

Schwierigkeitsstufung von Internoperationen und unterrichtliche Mängel

von Harald RIEDEL, Berlin (D)

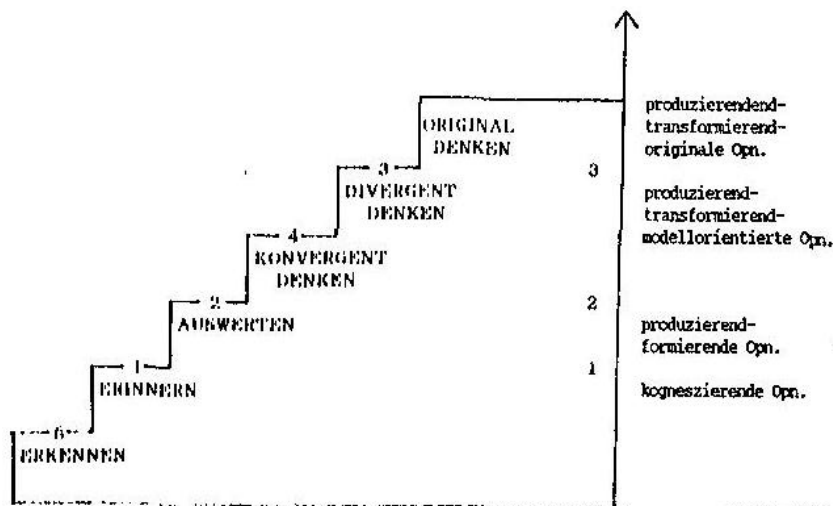
aus dem Institut für Unterricht im allgemeinbildenden Bereich des FB22 der Technischen Universität Berlin

I Vorbemerkungen

In der unterrichtspraktischen Anwendung hat sich gezeigt, daß das Modell der Internoperationen u.a. eine sehr gute Grundlage dafür bietet,

- fortschreitend vom Leichten zum Schweren systematisch Sequenzen eines aufgabengesteuerten Unterrichts aufzubauen (vgl. dazu H. Riedel 1990, S. 118)
- und bei der Anwendungsstufe den Grad an Selbständigkeit und an geistiger Beanspruchung der Lernenden zu differenzieren, um ihn so dem Lernzustand des jeweiligen Schülers anzupassen (s. Riedel 1991, S. 25).

Beides setzt voraus, daß das Modell der Internoperationen eine Stufung der Schwierigkeiten von Denkhandlungen repräsentiert. Dies ist in dem an früherer Stelle (Riedel 1991b, S.16) dargestellten Baum-Schema auch der Fall, allerdings nicht ohne Ausnahme. Denn jenes Schema wurde unter einem anderen Gesichtspunkt entwickelt: der Art und Weise, in welcher Informationen beim Vollzug der einzelnen Internoperationen verarbeitet werden. Zwar läßt sich aus der hieraus resultierenden Verzweigung auch auf den Schwierigkeitsgrad rückschließen, jedoch könnten bei der unterrichtstechnischen Anwendung des Schemas Fehler auftreten, insbesondere solche, die sich aus der Sonderstellung der Operation "Speichern" ergeben.



Im konventionellen Unterricht können solche Fehler zwar vom erfahrenen Lehrer aufgrund gut entwickelter Beobachtungsfähigkeit durch Einleitung entgegengerichteter Regulationsprozesse gemildert werden. Anders dagegen im Falle des objektivierten Unterrichts: Selbst sehr leistungsfähige Rechner vermögen aufgrund ihrer sensorischen Beschränkung und der (vorläufigen) Unfähigkeit, semantische Informationen direkt zu verarbeiten, nicht die Regelungsfähigkeit des menschlichen Lehrers annähernd zu erreichen. Desto schwerwiegender müssen sich für den Lernvorgang Fehler auswirken, die schon in die Konzeption des Unterrichts aufgrund nicht bekannter Zusammenhänge hineinkonstruiert werden. Deshalb will ich mich diesem Beitrag gesondert mit dem Schwierigkeitsgrad der Internoperationen

auseinandersetzen.¹

II Die Schwierigkeitsstufung der Internoperationen

Besser als aus dem schon erwähnten Baum-Diagramm geht die Stufung der Internoperationen hinsichtlich der Schwierigkeit ihres Vollzugs aus dem Treppen-Schema des Bildes I hervor. Des weiteren soll das Schema verdeutlichen, daß die jeweils höheren Operationen immer nur auf der Basis darunter liegender Operationen vollzogen werden können.

Die Vernachlässigung der .Schwierigkeitsunterschiede führt (mindestens bei den vorwiegend praktizierten *nachvollziehenden* und *aufgabengesteuerten* Lernformen) häufig zu erheblichen Mängeln im Unterrichtsprozeß. Ich werde in der Reihenfolge der in Bild I enthaltenen Ziffern sowohl auf die Ursachen der Schwierigkeitsunterschiede als auch auf die wichtigsten im Zusammenhang mit ihnen auftretenden Fehler eingehen.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, scheint mir jedoch eine Feststellung wichtig: Die in Bild I dargestellte Schwierigkeitsstufung stellt nur eine von zwei Dimensionen zur Beurteilung einer geistigen Leistung dar. Die andere Dimension betrifft die Objekte, auf welche die Internoperationen angewendet werden bzw. an denen sie vollzogen werden. Wenn die "Treppe" von Bild I besagt, daß Auswerten leichter sei als konvergentes Denken, so ist damit gemeint, daß der auswertende Umgang mit einem bestimmten Objekt leichter ist als der konvergent denkende Umgang mit demselben Objekt bzw. mit einem Objekt vergleichbarer Komplexität und Kompliziertheit. Anders ausgedrückt: Obwohl die Operation des konvergenten Denkens schwerer als jene des Auswertens ist, könnte das konvergent denkende Anwenden eines einfacheren Informationsgegenstandes u. U. eher bewältigt werden als das auswertende Anwenden eines viel komplexeren Sachverhalts.

1. Kogneszierende und produzierende Operationen

Ich beginne die Betrachtung der Schwierigkeitsunterschiede auf der zweiten Treppenstufe: Bis dorthin reichen die kogneszierenden Operationen Erkennen und Erinnern, welche jene Prozesse bezeichnen, die die Repräsentation von Informationen im Bewußtsein besorgen. Oberhalb dieser Stufe liegen die produzierenden Operationen Auswerten, konvergentes Denken, divergentes Denken und originales Denken. Ihnen allen ist gemeinsam, daß Informationen nicht lediglich bewußt werden, sondern in je spezifischer Weise weiterverarbeitet werden. Die Verarbeitung von Informationen schließt das vorherige Bewußtwerden ein. Allem deshalb sind produzierende Operationen schwieriger als kogneszierende Operationen.

Andererseits sind Menschen nicht per se in der Lage, etwas zuvor im Sinne der kogneszierenden Operationen Gelerntes sofort oder gar nach längerer Zeit entsprechend einer Lebensnotwendigkeit produzierend anzuwenden. Das hängt u.a. mit den unterschiedlichen Zuflußkapazitäten des Bewußtseins und des (Langzeit-) Gedächtnisses zusammen. Mehr ins Gewicht fällt dabei jedoch die mangelnde Verknüpfung der erworbenen und evtl. sogar gespeicherten Information mit geeigneten produzierenden Operationen. Dieser Mangel dürfte sich sogar schwerwiegender auswirken als das oft beklagte Fehlen von Bezügen zum Lebens- bzw. Berufsalltag.

Man sollte meinen, daß dieser Tatbestand in der Unterrichtspraxis hinreichend berücksichtigt wird. Doch weit gefehlt: So wird an Hochschulen (entgegen den Absichtserklärungen in Studienordnungen und -plänen) schon von erfolgreichen Studiengängen gesprochen, wenn es nur gelingt, einem relativ hohen Prozentsatz von Studierenden die als wesentlich erachteten Informationen zu "vermitteln", sie also erkennen zu lassen. Die angebotenen "Übungen" reichen nicht einmal aus, um das Erlernte in einem Mindestmaß zu

¹ Davon unabhängig ist allerdings auch richtig, daß der Vollzug niveautieferer Operationen an komplexeren Objekten oft durch den Vollzug höherer Operationen an einfacheren Objekten erreicht wird. Wegen seiner Kompliziertheit kann ich diesen Fall jedoch nicht mehr im Rahmen dieses Aufsatzes abhandeln.

speichern, geschweige denn, es auf vielfältige, möglichst auf konkrete Lebens- bzw. Berufssituationen bezogene Weise produzierend anwenden zu lassen. Ungerechterweise wird in später erfolgenden Prüfungen oft aber genau dies verlangt.

Selbst in Grundschulen tritt dieser Mangel immer stärker zutage, häufig unterstützt von den Rahmenplänen der Kultusbehörden. Es soll möglichst viel und Unterschiedliches gelernt (gemeint ist: erkannt) werden. Die Zeit für gediegene Unterrichtsphasen, in denen die Schüler das Erlernte selbständig auf neue Situationen und auf verschiedenem Anforderungsniveau anwenden können, steht nicht zur Verfügung, es sei denn, Lehrer entscheiden sich bewußt gegen Rahmenpläne und die Mehrzahl der Schülerbücher.

Der Effekt: Das eilig Erkannte wird, wenn nicht vollständig vergessen, keinesfalls in die bestehende kognitive Struktur integriert und eine Verwendung im "späteren Leben" bleibt Utopie. Für den Fall, daß die "Kenntnisse" später wenigstens erinnert werden können, zeigt die "Treppe" aus Bild 1 deutlich, daß der Unterrichtsprozeß schon auf der 2. Operationsstufe abgebrochen wird.

Sieht man einmal von dieser Effektivitätsbetrachtung ab, so bleibt immer noch ein schwerwiegendes lernpsychologisches Moment, das insbesondere auf die Fälle der nachvollziehenden und aufgabengesteuerten Lernformen (vgl. dazu H. Riedel 1990, S. 116f) zutrifft, die in der Unterrichtspraxis leider fast ausnahmslos realisiert werden.

H. Aebli (1983, S. 367f) verdeutlicht dies in einem sehr plastischen Vergleich: "Der Schüler gleicht einem Bergsteiger, der einen Berg unter der Leitung eines Führers ersteigt. Physikalisch gesehen, hat er den Berg zwar selbst erstiegen, d.h. er hat jeden Schritt und jeden Klettergriff selbst ausgeführt. Der Führer aber hat ihm den Weg gewiesen, ist ihm vorangestiegen und hat ihm an jeder schwierigen Stelle genau gesagt, was er tun müsse. Der Lehrer sichert desgleichen den geordneten Gesamt Ablauf bei der Erarbeitung eines neuen Gegenstandes und sagt dem Schüler, was er im einzelnen zu tun hat.... mit anderen Worten: Im Denken des Schülers, bei seiner Arbeit am Gegenstand bilden Auffassungstätigkeit und Inhalt, Gesichtspunkt der Erfassung und erfaßter Tatbestand eine undifferenzierte Einheit, in der Inhalt und Tatbestand absolut im Vordergrund stehen. ... damit bleiben für ihn die Gesichtspunkte und Auffassungstätigkeiten noch ganz und gar an der Situation haften, an der sie entwickelt worden sind."

Auf wiederum einer anderen Ebene liegt der folgende, leider ebenfalls auf allen Schulstufen von der Grundschule bis hin zur Hochschule zu beobachtende Fehler. Er unterläuft selbst Lehrern, die die erstgenannten Fehler schon nicht mehr begehen: Es werden Leistungen erwartet, die die produzierende Anwendung von Informationen zum Ziel haben, die jedoch - dem Lehrer unbewußt - gleichzeitig verlangen, daß die zu verarbeitenden Informationen auch schon gespeichert sind:

Beispielsweise sollen Schüler im 3. Schuljahr das Verfahren zur schriftlichen Addition konvergent denkend auf neue Fälle anwenden, oder in einer Diplomprüfung wird das konvergent denkende Anwenden von Rechtsvorschriften auf einen konkreten Rechtsfall verlangt. Nach einmaligem Erkennen kann nicht erwartet werden, daß die Lernenden alle Schritte des Rechenverfahrens oder alle Einzelheiten der Rechtsvorschriften erinnern können.

Die Lernenden sind dann durch die Forderung nach Reproduktion der zuvor erkannten Informationen und ihrer gleichzeitigen produzierenden Anwendung sicher überfordert, weil sie ständig unnötig Bewußtseinskapazität verbrauchen, indem sie versuchen, die Grundlagen ihrer Arbeit zu erinnern oder zu "rekonstruieren".

Die produzierende Anwendung wird dagegen leichter gelingen, wenn den Lernenden zusätzliche Operationsobjekte, beispielsweise das Rechenverfahren in Form von "Merkschritten" oder anhand eines konkreten Beispiels bzw. eine dem Rechtsfall entsprechende Sammlung von Rechtsvorschriften vorgegeben wird.

Im Falle mangelhafter Leistung kann man am Produkt der Lernenden nicht mehr erkennen, ob die Fähigkeit zum konvergent denkenden Anwenden (worauf es ja ankam) nicht ausreichend vorhanden war oder ob lediglich "Gedächtnislücken" die

Ursache waren. Daher sollte die Aufforderung zum konvergent denkenden Anwenden ohne zusätzliche Operationsobjekte nur ergehen, wenn sichergestellt ist, daß die benötigten Grundlagen für den Lernenden bereits relativ informationsarm sind.

Allgemein ausgedrückt: Wegen der nicht beliebig erweiterbaren Bewußtseinskapazität muß der Informationsgehalt des zu verarbeitenden Materials um so geringer sein, je schwieriger die verlangte Internoperation ist.

2. Formierende und transformierende Operationen

Innerhalb der produzierenden Operationen müssen die unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade der formierenden Operationen einerseits und der transformierenden Operationen andererseits beachtet werden.

Zu den *formierenden* Operationen zählen nach dem früher publizierten Baumdiagramm (vgl. H. Riedel, 1991, S.16) das Speichern und das Auswerten. In Bild 1 ist jedoch nur das Auswerten enthalten und belegt daher allein die Schwierigkeitsstufe der produzierend-formierenden Operationen. Das hängt damit zusammen, daß der Schwierigkeitsgrad des Speicherns nicht beurteilt werden kann, solange nicht klar gestellt ist, auf Grundlage welcher anderen Operationen die Speicherung zustande gekommen ist, etwa durch mehrfaches Erkennen und Erinnern oder durch die Abfolge verschiedener produzierender Operationen (vgl. dazu H. Riedel 1991, S. 20). Auswerten als formierende Operation ist durch lediglich ordnende und vergleichende Tätigkeiten gekennzeichnet.

Die oberhalb dieser Stufe liegenden *transformierenden* Operationen konvergentes, divergentes und originales Denken verlangen mehr: Die im Bewußtsein vorliegenden Informationen müssen umgeformt und miteinander verknüpft werden, so daß Informationen hergestellt werden, die insofern als neu zu bezeichnen sind, als sie dem erzeugenden Bewußtsein bisher unbekannt sind. Hier liegt der wesentliche Unterschied gegenüber den (nur) formierenden, wenn auch bereits produzierenden Operationen. Ein in der gängigen Unterrichtspraxis beobachtbarer Mangel hegt vor allem darin, daß Lehrende die Bedeutung der formierenden Operation Auswerten nicht kennen oder ihr nicht genügend Gewicht beimessen.

So ist ein durchschnittlicher Lehrerstudent fast immer überfordert, wenn er unter Verwendung zuvor als gut befundener didaktischer Kriterien erstmals eine Unterrichtseinheit planen soll, die Kriterien also mindestens konvergent, wünschenswerterweise auch divergent denkend anwenden soll. Gibt man ihm dagegen Gelegenheit, dieselben Kriterien an schon vorhandenen Unterrichtsaufzeichnungen oder -planungen auswertend anzuwenden, so hat dies nicht nur den unter motivationellen Gesichtspunkten sehr wesentlichen Effekt, daß er mit der in der Regel verlangten geistigen Leistung zu einem erfolgreichen Resultat kommt, sondern gleichzeitig werden noch nicht bewußte Schwierigkeiten im Umgang mit den zu verarbeitenden Kriterien abgebaut: Die wesentlichen Merkmale, ihre Wirkungsbreite, ihr Gültigkeitsbereich werden deutlicher. Insgesamt wird der Informationsgehalt des bearbeiteten Objekts herabgesetzt. Damit wird der Student eher befähigt, anschließend die schwierigere Leistung des konvergent denkenden Anwendens etwa bei der Planung einer neuen Unterrichtssituation zu erbringen

Durch die formierende Operation des Auswertens wird in der Regel zweierlei bewirkt:

- Einerseits werden oft erst alle für produzierende Leistungen wesentlichen Informationsbestandteile hinreichend bewußt gemacht,
- andererseits wird durch den Vollzug der produzierenden Operationen auf niedrigem Schwierigkeitsniveau eine Verringerung des subjektiven Informationsgehalts bewirkt, den der Lerngegenstand für den Lernenden besitzt.

Somit wird durch den Einsatz formierender Operationen oft erst eine solide Grundlage geschaffen, auf welcher transformierende Leistungen aufgebaut werden können. Das gilt für alle Schulstufen, nämlich immer dann, wenn die zu transformierenden Sachverhalte für den Lernenden einen relativ hohen Informationsgehalt besitzen.

Im Bereich der Kunst ist dieser Unterschied zwischen formierenden und transformierenden Operationen eher bewußt: Das (mindestens konvergent denkende) Erzeugen künstlerischer Produkte ist schwieriger als das (vorwiegend auf auswertenden Tätigkeiten beruhende) Kritisieren. Erstaunlich, daß bei der landläufigen Forderung, bei jungen Menschen die Fähigkeit zu abgewogener Kritik heranzubilden, den formierenden Operationen in anderen Unterrichtsbereichen meist so wenig Gewicht beigemessen wird.

3. Modellorientierte Operationen und originales Denken

Bei den *transformierenden* Operationen ist in erster Linie der unterschiedliche Schwierigkeitsgrad zwischen den *modellorientierten* Operationen des konvergenten und divergenten Denkens einerseits und dem originalen Denken andererseits zu beachten. Bei den modellorientierten Operationen geschieht die Transformation der Information nach schon zuvor erworbenen Mustern oder Modellen.

Beim *originalen* Denken dagegen erfolgt die Verarbeitung spontan, sprunghaft, nicht vorhersehbar - eben originell. Es bedarf keiner weiteren Erläuterung, daß diese nur relativ selten vollzogene Art der Informationsverarbeitung die weitaus schwierigste ist und durch unterrichtliche Einflüsse auch gar nicht direkt initiiert ist. Insofern könnte bezweifelt werden, ob der gezeigte Unterschied für unterrichtliche Belange überhaupt von Bedeutung ist. Doch zeigt die Praxis, daß mit dem Begriff des "Kreativen" der Unterschied zwischen den im Unterricht regelmäßig zu erzeugenden modellorientierten Denkhaltungen einerseits und dem originalen Denken andererseits verdeckt wird und daß dies in der Folge zu maßlosen Überforderungen der Schüler sowie zu Frustrationen seitens der Lehrenden führt.

Die Grundlage für die Leistung der modellorientierten Operationen kann im Unterricht systematisch dadurch geschaffen werden, daß die Schüler einerseits hinreichend mit Modellvorstellungen konfrontiert werden und daß diese Modelle andererseits genügend oft in Anwendungssituationen verarbeitet werden können.

Liefert der Lehrende diese Modelle nicht und fordert er dennoch "kreative" Leistungen, so könnte seine Forderung lediglich durch den Vollzug originalen Denkens erfüllt werden. Damit aber wird er seine Schüler fast ausnahmslos überfordern.

Auch im Berufsleben der Künstler und Techniker werden "Erfindungen" nur recht selten ohne modellhafte Grundlagen, also aufgrund originalen Denkens gemacht, sondern meistens durch divergent denkendes Anwenden zuvor erworbener Modelle.

Lehrer schwärmen oft von besonders "kreativen" Schülern. Das sind in der Regel solche Personen, die bereits über eine Vielfalt von Modellen verfügen und diese divergent, oft sogar nur konvergent einsetzen. Um so größer sind die Enttäuschungen der Lehrer, wenn sie nicht den Unterschied zum originalen Denken kennen und dennoch unbewußt eine entsprechende Leistung von den Schülern fordern. Die Höhe ihres Anspruchs bleibt den Lehrenden deshalb verborgen, weil sie selbst die geforderte Leistung entweder durch ("nur") modellorientierte Operationen zustandegebracht, oft aber sogar nur imitativ übernommen haben.

An einem schon früher dargestellten Beispiel (Riedel 1991, S. —) wird das besonders deutlich: In einem 2. Schuljahr ohne Vorbereitung von den Schülern zu erwarten, daß sie die Zahlen bis 100 entsprechend dem Summier-Verfahren von Gauß addieren, ist als eine maßlose Überforderung zu betrachten. Denn hier wird originales Denken gefordert, wie es ausnahmsweise von Gauß in diesem Alter vollbracht wurde. Wird die Aufmerksamkeit der Schüler jedoch zuvor durch angemessene Ergänzungsaufgaben ($1 + \dots = 100$, $36 + \dots = 100$, $57 + \dots = 100$) auf die entsprechenden Zahlenpaare gelenkt, so könnten durchaus einige befähigte Zweitkläßler durch divergentes Denken im Rahmen eines Relationentransfers zur erwarteten Lösung gelangen.

4. Konvergentes und divergentes Denken

Der Schwierigkeitsunterschied zwischen diesen beiden produzierend-transformierend-modellorientierten Operationen ist schon aufgrund ihrer Definitionsmerkmale plausibel: Das konvergente Denken verlangt lediglich das Verarbeiten von Informationen nach einem schon bekannten Verfahren, etwa die Berechnung der dritten Seite eines rechtwinkligen Dreiecks nach dem Satz des Pythagoras.

Das *divergent* denkende Anwenden derselben Information erfordert, daß sich der Lernende wiederholt von schon angewendeten Mustern und Denkrichtungen löst und neue Wege der Verarbeitung beschreitet. Dies wird notwendig, wenn er beispielsweise möglichst unterschiedliche Anwendungsfelder für den Satz des Pythagoras erdenken soll.

Eine der erdachten Möglichkeiten kann natürlich auch die eben für die konvergent denkende Anwendung genannte Aufgabe darstellen. Es wird darüber hinaus aber mehr verlangt: z.B. die im üblichen Schulunterricht vollständig unübliche Umkehrung der Aufgabe, also die Konstruktion eines rechten Winkels mit Hilfe des Pythagoras-Satzes, etwa unter Verwendung der Seitenlänge von 3,4 und 5 Einheiten. Oder sich von der Vorstellung eines einfachen rechtwinkligen Dreiecks lösend: die Berechnung der Basis eines gleichschenkligen Dreiecks bei gegebener Schenkellänge. Oder über die Ebene hinaus: die Berechnung einer Raumdiagonalen in einem Quader. Zur Klarstellung: Nicht etwa soll der Lehrer den Schülern die genannten Aufgaben stellen, sondern die Schüler sollen sich die entsprechenden Anwendungsfelder erdenken, um

sie ggf. ihren Mitschülern zum Knacken zu geben. Diesen wiederum genügt bereits konvergentes Denken, um die Aufgaben zu lösen, sofern sie genügend sicher die Ausgangsbedingungen ausgewertet haben. Der Mangel des üblichen Unterrichts liegt nun weniger in der Nichtachtung der Schwierigkeitsunterschiede beider Operationen, sondern in der grundsätzlichen Verkenntung von Möglichkeiten zum divergent denkenden Anwenden von Informationen. Wenn der Unterricht überhaupt die Stufe der Anwendung ansteuert, so bleibt er bestenfalls auf der Stufe des konvergent denkenden Anwendens stehen. Das gilt meiner Erfahrung nach nicht nur für mathematische und naturwissenschaftliche Bereiche, sondern nahezu im selben Maß für sprachliche und künstlerische Unterrichtsfelder.

Traditionell wird im letztgenannten Bereich den Schülern noch am ehesten die Gelegenheit zum divergenten Denken geboten. Neben dem Mangel, den ich schon in Abgrenzung zum originalen Denken im 3. Abschnitt darstellte, daß oft allerdings gar nicht hinreichende Grundlagen für das divergente Denken geschaffen werden, ist ein weiterer Fehler nicht selten anzutreffen; Es wird nicht zwischen der Leistung des Einzelnen und der Leistung einer Gruppe unterschieden.

Ergeht ein Auftrag zum divergenten Denken an die Gruppe und nicht an das Individuum, so hat dies zur Folge, daß die einzelnen Schüler lediglich eine - wenn auch jeweils andere - konvergent denkende Leistung vollbringen müssen. Das gelingt relativ oft, da die Vorerfahrungen und damit die Perspektiven der Lernenden unterschiedlich sind. Für den Lehrer aber entsteht aufgrund der Vielfalt der "Einfälle" der Eindruck divergent denkender Vollzüge, wenn er Einzel- und Gruppenleistung nicht auseinanderhält.

Um bei unserem Beispiel zu bleiben: Verschiedene Schüler machen je einen Vorschlag für eine neue Anwendung des Pythagoras-Satzes. So kommen evtl. insgesamt die oben aufgeführten Anwendungsfälle zur Diskussion, die Gruppe hat also divergierende Denkergebnisse erbracht, nicht jedoch notwendigerweise der einzelne Schüler.

5. Erkennen und Erinnern

Der Leser mag es zunächst für ungerechtfertigt halten, auch Schwierigkeitsunterschiede der beiden kogneszierenden Operationen Erkennen und Erinnern zu betonen, da die Informationsquellen bei beiden Operationen ohnehin unvergleichbar sind.

Beim Erkennen werden durch die Sinnesorgane verschlüsselte Informationen der Außenwelt bewußt, beim *Erinnern* abgespeicherte Inhalte des Gedächtnisses. Doch gerade hierin liegt der für Unterrichtsbedingungen bedeutsame, aber dennoch so oft vernachlässigte Unterschied: Mögen auch unsere Sinne "trägerisch" sein, sie erlauben uns doch eine im Verhältnis zur Aktivierung von Gedächtnisinhalten relativ sichere Aufnahme von Informationen der Außenwelt. Sofern die Signalquelle nicht schon nach kürzester Zeit versiegt (wie bei der Aufnahme über den akustischen Kanal), wird die Sicherheit der Informationsaufnahme allem dadurch erhöht, daß der Lernende seine Operationsversuche mehrfach wiederholen kann: Man kann ein Objekt mehrmals betrachten oder betasten. Erinnernte Informationen sind im Verhältnis zu diesen Möglichkeiten der Vergewisserung immer recht unsicher und

flüchtig. Außerdem unterliegen sie nur schwer kontrollierbaren Veränderungen, die dem Lernenden selbst nicht bewußt werden müssen.

Das ist zu berücksichtigen, wenn der Unterricht an Lernsituationen anknüpft, die beispielsweise einen Tag oder noch länger zurückliegen. Nur wenn der Lehrende aufgrund vorangegangenen Unterrichts sicher sein kann, daß die vorauszusetzenden Grundlagen des neu einsetzenden Unterrichts vom Lernenden vollständig gespeichert sind, kann der Unterricht ohne eine besondere Phase zum Zwecke des Erinnerns fortgesetzt werden. Dies aber wird gar nicht so oft der Fall sein!

In allen anderen Fällen ist Sorge dafür zu tragen, daß die Lernenden Gelegenheit erhalten, die vorauszusetzenden Unterrichtsobjekte zu erinnern. Eine verbale, noch dazu mündliche Zusammenfassung, die üblicherweise diesen Zweck erfüllen soll, ist allerdings das am wenigsten geeignete Operationsobjekt hierzu. Gerade Lernenden, die unerwünschte "Gedächtnislücken" aufweisen, hilft diese Maßnahme wenig, da sie als ein nicht-ikonisches und dazu sehr flüchtiges Operationsobjekt sehr abstrakt ist.

Der einfachste Ausweg bietet sich darin, die Lernenden nochmals mit jenen Operationsobjekten zu konfrontieren, an denen sie in den zurückliegenden Unterrichtssituationen operieren können.

Beispiel: Die Schüler eines 3. Schuljahres sollen aus einer Karte mit Höhenlinien das Höhenprofil der

Strecke Berlin-Dresden erstellen. Sie müssen also Informationen über die Bedeutung und den Verlauf der Höhenlinien konvergent denkend anwenden. Sie lediglich im Gespräch an den vorangegangenen Unterricht zu erinnern, würde keine solide Grundlage für diese Arbeit darstellen. Anders dagegen, wenn der Lehrer ihnen nochmals die im vorangegangenen Unterricht verwendeten Operationsobjekte zeigt: den Modellberg, der aus einer in parallele Höhenschichten geschnittenen Kartoffel hergestellt worden war, die Seiten- und die Senkrechtsansicht dieses Berges, schließlich die topologische Karte der Havelberge.

Diese Maßnahme ist insbesondere dann von Erfolg, wenn im Bewußtsein der Lernenden das zu lernende, fast immer abstrakte Unterrichtsobjekt noch nicht von jenen Operationsobjekten abgelöst ist, durch welche die Unterrichtsobjekte repräsentiert wurden. Für alle Lernenden, selbst für jene, die diesen Ablösungsprozeß jedoch schon vollzogen haben, ergeben sich zwei weitere Vorteile:

- einerseits werden sie mit den zu erinnernden Unterrichtsobjekten in konkreteren Formen konfrontiert, so daß nicht auch noch Transformationen hinsichtlich der Konkretionsstufe erforderlich werden (vgl. dazu E. König 1979, S. 118 -121),
- andererseits wird jeder Lernende nochmals an jene Operationen, insbesondere an die produzierenden, erinnert, durch welche er sich anhand dieser Operationsobjekte die angestrebten Unterrichtsobjekte erarbeiten konnte. Dabei wird es nur in seltenen Fällen notwendig sein, diese Operationen nochmals tatsächlich ausführen zu lassen. Meist wird es genügen, sie lediglich nochmals "im Geiste" nachvollziehen zu lassen.

Die abstrakte Darstellung der Höhenverhältnisse wird so nochmals an die konkreten (auch externen) Operationen geknüpft, die an den genannten Operationsobjekten vollzogen worden waren: das Formen eines "Berges" aus einer Kartoffel, das schichtweise Zerschneiden der Kartoffel in Höhenschichten, das Abtragen der Umrißformen auf dem Papier, schließlich der Vergleich dieser "Karte" mit dem Berg.

Durch die so erinnerten Vorstellungen wird eine weitaus operablere Grundlage für die nächste, recht schwierige Anwendung geschaffen.

Sofern die Unterrichtsobjekte nicht lediglich auf den Stufen rein nachvollziehenden oder auch aufgabengesteuerten Lernens erworben wurden (vgl. dazu H. Riedel 1990, S. 116f), sondern auf der Stufe problemgesteuerten Lernens, so genügt oft die nochmalige Präsentation jener Operationsobjekte, durch welche die Problemstellung und die endgültige Problemlösung repräsentiert worden waren. Falls diese Maßnahme allein nicht reicht, bietet sich an, zusätzlich jene Operationsobjekte in Erinnerung zu bringen, anhand derer die Problemlösung erarbeitet worden war.

War der Unterricht über Höhenlinien durch die Problemstellung eröffnet worden, an Hand einer Karte (zunächst ohne Höhenlinien) die Entscheidung zu treffen, eine Wanderung lieber direkt (über die Havelberge) oder auf einem (leichteren) Umweg zu unternehmen, so würde die Vorlage dieser Karte, der entsprechenden Karte mit Höhenlinien und des dazu passenden Photos genügen. Falls nicht, bleibt die Möglichkeit, zusätzlich die schon weiter oben aufgeführten Operationsobjekte zu präsentieren.

Übrigens verbraucht diese Form des Erinnerns nicht mehr Zeit als die mündliche Zusammenfassung des vorangegangenen Unterrichts.

III Empirische Befunde

Wenn die in Abschnitt II dargestellten Schwierigkeitsstufen auch recht plausibel erscheinen mögen, so ist doch das gesamte Modell der Internoperationen und damit auch die Menge der aufgewiesenen Schwierigkeitsunterschiede rein hypothetisch. Mit Recht werden sich potentielle Anwender des Modells - und das sollten nicht nur "normale Lehrer", sondern all jene Autoren sein, die sich mit der Erstellung von Lehr- und Unterrichtsprogrammen, insbesondere für den rechnerunterstützten Unterricht befassen - fragen, welchen Bewährungsproben das Modell bisher standgehalten hat. Denn wie andere Modelle müssen sich natürlich auch didaktische Modelle in der Wirklichkeit bewähren.

Was den praktischen Einsatz anbelangt, so kann auf eine bereits zwei Jahrzehnte lange Erfahrung im Umgang mit dem Modell an Berliner Grundschulen und Universitäten hingewiesen werden. Studenten, Lehrer und Hochschullehrer, die das Konzept der Systemtheoretischen Didaktik auch nur teilweise für den Unterricht verwenden, greifen ausnahmslos wenigstens auf das Teilmodell der Internoperationen zurück. Dies geschieht offensichtlich in dem Bewußtsein, daß es ihnen die Gewähr für höhere Produktivität und Effektivität ihrer Lehrhandlungen bietet.

Da solche praxeologischen Behauptungen allein jedoch zu schwach sind, um den Einsatz des Modells und der davon abgeleiteten Forderungen für Unterricht zu legitimieren, haben wir an der TU Berlin seit 1984 eine Serie unterrichtswissenschaftlicher Experimente durchgeführt, um die geforderte Bewährungsprobe auch im technologischen Sinn, und somit vollständig reproduzierbar, weil von den Subjekti-

vitäten praxeologischen Geschehens abgehoben, zu realisieren. Dies geschah zunächst an einer besonders kritischen Stelle des Modells:

Diskussionen mit Lehrern und Studenten zeigen, daß keiner der in Bild 1 dargestellten Schwierigkeitsstufungen vom gesunden Menschenverstand her so widersprochen wird wie jener zwischen Auswerten und konvergentem Denken. Das Modell besagt, daß Auswerten leichter sei als konvergentes Denken. Praktiker führen dagegen immer wieder an, daß die Lernenden durch die Vielfalt der Entscheidungsmöglichkeiten bei Auswertaufgaben verwirrt würden, was eine erhebliche Erschwerung des Denkaktes bedeute. Die Diskussionen zeigen, daß bei dieser Argumentation allerdings drei wichtige Momente unberücksichtigt bleiben:

- Auswerten verlangt nur, daß zuvor erkannte und/oder gespeicherte Informationen miteinander verglichen werden, konvergentes Denken dagegen, daß diese Informationen miteinander verknüpft werden müssen.
- Beim Auswerten muß nur eine Entscheidung hinsichtlich der Übereinstimmung vorgegebener Informationen gefällt werden, beim konvergenten Denken dagegen müssen Informationen hergestellt werden, die (für den Lernenden) neuartig sind.
- Jede Aufgabe zum Auswerten kann vom Lernenden so reduziert werden, daß er lediglich jeweils zwei Merkmale und/oder Relationen zu vergleichen hat, beim konvergenten Denken dagegen muß er gleichzeitig alle notwendigen Informationen bewußt haben, die zur Produktion der neuen Information notwendig sind. (Vgl. Riedel 1985, S. 102)

Demzufolge ist die Vermutung gerechtfertigt, daß Auswerten leichter als konvergentes Denken ist. Dies belegen auch unsere Experimente. Trotz aller Bemühungen, die Hypothese zu widerlegen, bewährte sich unsere Modellvorstellung in den verschiedensten Bereichen: bei Schülern zwischen dem 1. und dem 10. Schuljahr ebenso wie bei Erwachsenen, und dies bei so unterschiedlichen Unterrichtsobjekten wie "Symmetrie" (in Mathematik), "Dreiklänge/Umkehrungen" (in Musik) und "Magnetismus" (im technisch-naturwissenschaftlichen Elementarunterricht). (Vgl. dazu H. Riedel 1985a und 1985b, I. Breyer u.a. 1986, H. Riedel 1986, I. Breyer/H. Riedel 1986, H. Riedel 1987, I. Breyer u.a. 1987), In allen Untersuchungen

- machten die Versuchspersonen weniger Fehler beim Auswerten als beim konvergent denkenden Anwenden eines Objekts
- oder sie brauchten mehr Zeit beim konvergent denkenden Anwenden
- oder sie waren überhaupt nicht in der Lage, eine Information konvergent denkend anzuwenden, während sie dennoch dieselbe Information auswertend anzuwenden vermochten..

Damit entsprechen die Ergebnisse dieser unterrichtstechnologischen Untersuchungen unseren langjährigen praxeologischen Erfahrungen hinsichtlich des Schwierigkeitsunterschiedes von Internoperationen wenigstens an diesem besonders kritischen Punkt des Modells.

Schrifttum

- AEBLI, H.: Zwölf Grundformen des Lehrens. Klett-Cotta. 1983
- BREYER, I., RIEDEL, H., SIEGMUND, A.: Kontrollexperimente zur Schwierigkeitsstufung zweier Internoperationen. GrKG Bd. 27, Heft 2 (1986), S. 61-73.
- BREYER, I. und RIEDEL, H.: Vergleichsuntersuchung zum Schwierigkeitsgrad der Internoperationen AUSWERTEN und KONVERGENTES DENKEN. GrKG Bd. 27, Heft 4 (1986), S. 161-176.
- KÖNIG, E.: Wirkung didaktischer Ansätze auf Unterricht. In: E. KÖNIG / H. RIEDEL: Systemtheoretische Didaktik. Beltz 1979 4, S. 97 - 146
- RIEDEL, H.: Vorbereitung eines Experiments zur Schwierigkeitsstufung von Internoperationen. GrKG Bd. 26, Heft 3 (1985a), S. 99-110.
- RIEDEL, H.: Aufbau und Ergebnisse eines Falsifikationsexperiments zur Schwierigkeitsstufung von Internoperationen. GrKG Bd. 26, Heft 4 (1985b), S. 163-176.
- RIEDEL, H.: Muster eines Algorithmus zur Realisation unterrichtswissenschaftlicher Falsifikationsexperimente. GrKG Bd. 27, Heft 3 (1986) S. 105 -117
- RIEDEL, H.: Vorüberlegungen zur Revision des Modells der Internoperationen. GrKG Bd. 31, Heft 3 (1990), S.111-122
- RIEDEL, H.: Neufassung eines Modells der Internoperationen. GrKG Bd. 32, Heft 1 (1991), S. 15-28

Eingegangen am 20.2.1991

Anschrift des Verfassers: Prof. H. Riedel, Muthesiusstr. 4, 1000 Berlin 41

Schwierigkeitsstufung von Intemoperationen und unterrichtliche Mängel (Knapptext)

Die unterschiedlichen Schwierigkeiten beim Vollzug des Erkennens, des Erinnerns, des Auswertens, des konvergenten Denkens, des divergenten Denkens und des originalen Denkens werden begründet. Sodann werden Mängel beschrieben, die aus Unkenntnis jener Unterschiede in der gängigen Unterrichtspraxis auftreten, die jedoch bei der Konstruktion objektivierte Unterrichts vermieden werden müssen, um unnötige Störungen der Lernprozesse zu auszuschließen.

Gradigo de intemaj operacioj kaj instrumankoj (Resumo)

Diversaj malfacilajoj de ekkono, memorigo, pritaktado, de konvergenta pensado, divergenta pensado kaj de original a pensado estas pravigitaj. Tial poste estas priskribitaj la mankoj, kiuj eliras el nekonateco de tiuj-ci diversecoj en la normala instrupraktiko, kiun ja oni devas forigi dum la konstnio de objektiva lernado, por eviti nedeeireblajn genojn de lernprocezoj.

