

*Nachdruck einer verbesserten Fassung von*

## **Neufassung eines Modells der Internoperationen**

von Harald RIEDEL (D)

aus dem Institut für Grundschulpädagogik der Technischen Universität Berlin

### **1. Vorbemerkungen**

In einem früheren Aufsatz (Riedel 1990, S. 111-122) hatte ich ausgeführt, daß sich das Modell der Internoperationen zwar seit zweieinhalb Jahrzehnten in der praktischen Lehre bewährt hat, daß sich aber aufgrund der strengeren Anforderungen innerhalb der Forschung, insbesondere bei der Planung und Durchführung experimenteller Untersuchungen über den Schwierigkeitsgrad einzelner Operationen, die Notwendigkeit zu einer Revision des Modells ergab. Die Neufassung des Modells will ich hier darstellen.

Bild 1 zeigt das revidierte Modell der Internoperationen als Baum-Schema, an dessen Zweigspitzen die einzelnen Internoperationen angeordnet sind. Das Schema unterscheidet sich gegenüber einer früheren und vorläufigen Fassung (vgl. z.B. Riedel 1985, S.101)

- durch die rigorose Einhaltung der binären Verzweigung
- und durch die damit verbundene exaktere Unterscheidung der jeweils benachbarten Internoperationen.

Das Kriterium, nach dem sich der Baum in Bild 1 verzweigt, ergibt sich aus der Art und Weise, nach welcher die Informationen bei Ausführung der jeweiligen Operation verarbeitet werden.

### **2. Ein einführendes Beispiel zur Erläuterung des Modells**

Bevor ich im einzelnen auf die Unterscheidungsmerkmale der Internoperationen eingehe, will ich sie zunächst an einem Beispiel zu erläutern versuchen.

Ich beginne dabei mit der kompliziertesten und am wenigsten faßbaren Operation, dem *originalen Denken*. Daß Künstler beim Erschaffen neuer Kunstprodukte, Techniker bei der Erfindung revolutionierender Instrumentarien und Wissenschaftler beim Entwurf neuer Theorien oft original denken, ist wohl wahr. Aber nur ein geringer Teil der Kunstwerke, Erfindungen und Theorien geht tatsächlich auf originales Denken im Sinne des Bildes 1 zurück, so schöpferisch die Leistungen auch sein mögen. Als schöpferisch oder kreativ sind auch Leistungen zu bezeichnen, die durch andere

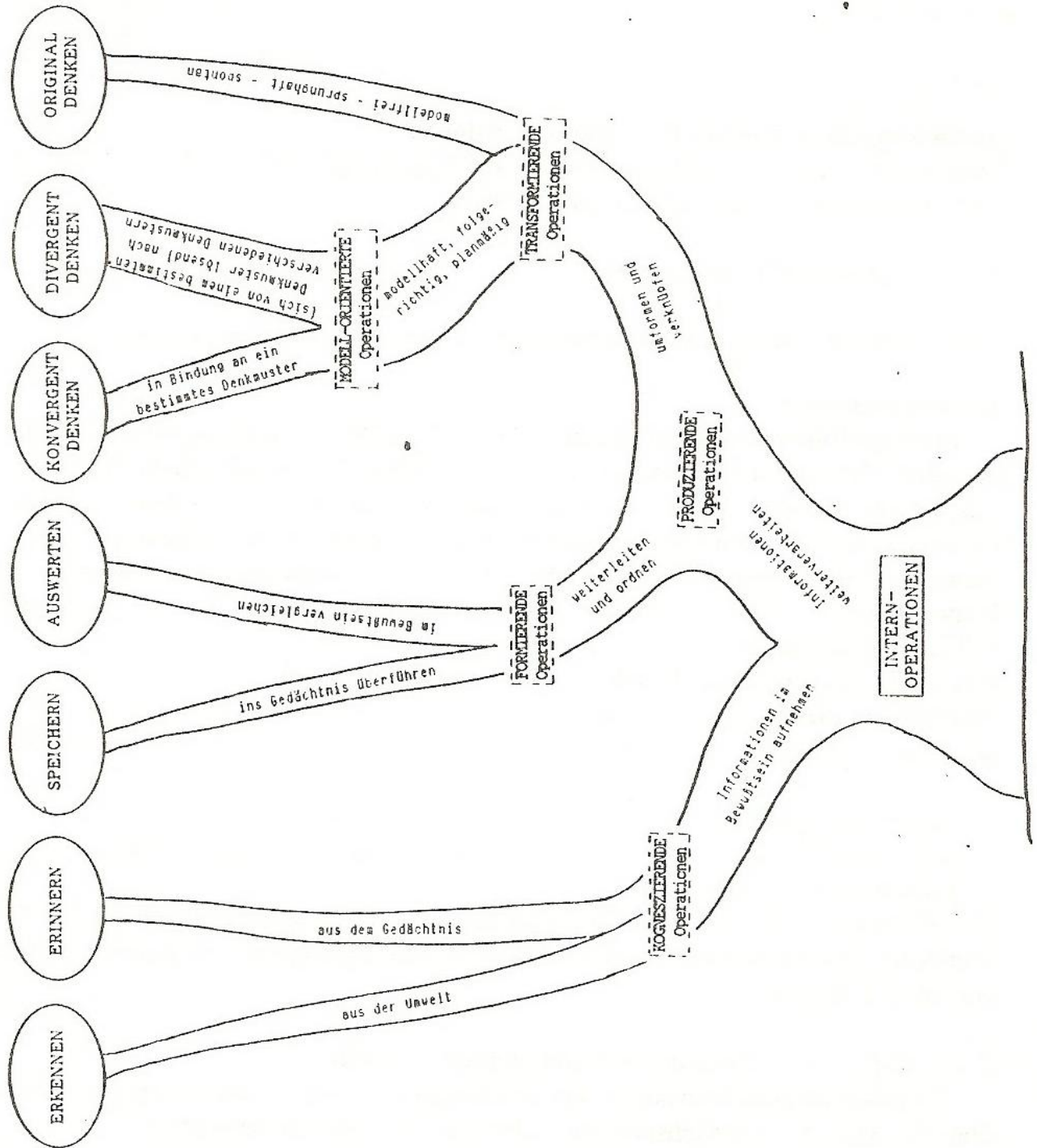


Bild 1: Erweitertes Modell zur Differenzierung von Internoperationen

produzierend-transformierende Operationen zustande kommen, also durch konvergentes oder divergentes Denken.

Welche Internoperation für ein bestimmtes Denkergebnis verantwortlich ist, kann nur beurteilt werden, wenn auch der Anfangszustand des Denkenden bekannt ist. Deshalb wähle ich ein Beispiel aus der Wissenschaft, bei dem der Anfangszustand sehr leicht darzustellen ist:

Der als Mathematiker später berühmt gewordene Carl Friedrich Gauß besuchte eine der damals üblichen, wenig-gegliederten Schulen. Schon im 2. Schuljahr fiel der aufgeweckte Schüler dadurch auf, daß er seine Rechenaufgaben stets viel früher als seine Klassenkameraden erledigt hatte und durch Zusatzaufgaben beschäftigt werden mußte. In einer solchen Situation erteilte der Lehrer dem Schüler Gauß die folgende Aufgabe, um ihn nun für die restliche Unterrichtszeit beschäftigt zu haben: "Zähle alle Zahlen von 1 bis 100 zusammen". Wie groß war das Erstaunen des Lehrers, als Gauß ihm schon nach wenigen Minuten das Ergebnis vorlegte: 5050. Der Lehrer war gezwungen, in mühseliger Rechenarbeit das Ergebnis auf seine Richtigkeit zu überprüfen.

Wie hatte Gauß das Ergebnis so schnell gewinnen können? Es war ihm viel zu umständlich und langweilig gewesen, die langwierigen Ketten von Additionen ( $1 + 2 + 3 + \dots$  bis 100) vorzunehmen. Er vereinfachte die Rechenaufgabe auf völlig neue, noch nie dagewesene Art (die heute in allgemeiner Form als Summenformel in der Sekundarstufe gelernt wird). Er sagte sich:

- $1 + 99$  ergibt 100, ebenso  $2 + 98$ ,  $3 + 97$ , usf.
- Das geht bis  $49 + 51$ , also 49 mal.  $49 \times 100 = 4900$ .
- Dann fehlt nur noch die 50 und die 100.-
- Ergibt 5050.

Man kann dem Beispiel entnehmen, daß originales Denken in der Schule nicht planmäßig und systematisch wie andere Internoperationen auch ausgebildet werden kann, denn originales Denken geschieht ja gerade nicht nach bisher bekannten Denkmustern, sondern spontan und sprunghaft. Allerdings wurde die Operation auch nicht, wie häufig in ähnlichen Fällen fälschlicherweise geglaubt wird, aus dem Nichts heraus vollzogen, sondern auf der Basis fundierter systematischer Kenntnisse, hier der additiven Relationen von Zahlenpaaren, die jeweils 100 ergeben.

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit vom "originalen Denken", das in Bild 1 an der äußeren rechten Zweigspitze, also als eine produzierend-transformierende Operation angesiedelt ist, zur gegenüberliegenden Operation auf der linken Seite des Baumes: *Erkennen*.

Möglicherweise war Ihnen die mathematische Erfindung von Gauß noch unbekannt. Dann hatten Sie Gelegenheit, anhand des letzten Absatzes die Grundidee des Verfahrens zu erkennen: Mit Hilfe der externen Operation "Lesen" entnahmen Sie einem Objekt der Außenwelt, nämlich den letzten Textseiten, eine für Sie neue Information. Diese Information gelangte von außen (wenn auch unter Zuhilfenahme von Gedächtnisinhalten) in Ihr Bewußtsein. Würde man das Objekt, an dem Sie operieren konnten (also das Operationsobjekt) so verändern, daß man die einzelnen notwendigen Rechenschritte grafisch und farbig gut gliedert, also die Ergänzungspaare, die Anzahl dieser Paare, die noch nicht erfaßten Zahlen und das Ergebnis, so könnten auch Schüler des 3. oder 4. Schuljahres ohne Schwierigkeit dieselben Informationen erkennen.

Auch bei der in Bild 1 benachbarten Operation, dem *Erinnern*, ist ein wesentliches Merkmal, daß eine Information ins Bewußtsein transportiert wird. Daher werden beide Operationen auch unter dem Namen "kogneszierende Operationen" zusammengefaßt. Allerdings unterscheiden sich Erkennen und Erinnern in einem wichtigen Punkt: Beim

Erkennen entstammt die bewußt werdende Information der Außenwelt. Beim Erinnern ist sie ein Teil des eigenen informationsspeichernden Apparates, nämlich des Gedächtnisses. Wenn Sie heute das Summierverfahren von Gauß erkannt haben und es übermorgen einem Freund mitteilen wollen, so müssen Sie alle dann wichtigen Informationen aus Ihrem Gedächtnis ins Bewußtsein heben. Diesen Vorgang bezeichnet die Operation "Erinnern".

Den zwei kogneszierenden Operationen stehen in Bild 1 fünf produzierende Operationen gegenüber. Bevor produzierende Operationen überhaupt ausgeführt werden können, muß mindestens eine kogneszierende Operation realisiert worden sein. Denn produzierende Operationen beinhalten, daß auf die eine oder andere Art bewußt gewordene Informationen weiterverarbeitet werden. Die schwierigste dieser Operationen, das "originale Denken", habe ich anfangs erläutert. Hier geschah die Informationsverarbeitung nicht vorhersehbar, sondern sprunghaft und spontan. Anders dagegen beim *konvergenten Denken*. Auch mit Hilfe dieser Operation kann man sich völlig neue Kenntnisse erarbeiten.

Nehmen Sie an, Sie würden nach Kenntnis des Gaußschen Summierverfahrens aufgefordert, schnell alle Zahlen von 1 bis 10000 zu addieren. Sie würden dann die einzelnen prinzipiellen Schritte auf den *neuen* Fall anwenden: Sie würden neue Ergänzungspaare bilden:  $1 + 9999$ ,  $2 + 9998$  usw. Sie würden feststellen, daß es 4999 solcher Paare gibt. Sie würden also planmäßig und folgerichtig nach dem schon bekannten Denkmuster von Gauß vorgehen und so schließlich das für Sie noch völlig neue Ergebnis 5.005.000 errechnen.

Konvergentes Denken auf einem anderen Niveau würde stattfinden, wenn Schüler, die weder das Verfahren noch die Grundidee von Gauß kennen, die Aufgabe erhielten, die Zahlen von 1 bis 100 zu addieren. Mit ihrem Anfangszustand würden sie das ihnen bekannte, aber natürlich umständlichere Verfahren des Addierens so oft folgerichtig und den gelernten Mustern entsprechend anwenden, bis sie als Ergebnis 5050 errechnet hätten.

Völlig anders ist die Situation, wenn Schülern mit gleichem Anfangszustand die Aufgabe erteilt würde, lediglich die Zahlen 1 bis 30 "zusammenzuzählen", ihnen aber zusätzlich aufgetragen wird, sich (möglichst viele) verschiedene Möglichkeiten auszudenken, wie die Aufgabe (evtl. schneller oder geschickter) gelöst werden könnte. Wenn ein Schüler dann z.B. auf die folgenden Ideen kommt, so vollbringt er bereits eine dem konvergenten Denken überlegene Leistung :

- Ich zähle die Zahlen nacheinander zusammen:  $1 + 2 = 3$ ;  $3 + 3 = 6$ ; ... usw. bis 30.
- Ich schreibe die Zahlen alle untereinander, dann zähle ich alle Einer zusammen, anschließend dann die Zehner. Schließlich zähle ich die beiden Ergebnisse zusammen.
- Ich schreibe die Zahlen alle untereinander und rechne "schriftlich".
- Ich mache drei "Unteraufgaben": Zahlen von 1 bis 10, Zahlen von 11 bis 20, Zahlen von 21 bis 30. Die Zahlen von 1 bis 10 ergeben 55. In den beiden letzten Unteraufgaben ist die erste Aufgabe enthalten. Dazu kommen noch 10mal die 10 und 10mal die 20, also  $200 + 100 + 55 + 55 + 55$ .
- Ich schreibe wie in d) die Teilmengen nebeneinander. Ich kann rechnen: 3mal kommt die 1 vor, 3mal die 2, 3mal die 3, so weiter bis 9. Dann kommen noch je 1mal die 10, die 20 und die 30. Ich rechne:  $3 \times 1 = 3$ ;  $3 \times 2 = 6$ ;  $3 \times 3 = 9$  usw. bis  $3 \times 9 = 27$ . Schließlich addiere ich alle Ergebnisse.

Dieser Schüler hat zwar keine so sensationelle Lösung gefunden wie Gauß, aber seine Leistung unterscheidet sich doch bereits vom konvergenten Denken durch ein sehr wichtiges, auch "kreatives" Merkmal: Der Schüler muß sich jedesmal von dem zuvor angewendeten Denkmuster lösen. Er betrachtet das Aufgabenmaterial nach jeweils

anderen und immer wieder neuen Gesichtspunkten und entwickelt so verschiedene Lösungsmuster. Diese Art des Denkens wird als "*divergentes Denken*" bezeichnet.

Das gewählte Beispiel genügt noch nicht, um alle wesentlichen Aspekte der drei transformierenden Operationen (konvergentes Denken, divergentes Denken, originales Denken) deutlich werden zu lassen. Es zeigt aber bereits wesentliche Unterschiede:

Konvergentes Denken und divergentes Denken haben gemeinsam, daß die Informationen folgerichtig und planmäßig sowie auf der Grundlage schon vorhandener Denkmuster verarbeitet werden. Sie werden deshalb als "modellorientierte Operationen" bezeichnet.

Beim divergenten Denken allerdings genügt nicht wie beim konvergenten Denken das Verarbeiten der Informationen nach nur einem Modell. Vielmehr erfordert es, daß sich der Denkende von einem oder mehreren schon verwendeten Denkmustern zu lösen vermag, um nochmals nach neuen Aspekten und Denkmöglichkeiten zu suchen.

Die dritte transformierende Operation, das originale Denken, dagegen verläuft nicht mehr allein modellhaft und folgerichtig, sondern sprunghaft, spontan und originell.

Die drei Operationen des konvergenten, divergenten und originalen Denkens haben gemeinsam, daß Informationen umgeformt und auf bestimmte Weise miteinander verknüpft werden, um neue Denkergebnisse zu erzeugen. Sie werden daher unter der Bezeichnung "transformierende Operationen" zusammengefaßt. Den transformierenden Operationen stehen in Bild 1 die "formierenden Operationen" gegenüber. Sie verlangen nicht, daß Informationen umgeformt und miteinander verknüpft werden, sondern lediglich, daß sie in bestimmter Weise weitergeleitet und geordnet werden.

Beim *Auswerten* geschieht dies so, daß zwei (oder ggf. mehrere) Informationen ins Bewußtsein genommen, dann aber miteinander verglichen werden. Durch dieses Vergleichen werden Unterschiede, Entsprechungen und Übereinstimmungen festgestellt. Im wesentlichen geschieht dies dadurch, daß die jeweiligen Informationsteile "nebeneinander" gestellt und auf Entsprechung überprüft werden.

Um bei dem gewählten Beispiel zu bleiben: Die folgende Aufgabe würde einem Schüler im wesentlichen das Auswerten abverlangen: Es geht wiederum um Summierung der Zahlen von 1 bis 30. Dazu werden aber die Rechenwege a, b und e des Beispiels zum divergenten Denken vorgegeben, zusätzlich noch eine Rechnung, die sich durch eine falsche Anwendung des Verfahrens ergibt. Der Schüler wird aufgefordert, die richtigen Lösungswege zu bestimmen und zu begründen, welchen er vorziehen würde. Hier muß er die einzelnen Lösungsschritte der verschiedenen Verfahren erkennen, dann aber einander gegenüberstellen und sie nach Gesichtspunkten wie Sicherheit, Schwierigkeit und Schnelligkeit vergleichen.

Der Zweck des Informationstransports besteht beim Auswerten also darin, daß ein Vergleich mehrerer Informationseinheiten im Bewußtsein erfolgt.

Ziel des *Speicherns* dagegen ist der Transport von Informationen durch die Zeit. Aufgrund der relativ kurzen "Gegenwartsdauer" der Informationen im Bewußtsein müssen Informationen, die über lange Zeit aufbewahrt werden sollen, in einen anderen Funktionskomplex, ins Gedächtnis überführt werden. Das weiß jeder spätestens von jenem Zeitpunkt an, zu dem er erstmals etwas "auswendig lernen" sollte: ein Gedicht, ein Lied, Vokabeln, einen Lehrsatz, grafische Zeichen. Obwohl es verschiedene Modellvorstellungen darüber gibt, wie das Abspeichern von Informationen erfolgt, wird trotz umfangreicher Literatur zum "Lernen" und "Üben" im Unterricht meist lediglich

ein einziger und daher beim Schüler unbeliebter Weg gewählt: das "Wiederholen" oder "Pauken". Wiederholen ist nichts anderes als mehrfaches Erkennen bzw. Erinnern ein und derselben Information (s. Bild 2).

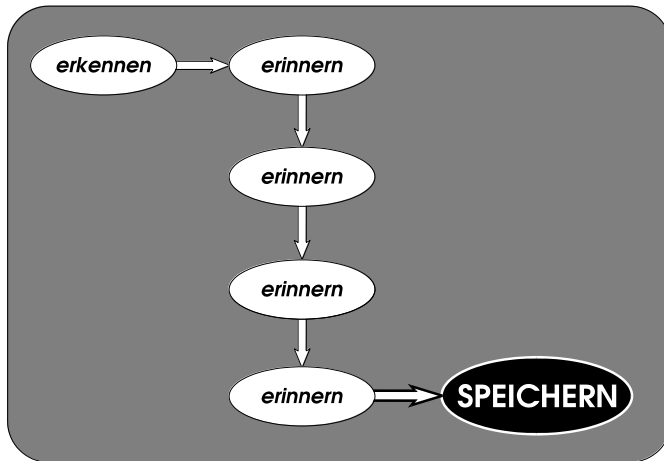


Bild 2: Speichern durch Wiederholen  
gespeichert wird.

Die allerdings beim Wiederholen auftretende Langeweile kommt dadurch zustande, daß die zu leistenden Operationen (Erkennen und Erinnern) lediglich kognezierender Art sind, den Lernenden geistig also am wenigsten beanspruchen und damit auch am wenigsten interessieren. In Kenntnis der verschiedenen Internoperationen läßt sich der gewünschte Zweck, den Zeitraum zu dehnen, innerhalb dessen die abzuspeichernden Informationen bewußt sind, jedoch auch auf eine andere, den Lernenden stärker beanspruchende und eher motivierende Weise erreichen: durch eine Serie von Situationen, die das auswertende, das konvergent denkende und das divergent denkende Anwenden der erkannten Informationen verlangen.

Bleiben wir bei unserem Beispiel und gehen davon aus, daß ein Schüler das Verfahren von Gauß z.B. am Fall  $n = 100$  erlernt hat.

- Der scheinbar nächstliegende Weg besteht darin, den Schüler das erlernte Verfahren konvergent denkend anwenden zu lassen. Er soll Zahlen von 1 bis 1000 oder von 1 bis 10, später auch von 1 bis 24 nach dem erlernten Verfahren zusammenrechnen.
- Gerade für Schüler, denen die Anwendung des Verfahrens noch gewisse Schwierigkeiten bereitet, wären zunächst andere, leichtere Aufgaben angemessen, die nur das auswertende Anwenden des Verfahrens verlangen: Dem Schüler werden fertige Rechnungen vorgelegt, die das Verfahren von Gauß teilweise richtig,

Daß auch dieses trübsinnige Verfahren zum Erfolg führt, hat folgende Ursachen:

- Nur etwa 3 Prozent von dem, was uns bewußt ist, können wir für einen längeren Zeitraum als einem Tag abspeichern.
- Durch die Wiederholung aber wird der Zeitraum vervielfacht, innerhalb dessen die Information bewußt ist. Dementsprechend wächst auch die Wahrscheinlichkeit, daß das Erkannte im Gedächtnis aufgenommen, also

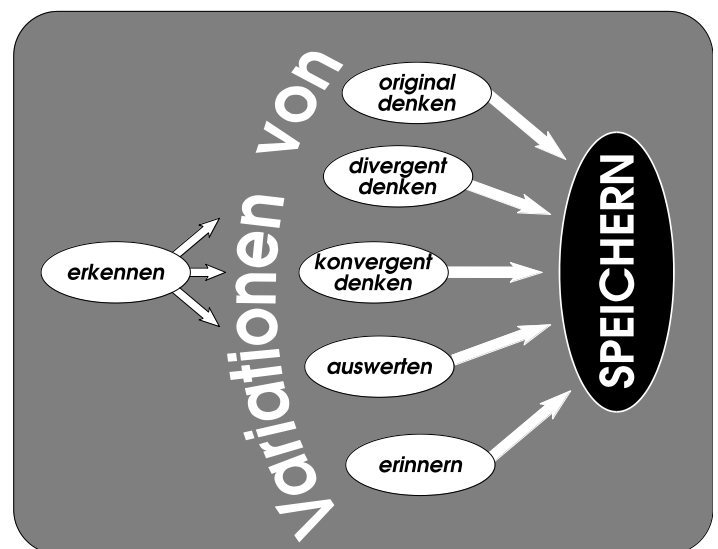


Bild 3: Der Beitrag verschiedener Operationen zum Speicherungs-Prozeß

teilweise fehlerhaft anwenden. Dabei sollten nicht die arithmetischen Operationen, sondern lediglich die einzelnen Verfahrensschritte falsch oder mangelhaft sein, denn nicht das Rechnen an sich soll produzierend angewendet werden, sondern der neue Rechenweg.

- Eine weitere Möglichkeit stellt das divergent denkende Anwenden dar. Es ist aber weitaus schwieriger und wird nicht in allen Fällen von jedem Schüler zu leisten sein. Nehmen wir an, er hat das Verfahren am Fall 1 bis 100 kennengelernt. Er soll sich nun neue Aufgabensituationen ausdenken, in denen dieses Verfahren nutzbringend angewendet werden kann. (Möglicher Anreiz: anderen Schülern neue Aufgaben zu stellen). Manche Schüler werden dabei lediglich im Bereich des konvergenten Denkens verbleiben (Zahlen 1 bis 1000, Zahlen 1 bis 10000 usw.), jedoch ließe sich das Verfahren ja auch auf andere (weniger naheliegende Fälle) anwenden: beliebige gerade Zahlenwerte für  $n$ , ungerade Zahlenwerte für  $n$ , Zahlenreihen, die nicht bei 1 beginnen, aus der gegebenen Summe auf die höchste Zahl  $n$  zurückrechnen ....

Bild 3 zeigt den grundsätzlichen Gedanken: Eine Folge und Variation von Aufgaben dieser drei Typen (bei Schülern mit geringem Anfangszustand zunächst in der Reihenfolge vom Erkennen zum Auswerten, zum konvergenten Denken, schließlich zum divergenten Denken) wird mit Sicherheit zur gewünschten Speicherung führen, vermeidet aber die beklagte Eintönigkeit und Langeweile. Das schließt gelegentliche Phasen des Erinnerns nicht aus. (Der mögliche Einfluß originalen Denkens ist in Bild 3 nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.)

Als weiterer Vorzug dieser Vorgehensweise gegenüber dem Wiederholen im Sinne des Bildes 2 läßt sich voraussagen, daß die Schüler weitaus sicherer und "flexibler" im Umgang mit dem Erlernten sein werden.

### **3. Die Unterscheidungsmerkmale der Internoperationen**

Ich habe versucht, an nur einem Beispiel die wesentlichen Merkmale der verschiedenen Internoperationen zu veranschaulichen. Dabei habe ich in Kauf genommen, daß einige der Beispiel-Variationen etwas künstlich erscheinen mögen. Ich will deshalb in einem zweiten Schritt zunächst die jeweils kennzeichnenden Merkmale der einzelnen Internoperationen zusammenfassen und einige andere Beispiele zu ihrer Erläuterung und Klärung anfügen, die zum größten Teil den Publikationen König/Riedel 1975 und Riedel 1979 entstammen.

- 3.1 Internoperationen sind (Denk-)Handlungen, durch die vorwiegend Informationen umgesetzt werden (im Gegensatz zu Externoperationen, bei denen vorwiegend Energie umgesetzt wird).
- 3.2 Auf einer ersten Ebene werden Internoperationen in kogneszierende und produzierende Operationen unterschieden.
  - 3.2.1 Durch kogneszierende Operationen werden Informationen lediglich im Bewußtsein aufgenommen. Sie sind Voraussetzung für alle anderen Operationen.
  - 3.2.2 Produzierende Operationen zeichnen sich hingegen dadurch aus, daß Informationen weiterverarbeitet werden.
- 3.3 Je nach der Quelle, von der her die ins Bewußtsein gelangenden Informationen stammen, werden zwei kogneszierende Operationen unterschieden:

3.3.1 Beim Erkennen entstammen die Informationen der Umwelt. Die Signale der Außenwelt werden durch die Rezeptoren verschlüsselt und im Bewußtsein aufgenommen.

Beispiele:

- Der Inhalt eines Lesetextes wird "verstanden".
- Die Abhängigkeit des Ohm'schen Widerstandes von der Länge des Leiters wird festgestellt.
- Im Musikunterricht wird der Aufbau von Terz und Quart erkannt.

3.3.2 Beim Erinnern entstammen die bewußt werdenden Informationen dem Gedächtnis.

Beispiele:

- Bei der Wahrnehmung eines Verkehrszeichens wird die damit als feste Zuordnung gelernte Bedeutung des Zeichens bewußt.
- Bei der Rechenarbeit erinnert sich der Schüler eines schon früher verwendeten Lösungsweges.
- Nach einer gestrigen Betriebsbesichtigung tragen Schüler in einem Unterrichtsgespräch einzelne Aussagen von interviewten Arbeitern und Angestellten zusammen.

3.4 Auf einer zweiten Ebene werden die produzierenden Operationen je nach Art der Informationsverarbeitung unterschieden:

3.4.1 Durch die transformierenden Operationen werden die bewußt gewordenen Informationen umgeformt und miteinander verknüpft, so daß neue Informationen erzeugt werden.

3.4.2 Durch die formierenden Operationen erfahren die bewußt gewordenen Informationen keine so wesentlichen Veränderungen wie durch die transformierenden Operationen. Sie werden geordnet und weitergeleitet.

3.5 Je nach Zweck und Ergebnis des Transports werden die formierenden Operationen zweifach unterschieden:

3.5.1 Zweck des *Speicherns* ist es, die bewußt gewordenen Informationen ins Gedächtnis zu transportieren und dort für längere Zeiträume aufzubewahren. Dabei werden sie schon gespeicherten Informationskomplexen zugeordnet, ohne daß dies in jedem Fall bewußt werden muß.

Beispiele:

- Ein Gedicht wird auswendig gelernt.
- Ein "gefahrloser" Schulweg wird ins Gedächtnis aufgenommen.
- Ein Verfahren zur Berechnung von Integralen wird gespeichert.

3.5.2 Beim *Auswerten* werden die Informationen im Bewußtsein "hin-und-hergeschoben", damit sie verglichen, also auf gegenseitige Entsprechungen bzw. Unterschiede hin untersucht werden können. Das Ordnen geschieht hierbei immer bewußt.

Beispiele:

- Schüler bewerten Zeitereignisse unter Heranziehung von Aussagen des Grundgesetzes zur Gleichberechtigung.
- Die Eigenschaften verschiedener Synthetikfasern werden verglichen.
- Lernende finden durch Vergleich verschiedener Geschichtsquellen zur "Kristallnacht" Gemeinsamkeiten der Geschehnisse.

3.6 Die transformierenden Operationen werden danach unterschieden, ob die Umformung der Informationen nach bestimmten Mustern oder Modellen erfolgt oder nicht:



3.6.1 Durch *originales* Denken werden die bewußt gewordenen Informationen spontan, sprunghaft und originell zu neuen Ergebnissen verarbeitet, ohne daß auf der Grundlage schon bekannter Muster gedacht wird. (Gauß hatte kein Modell zur Verfügung, von dem her er den neuen Lösungsweg ableiten konnte).

3.6.2 Dagegen werden die bewußt gewordenen Informationen durch die modellorientierten Operationen nach bekannten Mustern oder Modellen folgerichtig und planmäßig zu neuen Ergebnissen weiterverarbeitet.

3.7 Die modellorientierten Operationen werden ihrerseits zusätzlich nach dem Grad der Fixierung an ein bestimmtes Muster unterschieden:

3.7.1 Beim *konvergenten* Denken erfolgt die Verarbeitung der bewußten Informationen nach einem einzigen Denkmuster, das gewöhnlich zur Lösung dieser oder ähnlicher Problemsituationen angewendet wird.

Beispiele:

- Im bildnerischen Gestalten soll ein Wald mit verschiedenen Grüntönen unter Verwendung der Farben gelb und blau gemalt werden.
- Schüler sollen die "Schärfungsregel" auf neue Wörter mit einem S-Laut im Wortinneren anwenden.
- Am Beispiel der Werte 3, 7, 12, 18, ... wurde das Prinzip einer geometrischen Reihe erkannt. Die Schüler sollen eine andere Reihe auf der Grundlage des Multiplizierens aufstellen.

3.7.2 *Divergentes* Denken dagegen verlangt mehr. Hat der Denkende die bewußt gewordenen Informationen zunächst nach einem ersten Muster verarbeitet, so muß er wieder an den Ausgangspunkt zurückkehren, nach neuen Merkmalen der Problemsituation suchen, sich von dem alten Denkmuster lösen, um nach jeweils neuen Denkmustern zu einem Ergebnis zu kommen versuchen.

Beispiele:

- Der Lernende soll zu einem vorgegebenen musikalischen Thema möglichst verschiedene Variationen finden.
- Im Werkunterricht sollen die unterschiedlichsten Anwendungsmöglichkeiten für den Werkstoff Glas erdacht werden.
- Eine Geschichte wird vorgelesen, kurz vor dem Ende aber abgebrochen. Jeder Schüler soll mindestens drei unterschiedliche Fortsetzungen schreiben.

Zur Unterscheidung des divergenten und des konvergenten Denkens will ich ein weiteres Beispiel geben:

- Nehmen wir an, Schüler haben im vorangegangenen Unterricht gelernt, daß der Urvogel (Archäopteryx) bereits eine perfekte Befiederung ausgebildet hatte und durchaus bereits flugfähig gewesen sein muß. Sie schließen daraus, daß der (hypothetische) Vorvogel (Proavis) auch schon Federn in irgendeiner Form gehabt haben muß, ohne allerdings über eine Flugfähigkeit zu verfügen. Es erhebt sich nun die Frage nach der ursprünglichen Funktion von Federn oder federähnlichen Strukturen.
- Stellt ein Schüler lediglich die Hypothese auf, daß die Vorläufer bereits warmblütig waren und als Kälteschutz ein Federkleid besaßen, so kann man davon ausgehen, daß diese Leistung durch (lediglich) konvergentes Denken zustande gekommen ist.
- Entwickelt ein anderer Schüler aber bereits die unterschiedlichen Ideen, daß der Vorvogel wechselwarm war und die Federn als Hitzeschild gegen zu starke Sonneneinstrahlung benutzte, oder daß die befiederten Vorderarme zum Imponieren und Kämpfen verwendet wurden oder zum Insektenfang, oder daß die Flügel als eine Art Baldachin verwendet wurden, um Wasserreflexe bei der Nahrungssuche am Strand abzuschirmen

oder daß sie eine wasserabstoßende Wirkung hatten, so ist die notwendige Informationsverarbeitung durchaus dem divergenten Denken zuzuordnen.

Oft begegnet man dem Argument, daß divergentes Denken im Unterricht nur sehr schwierig anzuregen ist. Das Beispiel zeigt hingegen, daß jeder problemgesteuerte Unterricht mit der Phase der (selbständigen) Hypothesenbildung sehr einfache Möglichkeiten zur Initiation des divergenten Denkens bietet, sofern die Phase nicht - wie meist üblich - im gesamten Klassenverband, sondern in Einzelarbeit oder in kleinen Gruppen realisiert wird. (Zur Stellung des problemgesteuerten Unterrichts s. H. Riedel, 1990, S. 111.

#### **4. Beispiele zu den produzierenden Operationen**

Die bisherigen Beispiele zur Verdeutlichung der Internoperationen entstammen unterschiedlichen Sachbereichen. Um es dem Leser zu erleichtern, die unterschiedlichen Merkmale der für Unterrichtsprozesse besonders wichtigen produzierenden Operationen genauer zu erfassen, füge ich nun Beispiele an, in denen Anwendungen auf der auswertenden, konvergent denkenden und divergent denkenden Stufe am jeweils gleichen Unterrichtsobjekt konkretisiert werden. Gleichzeitig hoffe ich mit der Vielfalt der Beispiele und der Unterschiedlichkeit der Lernbereiche dem immer wieder geäußerten Vorurteil begegnen zu können, daß sich einige Operationen nur in bestimmten Sachgebieten oder Lernbereichen verwirklichen lassen, in anderen dagegen nicht.

- 4.1 Aus dem muttersprachlichen Unterricht: Die Schüler haben im vorangegangenen Unterricht einige kennzeichnende Merkmale der Gattung "Märchen" erkannt (dreifache Wiederholung von Situationen, Begegnung von Irdischen mit Über- und Unterirdischen, Verwendung gewisser sprachlicher Formeln wie "Es war einmal"). -
- *Auswertendes* Anwenden: Den Schülern werden kurze Texte und Textausschnitte vorgelegt, die aus Märchen, Sagen und anderen phantastischen Geschichten stammen. Die Schüler sollen jene Textausschnitte herausfinden, die aus Märchen entnommen sind.
  - *Konvergent* denkendes Anwenden: Die Schüler sollen ein Märchen erdenken, indem sie einige oder auch alle erlernten Klassenmerkmale konkretisieren.
  - *Divergent* denkendes Anwenden: Die Schüler sollen unter Verwendung der erkannten Klassenmerkmale vier sich im Inhalt möglichst stark unterscheidende Märchen ausdenken. Das Kriterium des Divergenten ist erfüllt, wenn etwa die Dreimaligkeit der Ereignisse durch Variation der Handlungsebene und sehr andersartige Menschen, Tiere, Über- und Unterirdische konkretisiert wird.
- 4.2 Aus dem bildnerischen Gestalten: Die Lernenden haben zuvor mehrere Verfahren zur Darstellung räumlicher Tiefe bei Bildern erkannt ( - je entfernter, desto weniger farbig, desto grauer, - je entfernter, desto weniger Kontrast, - je näher, desto hellere und dunklere Farben, - je näher, desto präzisere Ausführung, je entfernter, desto weichere undeutlichere Formen - je entfernter, desto "kältere" Farben).
- *Auswertendes* Anwenden: Den Schülern werden verschiedene Bilder vorgelegt, in denen die einzelnen Verfahren nicht, teilweise oder vollständig realisiert wurden. Die Schüler sollen unter den erlernten Gesichtspunkten die besseren und schlechteren Bilder herausfinden und ihre Entscheidung begründen.
  - *Konvergent* denkendes Anwenden: Die Schüler erhalten den Auftrag, zu dem Thema "Dorf inmitten blühender Rapsfelder" Verwendung der gelernten Verfahren ein Bild mit Wasserfarben zu gestalten.
  - *Divergent* denkendes Anwenden: Die Lernenden sollen möglichst viele Situationen und thematische Anwendungsmöglichkeiten ausdenken und ausführen, in denen die gelernten Verfahren zur Darstellung räumlicher Tiefe sinnvoll eingesetzt werden können. Erst anschließend sollen Bilder realisiert werden.

- 4.3 Aus dem Technik-Unterricht: Die Schüler haben folgenden Versuch durchgeführt: Eine Eisenkugel, die bei Raumtemperatur durch einen vorgegebenen Ring paßt, wird erhitzt, läßt sich nun nicht mehr durch den Ring zwängen, paßt aber nach Abkühlung wieder durch den Ring.
- *Auswertendes* Anwenden: Den Schülern werden vier Materialgruppen vorgelegt: Die Werkstücke sind 1. voneinander isoliert und 2. bereits an- und ineinandergefügt. Die Schüler sollen jeweils entscheiden, welches der Werkstücke erhitzt und/oder abgekühlt werden mußte, damit die Werkstücke zusammengefügt werden konnten.
  - *Konvergent* denkendes Anwenden: Den Schülern werden folgende Materialien vorgegeben: eine Stahlachse, ein darauf leicht drehbares Rad, zwei Kupferrohrstücke, deren Innendurchmesser so beschaffen ist, daß sich die Kupferstücke gerade nicht mehr auf die Stahlachse pressen läßt. Die Schüler sollen das Rad so befestigen, daß es sich einerseits leicht auf der Achse dreht, andererseits nicht von der Achse abrutschen kann (Rad auf die Achse schieben, Kupferrohabschnitte durch Erwärmen dehnen, auf die Achse schieben, durch Abkühlen "aufschumpfen" lassen).
  - *Divergent* denkendes Anwenden: Die Schüler sollen möglichst viele unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten der an dem Versuch mit der Eisenkugel erkannten Gesetzmäßigkeit erdenken. (Wie beim vorher gezeigten "Aufschumpfen" das abgelaufene Rad eines Puppenwagens montieren, als "Zaubertrick" durch Abkühlen einen Kupferstift, der zunächst nicht in eine Eisenhülse paßt, unverrückbar fest in die Hülse hineinbringen, durch langzeitigen Druck aufeinander gepreßte, nicht mehr trennbare Bauteile unterschiedlichen Materials durch Abkühlen und/oder Erwärmen voneinander trennen, ...).
- 4.4 Aus dem Musikunterricht: Die Schüler haben erkannt, daß ein Dur-Akkord aus unten-liegender großer und darüber-liegender kleiner Terz, daß dagegen ein Moll-Akkord aus unten-liegender kleiner und darüber-liegender großer Terz gebildet wird.
- *Auswertendes* Anwenden: Den Schülern werden Notationen einfacher Melodien in Dur und Moll vorgelegt. Die Schüler sollen die Tonqualität bestimmen und ihre Entscheidung begründen.
  - *Konvergent* denkendes Anwenden: Den Schülern wird eine einfache Melodie in Dur vorgegeben. Sie sollen sie in Moll umsetzen.
  - *Divergent* denkendes Anwenden: Die Schüler sollen aus nur fünf festgelegten Tönen und zwei frei wählbaren Tönen möglichst unterschiedliche Melodien der Dur- und Moll-Qualität konstruieren.
- 4.5 Aus dem Mathematikunterricht: Die Schüler haben den Satz des Pythagoras gelernt.
- *Auswertendes* Anwenden: Den Schülern werden Dreiecke und Vierecke, die in rechtwinklige Dreiecke zerlegbar sind oder nicht, vorgegeben. Dazu werden fertige Berechnungen einzelner Seiten geliefert. Die Schüler sollen entscheiden, welche Rechnungen vom Verfahren her richtig sind, welche nicht.
  - *Konvergent* denkendes Anwenden: Den Schülern werden rechtwinklige Dreiecke und Vierecke vorgelegt, die in rechtwinklige Dreiecke zerlegbar sind, wobei jeweils eine Kathete oder die Hypotenuse zu berechnen sind.
  - *Divergent* denkendes Anwenden : Die Schüler sollen möglichst unterschiedliche Anwendungsfälle für den Satz des Pythagoras ausdenken: Berechnung gleichseitiger und gleichschenkliger Dreiecke, Berechnung von nicht bekannten Seiten in Vierecken oder Vielecken, die in rechtwinklige Dreiecke zerlegbar sind, Berechnung nicht bekannter Seiten in Körpern, die in rechtwinklige Dreiecke zerlegbar sind, Erzeugung rechter Winkel für Spielflächen.

Ich hoffe, mit den fünf ausgewählten Beispielen andeuten zu können, daß sich die wichtigen produzierenden Operationen in sehr unterschiedlichen Lernbereichen realisieren lassen. In einer vorangegangenen Publikation (Riedel 1990) habe ich bereits darauf hingewiesen, daß sich durch geschickte Reihung und Variation der Anwendungsphasen im Sinne der drei zuletzt dargestellten Operationen auf didaktisch elegante und wirkungsvolle Weise eine sichere Speicherung von Unterrichtsobjekten erzielen läßt. Die Beispiele zeigen darüber hinaus, daß das Modell der Internoperationen eine ausgezeichnete Basis für differenzierenden Unterricht darstellt. So wird man sich bei manchem Schüler mit Aufgaben zum auswertenden Anwenden begnügen müssen. Anderen wird man Aufgaben zum konvergent denkenden Anwenden zumuten können, den fähigsten Schülern auch solche zum divergent denkenden Anwenden. Alle Schüler aber werden nach der Erkennensphase wenigstens in eine

Anwendungsphase geführt, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau beansprucht. Das aber ist eine notwendige Voraussetzung dafür, daß die erlernten Informationen und Techniken tatsächlich für späteres Denken und Handeln verfügbar werden.

### Schrifttum

KÖNIG, E. u. RIEDEL, H: Unterrichtsplanung I. Konstruktionsgrundlagen und -kriterien, Beltz, Weinheim und Basel, 1975

RIEDEL, H.: Zum Standort der Systemtheoretischen Didaktik. In: Riedel, H. (Hrsg.): Standort und Anwendung der Systemtheoretischen Didaktik. Kösel, München, 1979

RIEDEL, H.: Vorüberlegungen zur Revision des Modells der Internoperationen. grkg 1990, S. 111 - 122

RIEDEL, H.: Vorbereitung eines Experiments zur Schwierigkeitsstufung von Internoperationen. grkg Bd. 26, Heft 3 (1985), S. 99-110