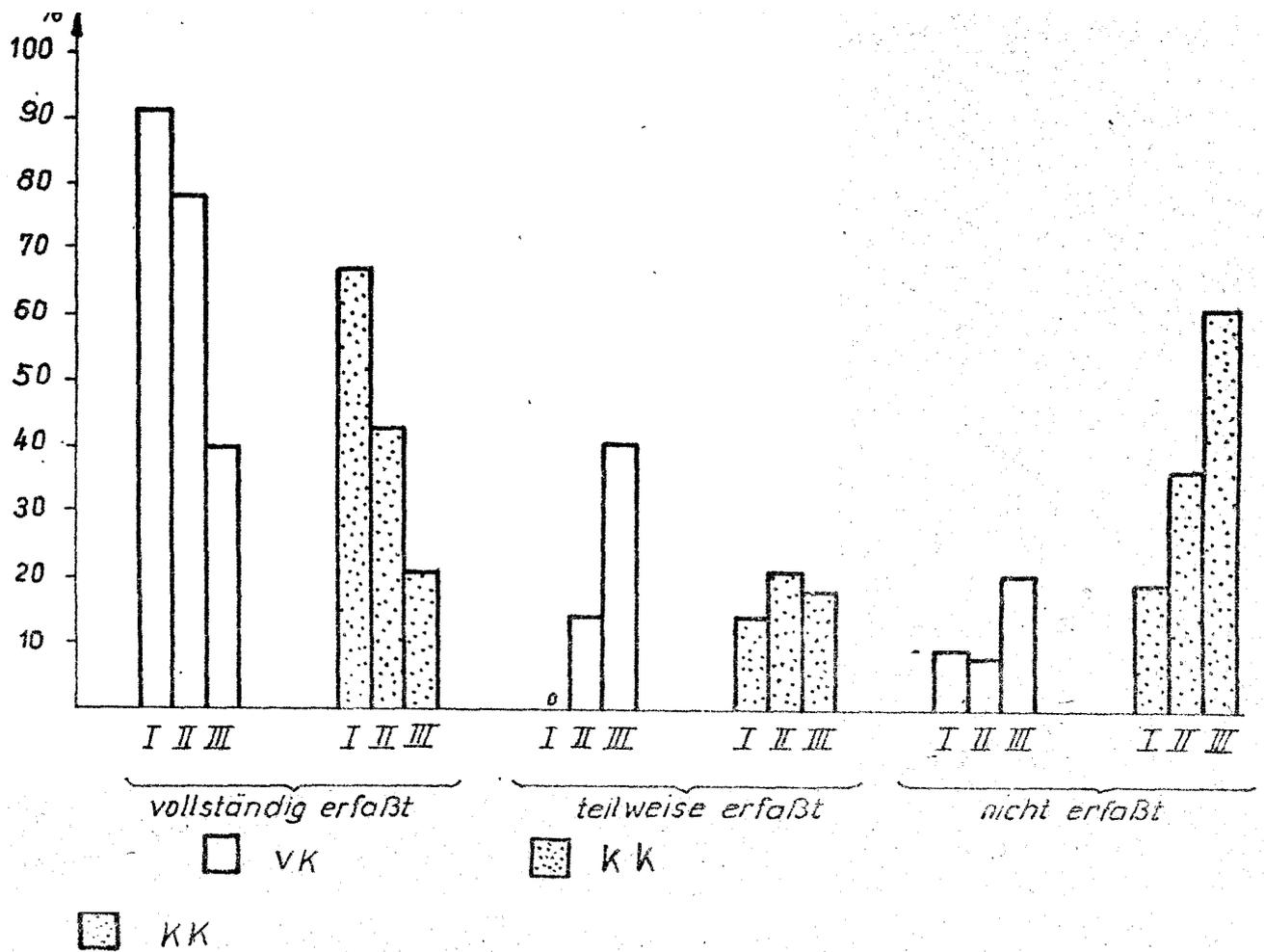
4.3 Lösen mathematischer Sach- und Anwendungsaufgaben

Vor der gezielten Ausbildung des Lösens von SAA war im Unterrichtsversuch in Klasse 4 zunächst ein elementarer Begriff der mathematischen Funktion ausgebildet und versucht worden, funktionales Denken im Bereich der direkten Proportionalität auszubilden (s. o.). Kuchler (1985) konnte feststellen, daß die Schüler der Versuchsklassen (n = 31) schriftliche Anforderungen zur Erfassung der Beziehung $x \cdot k = y$ und zur Ermittlung und Darstellung fehlender Werte auf dieser Grundlage sowie auf der Grundlage der Beziehung $x - k = y$ zu 95 % und mehr bewältigten. Die Leistungen der Schüler der Kontrollklassen (n = 33) lagen bei 40 %. Im Einzelversuch wurde eine Wertetabelle vorgegeben, in der ein Zahlenpaar die Beziehung $x \cdot k = y$ und ein zweites Paar die Beziehung $x + k = y$ repräsentierte. Die fehlenden Werte zu anderen Zahlen waren zu finden, wozu die relevante Vorschrift ($x + k = y$) zu erkennen war. Es zeigten sich ebenfalls eindeutige Unterschiede: 68 % der VK bewältigten die Anforderungen vollständig gegenüber 24 %

der KK. Die Schüler der Kontrollklassen, die nicht gelernt hatten, funktionale Beziehungen dieser Art systematisch zu untersuchen und darzustellen, gingen überwiegend planlos vor oder untersuchten nur ein Zahlenpaar (ohne die Beziehung zu dem anderen zu erfassen) oder wußten mit der Wertetabelle gar nichts anzufangen. Solche Schwächen waren in den Versuchsklassen wesentlich weniger zahlreich und weniger extrem ausgeprägt, so daß festgestellt werden kann, daß bei gezielter Ausbildung entsprechender Lernhandlungen Schüler der Klassen 4 durchaus in der Lage sind, funktionale Beziehungen dieser Art begrifflich zu repräsentieren und adäquat mit ihnen zu operieren. Diese Aussage gilt zunächst im wesentlichen nur für den Bereich der direkten Proportionalität und damit für einen ersten Schritt auf dem Feld mathematischer Funktionen.

Die Anwendung dieser Kenntnisse und Lernhandlungen auf reale Sachverhalte (wie sie auch in SAA dargestellt sind) hängt nicht nur von ihrem Aneignungsgrad ab, sondern immer auch von der Komplexität des zu analysierenden Sachverhalts, vom Inhalt und von der Darstellung des jeweiligen Problems, den dazu verfügbaren Sach- und Verfahrenkenntnissen und zahlreichen anderen Faktoren. So wurde den Schülern in der Kontrollarbeit eine Wertetabelle vorgelegt, in der Längen der Ausdehnung einer Feder in Abhängigkeit vom jeweils angehängten Gewicht angegeben waren. Die Schüler sollten die den Werten zugrunde liegende Beziehung ($x \cdot k = y$) aufdecken und weitere Werte bestimmen. Die Aufgabe wurde zwar von den Schülern der VK auch eindeutig besser bewältigt als von denen der KK, aber zugleich schlechter als die oben genannten Aufgaben (55 % zu 28 %). Ähnliche Werte (50 % zu 35 %) wurden beim selbständigen Lösen einer Aufgabe in Textform erreicht, bei der die gegebenen Werte ebenfalls als Abhängigkeit der Form $x \cdot k = y$ erkannt werden mußten, um auf dieser Grundlage eine weitere Angabe zu berechnen. In diesem Ergebnis zeigt sich einerseits, daß die Schüler über Erfahrungen mit SAA verfügen, die jedoch selbst bei gut überschaubaren Aufgaben (z. B. ohne für die Lösung un-

wesentliche Angaben, geringe Anzahl abhängiger Operationen) zu wenig handlungswirksam sind, was durch viele Untersuchungen bestätigt wird (vgl. dazu Reinhold 1988), und andererseits, daß die Ausbildung eines elementaren Funktionsbegriffs und entsprechender Lernhandlungen zwar das Lösen von SAA mit derartiger Struktur erleichtert, aber nicht hinreichend ist, um das Leistungsniveau auf diesem Gebiet wesentlich zu erhöhen. Dazu ist die Ausbildung anforderungsspezifischer, d. h. auf das Lösen von SAA direkt bezogener Lernhandlungen erforderlich. Dies war das Anliegen der Unterrichtsversuche von Reinhold (1988) (s. o.) und von Schröter (1987). Reinhold legte Schülern 4. Klassen nach Absolvierung des Unterrichtsversuchs zum Lösen von SAA bzw. der nach dem gültigen Lehrplan dazu vorgesehenen und über das Schuljahr verteilten Arbeit mit SAA in Form einer schriftlichen Kontrollarbeit mehrere inhaltlich und strukturell unterschiedliche, den Lehrplananforderungen entsprechende SAA (nicht auf direkte Proportionalität beschränkt) vor und analysierte die Schülerleistungen hinsichtlich der Teilhandlungen Zielerfassung, Abstrahieren wesentlicher Angaben (sofern im Text auch unwesentliche enthalten waren), Erfassen der mathematischen Struktur der Aufgabe, Ermitteln des numerischen Resultats. Während im Prätest keine Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollklassen - bei insgesamt unbefriedigend niedrigem Leistungsniveau - festzustellen waren, erwiesen sich die Versuchsklassen (n = 32) im Posttest in allen Teilhandlungen als signifikant (auf dem 1%-Niveau) den Kontrollklassen (n = 92) überlegen. Als Beispiel sei nur das Erfassen der mathematischen Struktur (bezogen auf 3 SAA unterschiedlicher Anforderungsstruktur und ermittelt anhand der Verknüpfung der wesentlichen Angaben durch die adäquaten Operationen in der richtigen Reihenfolge) angeführt (Abb. 22). Es zeigten sich nicht nur signifikante Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollklassen im Ganzen, sondern auch zwischen den nach Mathematikzensur und Lehrerurteil gebildeten Leistungsgruppen (auf dem 1%- bzw. 5%-Niveau). Der Versuchsunterricht konnte - bei vorwiegend frontaler Organisation der Lerntätigkeit - die erhebliche Leistungsdifferen-



- I - leistungsstarke Schüler im Mathematikunterricht
- II - mittlere Leistungsgruppe
- III - Schüler mit schwachen Leistungen im Mathematikunterricht

Abb. 22: Erfassen der mathematischen Struktur von SA A (nach REINHOLD 1988)

ziertheit nicht überwinden, aber alle Leistungsgruppen hatten einen eindeutigen Gewinn von der gezielten Ausbildung der entsprechenden Lernhandlungen. Wenn man vollständiges und teilweises Erfassen der mathematischen Struktur der Aufgabe zusammenfaßt, so erreichten die Leistungsgruppen I und II in VK ein faktisch gleiches Niveau (91 % bzw. 92 % gegenüber 81 % bzw. 64 % in KK), während die Leistungsgruppe III immerhin noch 80 % (gegenüber 39 % in KK) erreichte. Wenn dies auch noch nicht befriedigen kann, so werden doch Entwicklungsreserven deutlich, die durch konsequente Realisierung der Lehrstrategie A \rightarrow K bei differenzierterer Berücksichtigung der interindividuellen Unterschiede und gezielter Ausbildung der jeweiligen "Schwachstellen" intensiver für die individuelle Förderung genutzt werden können und müssen.

Im Einzelversuch wurden die Schüler (VK: $n = 18$, KK $n = 15$) aufgefordert, in allgemeiner Form ihr Vorgehen beim Lösen (beliebiger) SAA zu verbalisieren. Es zeigte sich ein gewisser Unterschied zwischen VK und KK (Abb. 23), wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß die Schüler der VK das im Unterrichtsversuch angeeignete Verfahren reproduzieren, die der KK das im lehrplangemäßen Unterricht verwendete (vgl. Mathematik: Lehrbuch für Klasse 4 1989. S. 114). Das von den Schülern jeweils verbal reproduzierte allgemeine Verfahren sollte anschließend beim Lösen einer relativ komplizierten Aufgabe, die das selbständige Formulieren von Fragen, das Abstrahieren der dafür relevanten Größen aus mehreren irrelevanten und das Ausführen mehrerer abhängiger Rechenoperationen erforderte, eingesetzt werden. Die Schüler aus VK und KK waren dazu in sehr unterschiedlichem Maße in der Lage (Abb. 24). Der Unterschied wird noch eindeutiger, wenn man die Schüler, die ihr (nach VK und KK unterschiedliches) allgemeines Verfahren vollständig adäquat anwandten, daraufhin prüft, ob sie damit auch zum richtigen numerischen Ergebnis gekommen sind (Abb. 25).

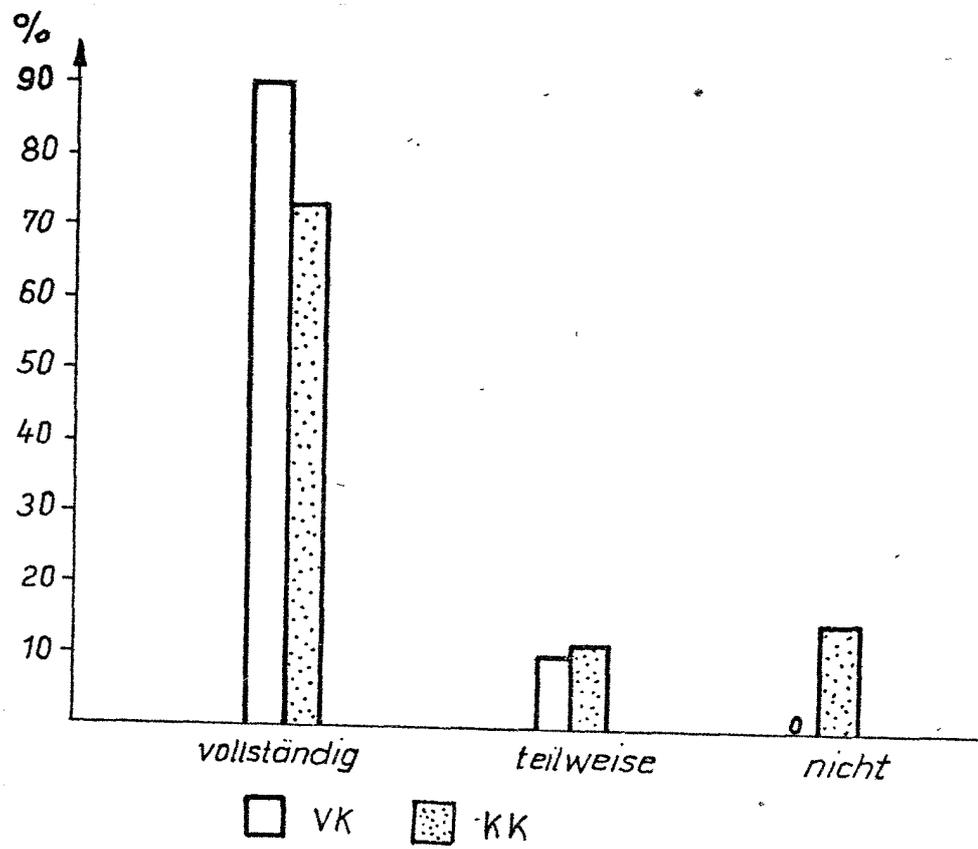


Abb. 23: Verbalisieren eines allgemeinen Verfahrens für das Lösen von SAA (nach REINHOLD 1988)

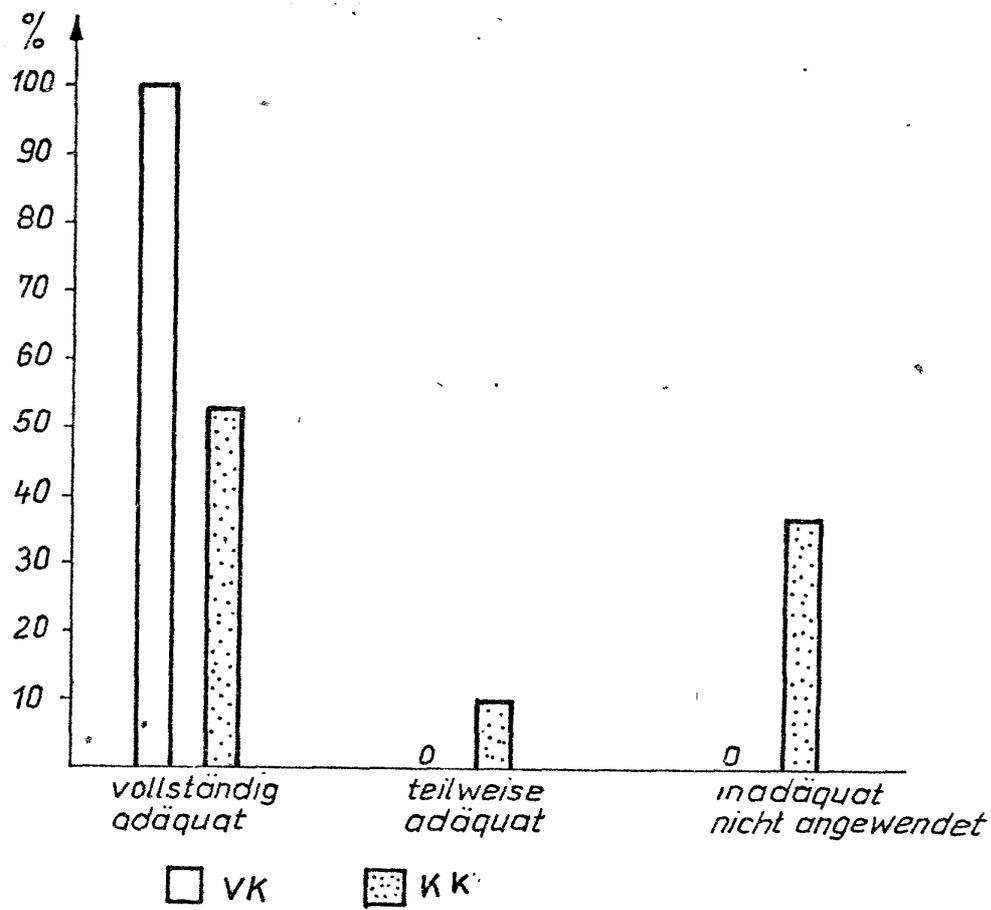


Abb. 24: Anwenden des verbal reproduzierten allgemeinen Verfahrens (nach REINHOLD 1988)

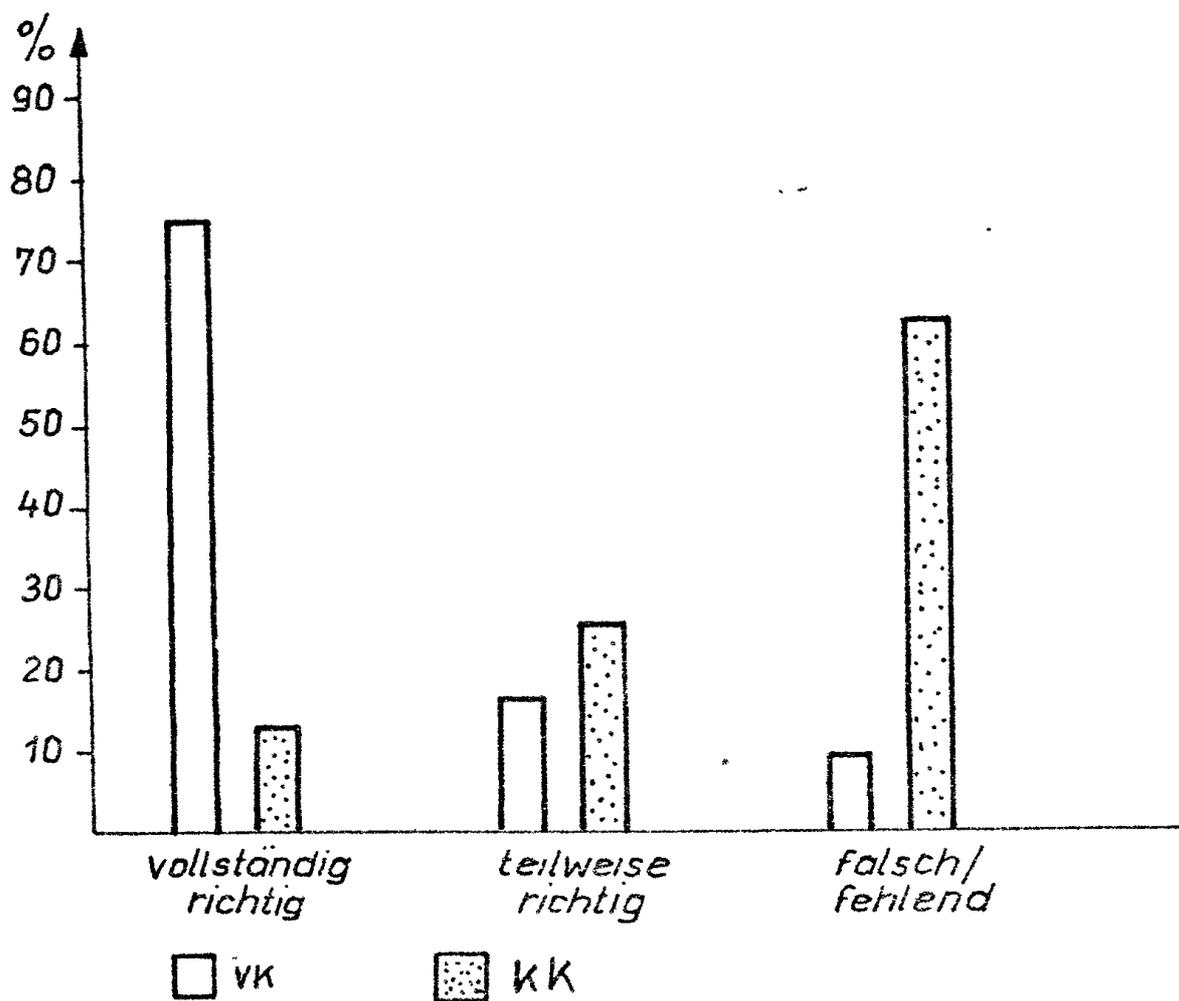


Abb. 25: Ermitteln des numerischen Resultats bei Schülern mit vollständig adäquater Anwendung des verbalisierten Verfahrens (nach REINHOLD 1988)

Die Analyse der konkreten Lösungsverläufe zeigte, daß etwa 75 % der Schüler der KK ein ziemlich formales Vorgehen realisierten, das im wesentlichen aus folgenden Schritten bestand:

1. Allgemeine Analyse des Sachverhaltes (Worum geht es in der Aufgabe?)
2. Analyse des Textes hinsichtlich der gegebenen Größen - mehr oder weniger oberflächlich und unsystematisch
(Welche Angaben sind mir gegeben? Ich schreibe sie alle heraus.)
3. Aufstellen mathematischer Gleichungen
(Ich rechne mit diesen oder zumindest mit einigen dieser Angaben.)
4. Ermitteln des numerischen Resultats.

Die Schüler waren vorrangig auf die im Text beschriebenen konkreten Erscheinungen und Sachverhalte orientiert und weniger auf die Aufdeckung der ihnen zugrunde liegenden allgemeinen Größen und der Beziehungen zwischen ihnen (trotz reproduzierbarer entsprechender Kenntnisse). Dies führte zu unsystematischem, z. T. planlosem Vorgehen, im Extremfall zu völlig blindem Versuch-Irrtum-Verhalten. Bei den Schülern waren die Zielorientierung und -analyse und das zielbezogene Abstrahieren der jeweils wesentlichen Angaben mangelhaft ausgebildet. Die meisten Schüler aus KK wollten mit dem Rechnen beginnen, ohne überhaupt zu bemerken, daß keine Frage angegeben war, während in den VK 84 % der Schüler sofort die Notwendigkeit erkannten, zunächst eine Frage zu bilden. Aber auch, nachdem dies bei den Schülern der KK auf Hinweis bzw. mit Hilfe erfolgt war, wurden relevante und irrelevante Größen häufig nicht unterschieden, sinnlose bzw. unbegründete Operationen ausgeführt usw. Ausdruck dieser ungenügenden Ausbildung eines adäquaten allgemeinen Verfahrens für das Lösen von SAA ist auch die Tatsache, daß nur 20 % der Schüler der KK in der Lage waren, einen Lösungsweg zu planen, ohne die entsprechenden Teilhandlungen sofort und sukzessive auszuführen (gegenüber 83 % in den VK), daß die Leistungen von Aufgabe zu Aufgabe sehr schwankten und stark von der jeweiligen konkreten Aufgabe (Inhalt, Darstellungsform usw.) abhingen und die

Übertragung eines Lösungsprinzips von einer Aufgabe auf eine andere aufgrund gleichartiger Beziehungen zwischen Größen nur einigen (vorwiegend leistungsstarken) Schülern gelang, während in den VK dazu bis zu zwei Dritteln auch der Leistungsschwachen in der Lage waren.

Demgegenüber gelang es durch die gezielte Ausbildung der für das Lösen von SAA erforderlichen Lernhandlungen, die Schuler der VK - wenn auch noch nicht in vollem Maße und auf dem angestrebten Aneignungsniveau - umzuorientieren auf die bewußte Bestimmung und Analyse des Ziels und die systematische, zielbezogene Aufdeckung der in der Aufgabe enthaltenen Größen und der Beziehungen zwischen ihnen. Die zur Bestimmung einer Größe allgemein erforderlichen anderen Größen und die Art ihrer Verknüpfung dienten den Schülern zur Orientierung in den konkreten Erscheinungen und Sachverhalten, und die Darstellung dieser Größen und Beziehungen in einem Strukturmodell erwies sich als wesentliches Analyse- und Planungsmittel. Es bildete sich bei allen Schülern der VK ein auf der Ziel-Mittel-Bedingungs-Analyse (vgl. Duncker 1974) (Rubinstein 1961) (Dörner 1976) (Köster 1983 u. a.) basierendes Vorgehen heraus (Abb. 26). Hinsichtlich der Vollständigkeit der internen Repräsentation allgemeiner Größenbeziehungen, der Verfügbarkeit des entsprechenden fachspezifischen Wissens, des Interiorisations- und Beherrschungsgrades der Teilhandlungen, der Qualität der sprachlichen Formulierung der allgemeinen Begriffe und Zusammenhänge und der Stabilität des Verfahrens bei der Anwendung auf inhaltlich und strukturell unterschiedliche SAA wies das heuristische Vorgehen der Schüler der VK interindividuelle Unterschiede auf. Der Ausbildungsprozeß ist mit dem erreichten Stand natürlich nicht abgeschlossen - weder was das allgemeine Niveau noch was die interindividuelle Variabilität anbetrifft. Die Effektivität der Ausbildung dieser Lernhandlungen nach der Lehrstrategie A—> K ist jedoch offensichtlich. In den Kontrollklassen entwickeln sich derartige Strategien mehr spontan und vorrangig bei leistungsstarken Schülern.

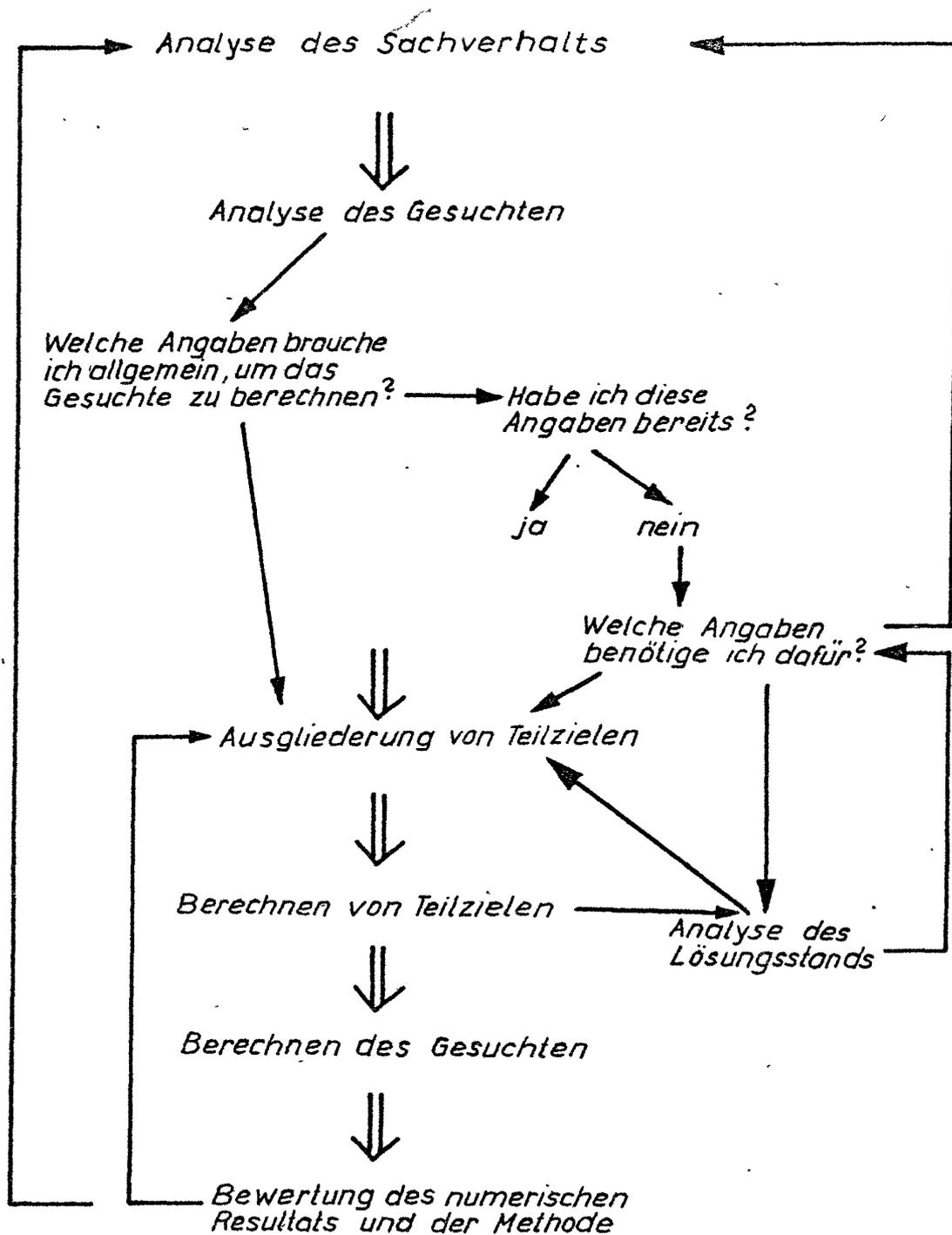


Abb. 26 : Schematische Darstellung des allgemeinen Vorgehens der Schuler aus Versuchsklassen beim Lösen von SAA (nach REINHOLD 1988)

5. Nachwort

Die dargestellten Realisierungsversuche der Lehrstrategie A → K zeigen bei aller Vorläufigkeit, daß hier wichtige Potenzen für eine Unterrichtsgestaltung liegen, die - bei gebührender Berücksichtigung der psychischen Lernvoraussetzungen der Schüler - eine hohe geistige Aktivität und zunehmende Selbständigkeit der Lernenden ermöglichen. In der Regel waren die Schüler mit Interesse und Engagement bei der Sache, und sie erreichten Lernergebnisse, die deutlich über dem "normalen" Niveau lagen (s. auch Psychologische Methoden 1988a) (Psychologische Methoden 1988b) (Lompscher 1989). Das zeigen auch die spezielleren Untersuchungen zu kognitiven und motivationalen Aspekten der Lerntätigkeit, die in der oben angegebenen Monographie eines Autorenkollektivs veröffentlicht wurden. Dort wurde auch ein allgemeines Fazit unserer bisherigen Forschungsarbeit gezogen. Es sind sicher vielfältige, unterschiedliche Umsetzungen der Lehrstrategie A → K denkbar, und natürlich gibt es auch ganz andere Möglichkeiten entwicklungsfördernder Unterrichtsgestaltung. Weiteres Suchen, Erproben, In-Frage-Stellen und Verbessern ist dringend geboten. Wir setzen unsere Bemühungen auf diesem Gebiet fort, wobei die interindividuellen Unterschiede zwischen den Schülern und die Bedingungen entwicklungsfördernder Differenzierung oder Individualisierung der Lerntätigkeit stärker in den Mittelpunkt rücken. Auch diese Probleme lassen sich kaum ohne engere Zusammenarbeit zwischen Psychologen, Didaktikern, Fachmethodikern u. a., zwischen Wissenschaftlern und Lehrern lösen.

Literaturverzeichnis

Ausbildung der Lerntätigkeit bei Schülern / Hrsg.: W. W. Dawydow; J. Lompscher; A. K. Markowa. – Berlin: Volk u. Wissen, 1982. – 320 S.

Böhme, Bernd

Besonderheiten leistungsschwacher Schüler 4. Klassen bei der Ausbildung von Lernhandlungen zum selbständigen Erkennen von Ursache-Wirkungs-Beziehungen im Naturgeschehen. – 1990. – 129 Bl.

Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A

Dawydow, W. W.

Arten der Verallgemeinerung im Unterricht. – Berlin: Volk u. Wissen, 1977. – 432 S.

Davydov, V. V.

Problemy razvivajuščego obučenija. – Moskva: Pedagogika, 1986. – 240 S.

Übers. d. Sacht.: Probleme des entwickelnden Unterrichts

Dörner, Dietrich

Problemlösen als Informationsverarbeitung. – Stuttgart [u. a.]: Verl. W. Kohlhammer, 1976. – 151 S.

Duncker, Karl

Zur Psychologie des produktiven Denkens. – Berlin [u. a.]: Springer-Verl., 1974. – 176 S.

Entwicklung des dialektisch-materialistischen Denkens / Hrsg.: Günter Pippig: Pädag. Hochschule. – Zwickau, 1985. – 183 S.

Fischer, Margrit

Ausbildung der Lerntätigkeit bei der Einführung in die Geographie im 4. Schuljahr mittels der Lehrstrategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten. – 1987. – 155 Bl.

Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A

Fischer Margrit

Die Lehrstrategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten bei der Einführung in den Geographieunterricht. – In: Psychologie für die Praxis. – Berlin 7 (1989) 2 – S. 151-162

Giest, Hartmut

Einführung der Schüler in die Physik nach der Lehrstrategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten (in Weiterführung des Versuchs Naturkunde in der 4. Klasse). – 1985. – 148 Bl. Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A

Giest, Hartmut ; Hinz, Gudrun

Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Mittelstufe. –
In: Pädagogische Forschung. - Berlin 26 (1985) 2. – S. 54 - 75

Hentschel, Regina

Untersuchungen zur Einsetzbarkeit, Verständlichkeit und Erziehungswirksamkeit des Lehrbuches
"Naturkunde Klasse 4". - 1985. - 205 Bl.

Köthen, Pädag. Hochsch., Gesellschaftswiss. Fak., Diss. A

Hinz, Gudrun

Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten - ein Ansatz für die Effektivitätssteigerung der
Lerntätigkeit. - In: Psychologie für die Praxis. - Berlin 4 (1986) 2. – S. 117 – 128

Hinz, Gudrun

Die Ausbildung der Lerntätigkeit im Biologieunterricht der 5. Klasse nach der Methode des
Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten. - 1984. - 187 Bl.

Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A

Hinz, Gudrun

Ausbildung der Lerntätigkeit im naturkundlichen Teil des Heimatkundeunterrichts der Klasse 4 nach
der Lehr-

strategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten : Forschungsbericht / Inst. für Pädagogische
Psychologie d. Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR. - Berlin, 1985. – 68 S.

Hinz, Gudrun; Lompscher, Joachim; Scheibe, Ines-Petra: Erkenntnisse und Probleme der
Untersuchungen zur Ausbildung der Lerntätigkeit durch Aufsteigen vom Konkreten zum Abstrakten.
– In: Pädagogische Forschung. - Berlin 28 (1987) 6. - S. 31- 48

Hoffmann, Margrit

Einführung der Schüler in die Geschichte nach der Lehrstrategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum
Konkreten (In Weiterführung des Versuchs Gesellschaftskunde in der 4. Klasse) Berlin, Akad. d.
Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A - 1985. - 187 Bl. 2. - 1985. - Anl.

Irmischer, Klaus:

Ausbildung der Lerntätigkeit nach der Konzeption des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten bei
der Einführung in die Naturwissenschaft im 4. Schuljahr. – 1982. - 182 Bl. Berlin, Akad. d. Pädag.
Wiss. d. DDR, Diss. A

Köster, Egon

Problemlosen als Lernhandlung - Grundlagen der Ausbildung schöpferischen Denkens und Handelns
in der Lerntätigkeit. - 1983. - 229 Bl.

Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. B

Köster, Egon ; Smendek, Werner

Bedingungen und Potenzen der Ausbildung der Lerntätigkeit durch die Arbeit mit einem Lernmodell bei der Einführung in die Gesellschaftswissenschaften in der Klasse 4. - In: Entwicklung des dialektisch-materialistischen Denkens / Pädag, Hochschule. - Zwickau, 1983. - S. 84 - 96

Köster, Egon ; Smendek, Werner

Zum Wesen und zur Funktion der Modellierung bei der systematischen Ausbildung der Lerntätigkeit. – In: Jahrbuch / Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR. - Berlin ; Volk u. Wissen, 1984. - S. 292 - 305

Küchler, Joachim

Ausbildung der Lerntätigkeit nach der Lehrstrategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten im Mathematik-Unterricht der 4. Klasse (dargestellt am Beispiel des Funktionsbegriffs). - 1984. " 153 Bl. Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A

Küchler, Joachim:

Die Entstehung funktionalen Denkens im Mathematikunterricht der Klasse 4 bei Ausbildung der Lerntätigkeit nach der Lehrstrategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten : Forschungsbericht / Inst, für Pädag. Psychologie d. Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR. – Berlin, 1985. – 41 S.

Le Khanh / Duong Nhu Xuyen:

Entwicklung theoretischen Denkens und kognitiver Interessen bei Schülern 5. Klassen. - 1978. 242 Bl. Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A

Lompscher, Joachim:

Psychologische Beiträge zur entwicklungsfördernden Gestaltung pädagogischer Prozesse. – In: Psychologie für die Praxis. - Berlin 7 (1989) Ergänzungsheft. – S. 67-86

Materialien der Beratung beim Präsidenten der Akademie am 2. Oktober 1985 zum Buchmanuskript "Tätigkeit, Lerntätigkeit, Lehrstrategie" von Prof. Dr. J. Lompscher. - Information, Präsidium / Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR. - Berlin (1986) 4. - 65 S.

Mathematik : Lehrbuch für Klasse 4. – 9. Aufl. – Berlin: Volk u. Wissen, 1989. - 208 S.

Ohl, Werner:

Aneignungsprozeß, Wissenserwerb, Fähigkeitsentwicklung. – Berlin: Volk u. Wissen, 1973. - 176 S.

Pavlik, Dieter:

Bericht über den Unterrichtsversuch "Chemie 7. Klasse" nach der Lehrstrategie des Aufsteigens vom Abstrakten zum geistig Konkreten / Inst. für Pädag. Psychologie d. Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR. - Berlin, 1981. - 39 S. Unveröff. Material

Pavlik, Dieter:

Die Erhöhung der Schüleraktivität im Chemieunterricht der 7. Klasse durch problemhafte Prozeßgestaltung nach der Methode des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten : padag. Lesung. Berlin, .1980. - 27.S.Standort: B 478 : Pädag. Zentralbibl., 5655 c

Pippig, Günter:

Dialektisches Denken und seine Entwicklung aus pädagogisch-psychologischer Sicht. - In: Dt. Zeitschrift für Philosophie. - Berlin 32 (1984) 2. - S. 180-188

Persönlichkeitsentwicklung in der Lerntätigkeit. – 3. Aufl. / Autorenkollektiv unter Leitg. von Joachim Lompscher. – Berlin: Volk u. Wissen, 1988. - 272 S.

Psychologische Analysen der Lerntätigkeit / Autorenkollektiv unter Leitg. von Joachim Lompscher. – Berlin: Volk u. Wissen, 1989. - 405 S.

Psychologische Methoden der Analyse und Ausbildung der Lerntätigkeit / Hrsg.: Joachim Lompscher; Wolfgang Jantos : Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Zentralstelle für pädag, Inform. u. Dok. Berlin, 1988a - Bd. 1 -122 S. ; Bd. 2 - 121 S. ; Bd. 3 - 130 S.

Psychologische Methoden der Analyse und Ausbildung der Lerntätigkeit : Tagungsband der Gesellschaft für Psychologie der DDR / Hrsg. Joachim Lompscher ; Wolfgang Jantos ; Sabine Schönian. - Berlin, 1988b. - 200 S.

Reinhold, Jürgen:

Ausbildung der Lerntätigkeit im Mathematikunterricht des 4. Schuljahres zur Befähigung zum Lösen von Sach- und Anwendungsaufgaben. - 1988. - 149 Bl. Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A Rubinstein, S. L.:

Das Denken und die Wege seiner Erforschung. Berlin : Akademie-Verl., 1961. - 146 S.

Schröter, Lutz:

Zur Ausbildung der Lerntätigkeit beim Lösen von Sach- und Anwendungsaufgaben im 5. Schuljahr. - 1987. - 156 Bl. Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR, Diss. A

Wagner, Christine:

Psychologische Analyse und Ausbildung von Textverstehensprozessen bei Schülern im jüngeren Schulalter. Berlin, Akad. d. Pädag. Wiss. d. DDR., Diss. B 1. - 1986. - 152 Bl. 2. - 1986. – Bl. 153 - 266

Zur Psychologie der 12- bis 22jährigen / Hrsg.: Walter Friedrich ; Harry Müller. - Berlin : Dt. Verl. D. Wiss., 1980. 256 S.