BERICHT
aus dem
PSYCHOLOGISCHEN INSTITUT
DER UNIVERSITÄT HEIDELBERG

Diskussionspapier Nr. 24/ III.
Juli 1982

# DIE ENTWICKLUNG DES ZAHLBEGRIFFS +

## Teil III : Trainingsstudien zum Erwerb konkreter Operationen. (unter besonderer Berücksichtigung von Modellen der Invarianzaufgabe )

Friedrich V o i g t

+ Aus dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsprojekt "Entwicklungslinien des Zahlbegriffs im Vorschulalter "
Antragsteller Prof. Franz E. WEINERT

6900 HEIDELBERG 1, HAUPTSTR. 47-51, TEL. 06221/547346

TRAININGSSTUDIEN ZUM ERWERB KONKRETER OPERATIONEN
(unter besonderer Berücksichtigung von Modellen der Invarianzaufgabe)

---


| | | |
|---|---|---|
| | Einleitung | S. 1 |
| 1. | Die Simulation natürlicher Entwicklungsmechanismen | S. 4 |
| 2. | Entwicklung und Lernen - eine offene Kontroverse | S. 11 |
| 3. | Die Vielfalt der Trainingsstrategien und ihre Beziehung zu Modellen der Invarianzaufgabe | |
| 3.1. | Zur Vielfalt der wirksamen Trainingsstrategien | S. 18 |
| 3.2. | Übersicht und Klassifikation wichtiger Modelle des Invarianzerwerbs | S. 21 |
| 3.3. | Transformationsmodelle | |
| 3.3.1. | Studien zur Löschung von Invarianzaufgaben und die Unterscheidung von logischen und empirischen Aspekten der Invarianzaufgabe | S. 41 |
| 3.3.2. | Transformationsmodelle der Invarianz: Robert Siegler | S. 46 |
| 3.3.3. | Transformationsmodelle der Invarianz: vergleichende Übersicht | S. 50 |
| 3.4. | Kompensation, Identität und Reversibilität : Logische Handlungsschemata als Grundlage des Invarianzerwerbs | S. 54 |
| 3.5. | Kritische Bewertung der Modelle (erläutert an der Arbeit Pinards) | S. 61 |

| | | |
|---|---|---|
| 4. | Zur Untersuchung notwendiger und hinreichender Bedingungen der Invarianz | |
| 4.1. | Die begriffliche Konstruktion von Entwicklungssequenzen und die Analyse hinreichender und notwendiger Bedingungen kognitiver Kompetenzen | S. 77 |
| 4.2. | Voraussetzungen und Vorläufer der Invarianzaufgabe | |
| 4.2.1. | Kompensation - mögliche Vorbedingung des Invarianzurteils? | S. 100 |
| 4.2.2. | Inversion - eine weitere logische Vorbedingung der Invarianz? | S. 104 |
| 4.2.3. | Identität - logische Vorläufer der Invarianz? | S. 108 |
| 4.3. | Zusammenfassung | S. 110 |
| 5. | Wege zu einer Neuorientierung von Trainingsstudien | |
| 5.1. | Zur Abstimmung zwischen Modellbildung und Trainingsmethodik | S. 112 |
| 5.2. | Zur Bedeutung von Einzelfallstudien in der Trainingsmethodik | S. 120 |
| 6. | Schlußbemerkung | S. 127 |
| | Anhang: Formen der Invarianz (Pinard) | |
| | Literatur | |

Vorbemerkung:

Für Anregungen und die kontinuierliche Unterstützung dieser Arbeit bedanke ich mich bei Prof. F.E. Weinert.

Die mühsame Arbeit des Tippens wurde von Roswitha Stütz ausgeführt.

F. V.

Wer will was Lebendiges erkennen und beschreiben,
der sucht den Geist herauszutreiben,
dann hat er die Teile in seiner Hand,
fehlt leider nur das geistige Band.

(J.W.Goethe, Faust, Erster Teil)

## Einleitung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, wichtigen theoretischen Fragen nachzugehen, die der Konzeption des Trainingsexperiments nach Piaget zugrunde liegen. Übersichten über die relative Wirksamkeit von Trainingsmethoden wurden schon an verschiedenen Stellen vorgelegt, so daß diese Frage im folgenden untergeordnete Bedeutung hat. Es gilt tiefergreifende Probleme aufzugreifen, die sich z.T. durch die aktuelle Entwicklung der Forschung stellen.

Das historische Studium von Trends und 'Moden' in der Psychologie könnte wohl eine eigene Teilwissenschaft ausfüllen, und wir wissen noch wenig über die Faktoren, die zu qualitativen Veränderungen in umfassenden Forschungsprogrammen führen. Noch ahnen wir, welche Übergangsmechanismen diese Sprünge vollziehen lassen. Betrachtet man die aktuelle Bedeutung der Trainingsstudie nach Piaget, so könnte man sich veranlaßt fühlen, einen "Nachruf" zu schreiben: ein fast zwanzig Jahre lebendiges Forschungsprogramm - das in seinen Höhepunkten so florierte, daß manche Zeitschriftenherausgeber klagten, sie könnten ihre ganze Zeitschrift mit Trainingsstudien ausfüllen (Wohlwill, 1973). - fällt nun dem Vergessen anheim. Die Gründe für diese Entwicklung - wie die Ursachen 'zyklischer Entwicklungen' in der Psychologie überhaupt - wird vielleicht einmal die historische Rückbesinnung deutlicher machen. Aber die Vermutung, dieses Forschungsprogramm sei aus der Mode gekommen, hat weit mehr Gehalt als die Annahme, die Forschungsarbeiten hätten zu so bemerkenswerten Ergebnissen geführt, daß die aufgeworfenen Fragen nun nicht mehr so ergiebig erforscht werden könnten.

Die folgende Darstellung folgt einer Grundidee, die in verschiedenen Problemstellungen und Zusammenhängen verdeutlicht werden soll: die Idee, daß wir eine Fragestellung nicht deshalb vernachlässigen dürfen, weil die Beschränkungen unserer Methodik uns zu schwer deutbaren Ergebnissen führen. Statt dessen stellt sich die umgekehrte Aufgabe, die Methodik wieder besser dem Erkenntnisgegenstand anzunähern.

Den Gegenstand nach der Methode zu formen: dieser Versuchung hat sich die Psychologie im Laufe dieses Jahrhunderts oft ausgesetzt und ist ihr kaum seltener erlegen. Die Betrachtung des Gegenstands und methodischer Zugangswege stellt die Frage nach dem erkenntnistheoretischen Hintergrund des methodischen Vorgehens in der Psychologie und speziell in der Piaget-Forschung.

Dieses Problem stellt sich im letzteren Fall mit besonderer Prägnanz, weil Piaget erkenntnistheoretischen Fragen in seiner Arbeit den höchsten Stellenwert eingeräumt hat. Die Tendenz, der amerikanischen Forschung auf Piaget "einzuschlagen" (vgl. Karmiloff-Smith, 1981) oder zu "verwässern", also mit methodischen Verfeinerungen die Gültigkeit seiner Hypothesen zu widerlegen, scheint eine Hochkonjunktur der Piaget-Forschung entzündet zu haben, ohne daß sich zugleich die Bedeutung wichtiger erkenntnistheoretischer Fragen in der amerikanischen Psychologie durchgesetzt hätte (vgl. z.B. das Werk von Rita Vuyk, 1981). Methodischer Rigorismus präzisiert ein Forschungsgebiet und kann so Erkenntnisfortschritte einleiten (man könnte diese Arbeitsweise mit der diskursiven Phase in Piagets neuester Deutung von Entwicklungsprozessen vergleichen, Piaget, 1980), aber er verführt auch zu einer reduktionistischen Betrachtungsweise des untersuchten Gegenstandes: als ob der Gegenstand der Untersuchung in der Methode vollständig abgebildet wäre (diese Fehlentwicklung wird besonders anschaulich bei Brainerd, 1977, 1978, 1979 beobachtbar). Dagegen führen Einsichten in qualitative Eigenheiten und Veränderungen des Gegenstandes (der kognitiven Entwicklung) notwendig über die Begrenzungen einer speziellen Methodik hinaus (vgl. Piagets 'dialektische' Phase der kognitiven Entwicklung). Die Probleme, die sich in der historischen Veränderung der Bedeutung der Trainingsstudien andeuten, weisen auf Beschränkungen der Methodik hin, die dieser Trainingskonzeption zugrundeliegt, und weisen so den Weg aus den Grenzen der Methodologie, um die Fragen der kognitiven Entwicklung mit größerer Schärfe und Präzision zu stellen.

Begrenzungen der Trainingsstudie sollen in verschiedener Hinsicht betrachtet werden. Aufbauend auf dem Verständnis der Studie als Simulation natürlicher Entwicklungsmechanismen wird untersucht, inwieweit Trainingsstudien angenommene Entwicklungsmechanismen nachahmen können und inwieweit die Frage der Beziehung zwischen Entwicklung und Lernen in den Trainings beantwortet werden konnte. Die Vielfalt der Trainingsmethoden führt auf die Frage, welche grundlegenden Entwicklungsmechanismen der Vielzahl wirksamer Trainingsstrategien zugrundeliegen. Dieser Frage soll anhand der wichtigsten Modelle der Zahlinvarianzaufgabe nachgegangen werden, in denen versucht wird, entweder die qualitativen Veränderungen in der Invarianzaufgabe zu rekonstruieren oder die Übergangsmechanismen der operativen Entwicklung zu formulieren. Aus der Gegenüberstellung dieser Modelle, für die eine grobe Klassifizierung gegeben wird, mit den üblichen Trainingsmethoden wird versucht, die Grenze der Trainingsstudie aufzuzeigen. Abschliessend werden deshalb Gedanken zu einer Neuorientierung von Trainingsstudien 'a la Piaget' erörtert.

## 1. Die Simulation natürlicher Entwicklungsmechanismen

Die Entwicklungspsychologie hat sich nur wenig mit dem Problem beschäftigt, daß viele kognitiven Veränderungen in der Entwicklung sich ohne systematische Instruktion einstellen. Die kognitiven Veränderungen werden vom Kind selbst generiert: ohne daß es systematische Unterweisung erhielte, baut das Kind in Auseinandersetzung mit Informationen und Rückmeldungen aus seinen eigenen Einwirkungen auf die Umwelt komplexe kognitive Begriffe und Modelle auf. Sowohl Piagets genetische Epistemologie als auch die Ethologie (Charlesworth, 1979) haben den Anpassungswert und die Anpassungsfunktion intelligenten Verhaltens betont, aber die empirische Forschung in der Entwicklungspsychologie hat sich den komplexen Forderungen, die dieser Perspektive unterliegen, nur allmählich angenähert.

Was tun eigentlich Kinder, wenn man sie für sich läßt? "Wie verhalten sich Kinder in nicht strukturierten intellektuellen Umwelten? Welches sind die strukturellen und funktionellen Charakteristika der Aktivitäten, in denen sie sich selbst beschäftigen, und was ist die Natur der kognitiven Veränderungen, die im Laufe dieser selbstbestimmten Tätigkeiten eintreten? In welcher Weise führt diese Aktivität zu intellektueller Entwicklung?" (Kuhn, 1979, S.355).
Wenn Fragen in dieser Form aufgestellt werden, so nicht nur mit dem Ziel, die adaptiven Funktionen intelligenten Verhaltens aufzuspüren, sie sprechen zugleich die möglichen Begrenzungen der bevorzugten methodischen Ansätze in der kognitiven Entwicklungspsychologie an. Abgesehen von Studien, die die Sequenz verschiedenartiger kognitiver Leistungen oder Fähigkeiten beobachtet haben, waren Trainingsstudien lange Zeit eine bevorzugte Methodik in der Entwicklungspsychologie. Trainingsstudien sind mit dem Ziel konzipiert, Entwicklungsprozesse in irgendeiner Form zu simulieren, wobei die spezifischen Mechanismen, die im Training geprüft

werden, natürlich darüber entscheiden, in welchem Grad eine solche Simulation isomorph oder relativ ähnlich zu tatsächlichen Entwicklungsprozessen sein kann.

Sidney Strauss (1972) formuliert die traditionelle Position der Trainingsstudie: es gelte mittels empirischer Methoden "generative Transformationsregeln zu untersuchen", die der Veränderung der Denkorganisation beim Kind zugrundeliegen. Trainingsstudien versuchen den Entwicklungsprozeß demnach zu simulieren, indem sie sich bemühen, das Kind auf eine "höhere Stufe begrifflicher Aktivität" zu führen (Strauss, 1972, S.329/330). Im Grunde hat die Vielfalt methodischer Variationen innerhalb der Trainingsstudien - vor allem zu konkret-operationalen Konzepten - den erkenntnistheoretischen Hintergrund der genetischen Epistemologie immer stärker verblassen lassen. Es scheint müßig, diese Position wieder zu betonen, aber sie bleibt eine wichtige Orientierung, an der Beschreibungen kindlicher Lösungsprozesse gemessen werden können. Zu oft wird in der Trainingsliteratur vergessen, daß Trainingserfahrungen lediglich Versuche - und zwar recht vorläufige Versuche - sind, Modelle der qualitativen Eigenarten kindlichen Wissens und seiner Veränderungen zu entwerfen. Die (relative) Beeinflußbarkeit des kindlichen Wissens, ablesbar an beobachtbaren konzeptuellen Veränderungen zwischen Vor- und Nachtest, besagt wenig darüber, ob die Trainingsstrategie eine auch nur teilweise angemessene Simulation kindlicher Lernprozesse ist, da sie die Frage offen läßt, in welcher Weise das Kind die angebotenen Erfahrungen in seine Wissensstruktur eingebaut hat.

Laborsituationen sind nur ein möglicher Erfahrungskontext, in dem Entwicklungsmechanismen studiert werden können. Jede Trainingsstudie enthält implizit die Frage ihrer "externen Validität": ist der experimentell demonstrierte Mechanismus dem 'natürlichen' ähnlich? (Kuhn, 1974; Kuhn, 1978, S.110; Kuhn, 1979, S.354) Ein besonderes Problem von Trainingsstudien zu Piaget-Konzepten stellt die relative Künstlich-

keit des Trainingsprogrammes dar, wie es in einer Vielzahl von Studien entworfen ist (zur Übersicht Beilin, 1978, 1981). Ohne Zweifel ist es umstritten, ob man so etwas wie einen 'natürlichen Entwicklungsprozeß' annehmen darf, der als Gegenpol zu Laborsituationen verstanden werden kann (Kuhn, 1974, 1979). Überblickt man aber verschiedene Methoden zum Training konkret-operationaler Konzepte, und vergleicht man die Trainingserfahrungen mit möglichen Erfahrungen des Kindes im Vorschulalter, wird man sich fragen, inwieweit das Training eine gelungene Abbildung kindlicher Entwicklungsprozesse darstellt. Besteht überhaupt eine Analogie zwischen simuliertem Lernprozeß und den anzunehmenden Entwicklungsprozessen? Es ist überaus schwierig, diese Frage über empirische Daten zu entscheiden, denn die Trainingsform selbst und die Messung des Trainingserfolgs sind oft untrennbar verwoben. Zugleich werden tiefergreifende Fragen angesprochen, inwieweit eine bestimmte Trainingsart oder eine gewählte Aufgabenstellung ein angemessenes Modell des kindlichen Denkens und dessen allmählicher Veränderung im Laufe der Entwicklung sein können (vgl. auch Siegler, 1979).

Denkt man z.B. an den Erfolg der Trainingsstudien mit dem verbalen Trainingsmodell (z.B. Beilin, 1975, Field, 1981), in dem sprachliche Lösungsregeln dem Kind vermittelt bzw. angeboten werden (z.B. Addition/Subtraktion; Identität), so scheint es plausibel, daß es diesen Trainingsansätzen gelingt, dem Kind eine bestimmte Lösungsstrategie zu vermitteln, die eine erfolgreiche Antwort auf typische Varianten der Invarianzaufgabe gestattet. Zugleich ist es aber nur begrenzt wahrscheinlich, daß das Kind in alltäglichen Problemsituationen auf systematische Weise mit solchen sprachlichen Regeln konfrontiert wird, auch über einen längeren Zeitraum nicht. Mit anderen Worten, das Kind konstruiert in der Entwicklung die im Training vermittelten Trainingsstrategien selbst nach einem eigenen zeitlichen Rhythmus.

Man findet auch eine Analogie zur Sprachentwicklung: das Kind formuliert "vernünftige, aber inkorrekte" (Case, 1978, S. 441) Regeln, trotz andersartiger Regeln - vollständigerer Art -, die ihm der Erwachsene u.U. vertraut zu machen sucht. Und offenbar erlaubt erst die Interaktion zwischen diesen Regeln und empirischen Erfahrungen eine Ausweitung, Differenzierung und schließlich Umbildung der Regel im Sinne eines reiferen Verständnisses. Der Erfolg des verbalen Trainingsmodelles macht in diesem Sinne die Bedeutung sprachlicher Regeln bei der Lösung von Invarianzaufgaben wahrscheinlich (z.B. als Lösungsalgorithmus), die Wirksamkeit der Trainingsmethodik macht es aber nicht verständlich, wie das Kind im Laufe des Vorschulalters Invarianzregeln konstruiert und erwirbt.

Inwieweit nimmt das Kind die Trainingserfahrungen an, formt es sie um, ordnet es sie in eigenes Wissen ein, wie interpretiert das Kind überhaupt die Trainingsprozedur: dieser Frage ist man in der Tradition dieser Forschung wenig nachgegangen, vielleicht weil viele Arbeiten stärker ergebnisorientiert, denn an theoretischen Ideen ausgerichtet waren.

Das erste Jahrzehnt in der Geschichte der Piaget-Trainingsstudien war fast ausschließlich um die Frage zentriert, ob konkret-operationale Konzepte überhaupt "trainierbar" seien (Schwerpunkt dieser Arbeiten sind die frühen und mittleren 60-er Jahre), z.T. abgeleitet aus Piagets Dichotomie von Entwicklung und Lernen. Es wird manchmal vergessen, daß die Genfer Schule als erste die Trainingsmethode - in ihrer eigenen Gestaltungsform - auf die wissenschaftliche Bühne brachte (siehe Duckworth, 1979), und damit eine Welle von Arbeiten einleitete, die von Smedslund über Gelmans inzwischen 'klassischer' Methodik bis zu Brainerds und Hoopers Ansätzen reichen (Beilin, 1971, 1978). Ende der sechziger Jahre und zu Beginn der 70-er Jahre waren eher Probleme der relativen Wirksamkeit von Trainingsstrategien in Mode ge-

kommen (Brainerd & Allen, 1971), z.T. mit der Absicht, einen bestimmten Entwicklungsmechanismus für den Erwerb der Invarianz zu demonstrieren, so der Reversibilität (Brainerd & Allen, 1971), des verbalen Regelmodells (Beilin, 1975) oder von Aspekten der Reizdiskriminierung und -selektion (Gelman, 1969).

Die Analyse der Genfer Arbeiten von Inhelder, Bovet und Sinclair (1974) prägte die Diskussion neuerer Arbeiten; darin wurde zum einen die "Stadien-Lerntheorie" untersucht, d.h. die Frage, ob Invarianzkonzepte und andere konkret-operationale Konzepte nur in Abhängigkeit von Vorwissen und/oder Entwicklungsstand des Kindes erlernbar sind (Brainerd, 1977). Zum anderen wurde versucht, den Übergangsprozeß (transitional process) zwischen den angenommenen qualitativen Stadien zu formulieren (Pascual-Leone, 1976). Obwohl diese Forschungsthemen in den letzten Jahren speziell auf sonderpädagogische Probleme angewandt wurden (vgl. Boersma & Wilson, 1974, Abramson et. al., 1980), scheint das Interesse an Trainingsstudien inzwischen stark abzunehmen. Dies mag eine Folge der mangelnden Schlüssigkeit der Ergebnisse dieses umfangreichen Forschungsprogramms sein und weniger durch die Einsicht begründet, daß Trainings mit Piaget-Konzepten relativ gut wirksam sind.

Das überraschende Ergebnis bleibt im Grunde, daß fast jede Trainingsstrategie durch empirische Studien in ihrer relativen Wirksamkeit belegt ist, vorausgesetzt man arbeitet intensiv genug mit dem Kind und achtet auf eine gewisse Variabilität im Testmaterial (Beilin, 1975, 1978; Brainerd, 1973). "Wahrscheinlich ist die einzige Feststellung, die man über den bemerkenswerten Strom von Piaget-Trainingsstudien, die in der 15-jährigen Periode zwischen 1960 und 1975 angefertigt,wurden (machen kann), die, daß die Interpretation dieser Untersuchungen kontrovers ist" (Kuhn, 1979, S.354).

Wohlwill (1973) diskutiert die Relevanz von Trainingsstudien nach Piaget ausführlich (1973, S. 320 - 332). Ohne daß er die Frage beantworten könnte, warum solche Studien eine Zeit lang die amerikanische Psychologie fast zwanghaft beschäftigt haben (op. cit, p. 320), geht er davon aus, daß Invarianztrainings dazu beitragen können, mögliche hinreichende Bedingungen für den Erwerb eines Konzepts zu identifizieren, womit offenbleibt, ob damit auch notwendige Bedingungen gefunden werden. "Bislang wurden eine Vielzahl von Demonstrationen hinreichender Bedingungen vorgelegt, die experimentell Invarianzkonzepte induzieren. Schon die große Zahl und Verschiedenartigkeit dieser Untersuchungen macht es offensichtlich, daß keine von ihnen den 'magischen Schlüssel' zum Geheimnis der Invarianz enthält, obwohl sie zusammengenommen es möglich machen, daß sie Einsichten liefern, was tatsächlich geschieht, wenn ein Kind ein Konzept auf natürliche Weise erwirbt, mit anderen Worten, ohne die Unterstützung einer experimentellen Intervention" (Wohlwill, 1973, S.321). Selbst wenn die Trainingsstudie nicht gestattet zu formulieren, welche Faktoren relevant oder kritisch für den Erwerb der Invarianz sind, so könnten wir zumindest die Faktoren identifizieren, die die Entwicklung beschleunigen (Wohlwill, 1973, S.322-323). Wohlwill führt eine Reihe von unterscheidenden Kriterien für Trainingsstudien auf, von denen hier nur die Art der Trainingserfahrung und die Breite und Dauer der Trainingserfahrung interessieren. Im Hinblick auf die Trainingserfahrung, die im Experiment dargeboten wird, scheint Wohlwills Beobachtung von großem Interesse, daß die Invarianz eher indirekt erworben wird, "als ein Nebenprodukt eines anderen ablaufenden Entwicklungsprozesses", so daß die speziell gewählte Trainingsstrategie eine untergeordnete Rolle zugewiesen bekäme (Wohlwill, 1973, S.324). In diesem Sinne spricht er auch davon, daß "je breiter die Erfahrung und je umfassender ihre Dauer ist, desto mehr wird die (Trainingserfahrung) wahrscheinlich den Be-

dingungen der unstrukturierten, außerexperimentellen Erfahrung nahekommen" (Wohlwill, 1973, S.325).

Wohlwills Interpretation des Erwerbs der Invarianz geht zusammengenommen davon aus, daß die Lösung einer Invarianzaufgabe gar kein "fundamentales Phänomen der Entwicklung" ist bzw. keine "grundlegende Dimension der Entwicklung" darstellt. Es scheint ihm eher ein "Epiphänomen", ein "Nebenprodukt" eines viel umfassenderen Entwicklungsprozesses zu sein. Plausibel wird diese Sicht dadurch, daß man keine gemeinsamen "Erfahrungen" bzw. "Ingredienzen" kennt, mit deren Kenntnis das Kind die Invarianz meistert. Wohlwill gibt allerdings keine wesentlich präzisere Definition dieses allgemeinen Entwicklungsprozesses (außer daß er davon spricht, Kinder reagierten auf gegebene Stimulusdimensionen in begrifflicher Form), so daß diese umfassende Sicht nicht sehr attraktiv erscheint.

## 2. Entwicklung und Lernen - eine offene Kontroverse

Brainerd selbst hat die zentrale Frage ausführlich erörtert, welche Beziehung zwischen Experimenten zum Begriffserwerb bei Kindern und der Konstruktion von Begriffen in alltäglichen Erfahrungssituationen besteht. Diese Problemstellung geht auf Piagets Dichotomisierung von Lernen und Entwicklung zurück, z.T. in Reaktion auf die 'amerikanische Frage' (vgl. Kuhn, 1974, S.590), wie der Begriffserwerb (speziell für die Invarianz) durch Trainingsmethoden beschleunigt werden könnte. Inhelder und ihre Mitarbeiter bestehen deshalb auf der Unterscheidung, ob Konzepte (Begriffe/Operationen) als Folge unmittelbaren Trainings erworben wurden oder ob ein Begriff / eine Operation sich spontan entwickelt hat (Inhelder et al., 1966; Inhelder, Sinclair & Bovet, 1974).

Brainerd (1977, 1978, 1979) bemüht sich, diese Unterscheidung einer empirischen Prüfung zu unterziehen. Seiner Ansicht nach leiten sich aus der "Lern-Entwicklungs-Hypothese" drei überprüfbare Vorhersagen ab:

Erstens, Kinder, die nicht bereits ein beginnendes Verständnis der Invarianz haben, lassen sich nicht erfolgreich trainieren. Erfolgreich sind Trainingsmethoden nur dann, wenn sich Kinder im Übergangsstadium zu den konkreten Operationen befinden ("stage-learning-Hypothese", Brainerd, 1977). (strukturelles Vorwissen)

Zweitens, Kinder müssen ein inhaltliches Vorverständnis für die trainierte Aufgabe haben, sonst kann die Trainingsmethode nicht erfolgreich sein (inhaltliches Vorwissen).

Drittens, "Trainingsmethoden, die die 'spontanen' Entwicklungsprozesse widerspiegeln, sind wirksamer als Methoden, die dies nicht tun" (Brainerd, 1979, S.198).

Brainerds Interpretation der empirischen Ergebnisse zu diesen Vorhersagen bzw. Hypothesen ist unzweideutig. In seiner ersten oben genannten Arbeit (1977) versucht er zu zeigen, daß die "stage-learning" Hypothese nicht empirisch abgesichert ist. Vergleicht man nämlich Vor- und Nachtest-veränderungswerte (gain scores) für Kinder im 1. Stadium (Nichterhaltung) und solche im 2. Stadium (Übergangsstadium) nach Piaget, zeigen sich vergleichbare Zunahmen, auf keinen Fall aber sind dabei Kinder im Übergangsstadium begünstigt.

Auch Erfahrungswissen, widergespiegelt im Alter des Kindes oder in seinem Vorwissen in anderen Invarianzkonzepten, prägt nicht wie erwartet die Trainingswirksamkeit. Zum Beispiel sind auch Lernexperimente mit relativ jungen Vorschulkindern erfolgreich (Denney, et.al., 1977; Brainerd, 1977, S.332-334). Allerdings spricht die Studie von Field (1981) dafür, daß es eine untere Grenze für den Trainingserfolg geben dürfte - Kinder unter vier Jahren, die an dieser Untersuchung teilnahmen, vergaßen erworbenes Wissen, das über verbale Regeln vermittelt wurde , sehr schnell wieder.

Schließlich weiß man seit längerem, daß "selbstentdeckende Methoden", wie sie Piagets Schule propagiert (z.B. Strauss, 1972) - in erster Linie wegen ihrer größeren Analogie zu der natürlichen Entwicklung - nicht wirksamer sind als "unterrichtende (tutorial)" Trainingsmethoden (vgl. Brainerd, 1978, S.84 ff.). "Es gab keine Evidenz, daß selbstentdeckendes Training besseren Erwerb des angestrebten Konzepts, besseren Transfer auf nicht trainierte Konzepte oder bessere Behaltenseffekte über längere Zeit hervorruft" (Brainerd, 1979, S.199).

Brainerd leitet aus diesen Ergebnissen ab, daß es bislang eine weither geholte Annahme ist, Invarianz, wie sie durch direktes Training erworben wird und Invarianz, wie sie von "Alltagserfahrungen" produziert wird, seien "sehr verschiedene Arten von Invarianz (Erhaltung)" (Brainerd, 1979, S.199).

Brainerds Schlußfolgerungen sind allerdings nicht unproblematisch. Seine Bewertung der "stage-learning" Hypothese beruft sich auf die Differenzwerte zwischen Nachtest und Vortest bei verschiedenen Trainingsstudien. Meßtheoretisch bleiben diese berechneten Unterschiede auf einer angenommenen Intervallskala problematisch, denn die (numerische) Beziehung solcher Unterschiede zur traditionellen Stadienklassifikation Piagets ist ungeklärt.

Ein besonderes Problem stellt sich durch die Bedeutungsunterschiede der numerisch erhobenen Werte: dies gilt sowohl für die reine Anzahl richtiger Urteile (die oft als Intervallskala gedeutet wird) als auch für die Stadienklassifikation Piagets. Vorwissen und die zeitliche Konstituierung wichtiger Teilprozesse der Invarianzaufgabe lassen sich an der Stadienklassifikation nicht ablesen, und es ist einigermaßen zweifelhaft, ob manche Kinder, die aufgrund einer begrenzten Auswahl von Aufgaben als präoperational eingestuft werden, jeweils mit den gleichen Voraussetzungen in das Trainingsexperiment gehen. Solche impliziten Voraussetzungsunterschiede können sowohl die Kompetenzaspekte als auch die Performanz (d.h. den Einfluß spezifischer Reizfaktoren und Aufgabenbedingungen) betreffen.

Die markantesten Beispiele zu dieser Problematik finden sich in der Forschung zur interkulturellen Gültigkeit von Piagets Theorie, wo Beobachtungen zur Aktualisierung von sogenannten "latenten Kompetenzen" besonders auffällig sind. Sieht man einmal von der Problematik ab, die mit der Kompetenz- Performanz-Unterscheidung verbunden ist, so illustrieren diese Daten zumindest, wie trügerisch Stadienklassifikationen sein können. Gibt es latente Kompetenzen bei älteren Kindern nichtwestlicher Kulturen aufzudecken, so ist die Annahme solcher Kompetenzen bei Vorschulkindern eines bestimmten Alters nicht auszuschließen, - eine ganze Linie der Piagetforschung hat sich tatsächlich mit diesem Problem beschäftigt (Gelman, 1978).

Als Beispiel aus den Ergebnissen interkultureller Studien soll ein Zitat aus Dasen und Heron (1981) genügen:

Zum Beispiel berichten Pinard, Morin und Lefebvre (1973), daß "sieben (von 16) Versuchspersonen in der nichtbeschulten Gruppe aus Ruanda in den Trainingsübungen nach einer einzelnen Sitzung erfolgreich waren, während nur drei in der beschulten Gruppe und keiner in der Französisch-Kanadischen Gruppe erfolgreich waren. Dasen (1975b, 1977b) berichtet sehr schnelles Erlernen der Substanzerhaltung bei Eskimokindern im Alter von 12 bis 14 Jahren; einige Kinder veränderten sich von Nichterhaltung zu Erhaltung nach einer bloßen Darbietung der operationalen Aufgabe und einige bewegten sich von der Nichterhaltung zum Übergangsstadium in der gleichen Weise und erwarben dann die vollständige Erhaltung sehr schnell in der Trainingsphase. Andererseits blieben Versuchspersonen im Alter von 10 und 11 Jahren auf Stadium 1 trotz Darbietung anderer operationaler Aufgaben, aber begannen dann die notwendigen Strukturen während der Trainingsphase zu erwerben" (p. 322).

Unser fragmentarisches Wissen über die Wechselbeziehungen zwischen Stadienklassifikation, implizitem Vorwissen des Kindes (widergespiegelt in konstitutiven Entwicklungsphänomenen, die sich über einen längeren Zeitraum ausformen) und der relativen Wirksamkeit bestimmter Trainingsmethoden erlaubt es nicht, die Stadien-Lernhypothese aufgrund der Differenzwerte zwischen Vor- und Nachtest schlüssig zu bewerten. In diese Werte fließen zuviele Vorannahmen ein. Allerdings bedeutet dies auch, daß die Interpretation der Mitarbeiter Piagets zugunsten der Stadien-Lernhypothese noch kein festes empirisches Fundament hat, da sie in der Vorauswahl ihrer Versuchspersonen u.U. die Kinder im Übergangsstadium begünstigen.

Bei der Wirksamkeit von Trainingsstrategien bei relativ jungen Vorschulkindern und auch bei der Frage nach nötigem Vorwissen, darf nicht die Problematik der Dichotomie zwischen "natürlicher" Entwicklung und "künstlicher" Trainingstechnik übergangen werden. Selbst wenn es gelingt, vierjährigen Kindern durch Diskriminationslernen oder verbales Regellernen ein bestimmtes Konzept unter Laborbedingungen zu vermitteln,

(vgl. Siegler, 1979, S.106-107), bleibt damit noch ungeklärt, welche Begrenzungen die natürliche Entwicklung eines Konzepts leiten. Zumindest kann aus der Trainingswirksamkeit nicht abgeleitet werden, Trainingsmethode und Entwicklungsmechanismus unter "üblichen ökologischen Bedingungen" entsprächen sich. Von größerem Interesse sind im Grunde Entwicklungsunterschiede im Lernen im Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen, weil sie Hinweise gestatten, wie das Kind alltägliche Erfahrungen kognitiv verarbeitet und umgestaltet (vgl. dazu die 'Encoding'-Hypothese von Siegler, 1979, Klahr & Siegler, 1979).

Schließlich ist es nicht die Wirksamkeit von Methoden selbstentdeckenden Lernens, die ihre mögliche Bedeutung ausmachen, sondern ihre möglichst große Nähe zu theoretisch angenommenen Entwicklungsprozessen. Es ist nicht sicher, ob die bislang propagierten Methoden selbstentdeckenden Lernens (Strauss, 1972, Kuhn, 1974) tatsächlich typische Elemente der Entwicklung im Vorschulalter einschließen (vgl. Scandura & Scandura, 1980), ihr Vorteil gegenüber "instruierenden" Methoden aber ist ihr geringeres Maß an "Forciertheit" (Beilin, 1981).

Die Bewertung der 'Stadien-Lern-Theorie' ist demnach nicht unumstritten. Gerade die Frage, die Brainerd mit seinen Hypothesen zu beantworten suchte, nämlich die nach der Beziehung zwischen Trainingsstrategie und -mechanismus und dem natürlichen Entwicklungsmechanismus geht weit über die bislang vorgelegten empirischen Ergebnisse hinaus.

May und Norton (1981) weisen auch auf die Schwierigkeit hin, zwischen dem Ausmaß an Verbesserung (im Sinne von Inhelder et.al., 1974) und dem Maß an Empfänglichkeit (susceptibility) im Sinne von Brainerd (1977) zu unterscheiden. Im ersten Falle geht es um das Ausmaß und die Natur der stattfindenen Verhaltensänderung, z.B. "ob ein bestimmtes Kriterium wie etwa keinen Fehler (zu machen) erreicht worden ist" (May und

Norton, 1981, S.911). In diesem Zusammenhang werden qualitative Bewertungen von Kriterien miteinbezogen, so daß Leistungsverbesserungen bei einem 'Nichterhalter' eine andere Wertung bekommen als solche Veränderungen bei einem Kind im Übergangsstadium. Hingegen begrenzt sich Brainerd (1977) auf jegliche Zunahme in der Leistung des Kindes, die in einer (ordinal zu verstehenden) Skala ablesbar sind. Die relative Zunahme in der Leistung des Kindes in der Invarianzaufgabe wird also als unabhängig betrachtet vom absoluten Niveau, das vom Kind erreicht wird. Die völlig entgegengesetzten Schlußfolgerungen bei Inhelder und anderen bzw. bei Brainerd hinsichtlich der Ergebnisse empirischer Studien leiten sich aus diesem völlig andersartigen Verständnis der Invarianzkriterien her. May und Norton (1981, S.911) belegen diese beiden Thesen:
Inhelder et.al. (1974): "... die Natur und das Ausmaß des Fortschritts beim Subjekt ist immer, tatsächlich in bemerkenswerter Weise, abhängig von ihrem anfänglichen Entwicklungsniveau" (Inhelder, 1974, S.244).
Brainerd (1977): "... es gibt keine Evidenz, daß die Empfänglichkeit (susceptibility) von Kindern für Invarianztraining in engem Zusammenhang zu der vor dem Training vorgenommenen Stadienklassifikation steht" (Brainerd, 1977, S.929).

Mit Sicherheit wäre es notwendig, Brainerds Analyse der Beziehung zwischen Vortestergebnis (Stadienklassifikation) und Trainingswirksamkeit (Zunahme im Invarianzwert) mit andersartigen methodischen Kriterien zu wiederholen. So etwa, indem man sich darauf beschränkt, anhand definierter qualitativer Kriterien zu beobachten, ob innerhalb einer Kontingenztabelle, die aus Stadienangaben vor dem Training und nach dem Training zusammengesetzt ist, systematische Beziehungen zu finden sind. Statistische Vorschläge zur Analyse der statistischen Hypothesen, die sich aus der

Stadien-Lerntheorie ableiten, hat etwa Thomas (1980) gemacht. Allerdings hat seine Methode auch einige Schwächen, weshalb auf die Vorhersageanalyse von Hildebrandt et.al. (vgl. Froman und Hubert, 1980) zurückgegriffen werden könnte.

## 3. Die Vielfalt der Trainingsstrategien und ihre Beziehung zu Modellen der Invarianzaufgabe

### 3.1 Zur Vielfalt der wirksamen Trainingsstrategien

Die Diversifikation der verschiedenen Trainingstechniken spiegelt die Vielzahl von Hypothesen wider, die für den Erwerb der Invarianzaufgabe aufgestellt wurden. Die theoretischen Formulierungen sind so unüberschaubar geworden, daß Beilin (1978) versucht hat, ein Klassifikationsschema zu entwickeln, in dem ähnliche theoretische Ansätze einander zugeordnet werden können (vgl. auch Kuhn, 1974).

Brainerd (1979) nennt drei übergeordnete Kategorien von Theorien:

(1) Modelle spezifischer Erfahrungen (specific experience models) Hier werden unmittelbare Erfahrungen des Kindes mit Invarianzaufgaben als verantwortliche Lernprozesse/erfahrungen herangezogen. Brainerd ordnet hier etwa operante Theorien ein, die den Erwerb und die Generalisierung des Invarianzkonzepts mit Prinzipien operanten Lernens zu demonstrieren versuchen (Bucher & Schneider als bekannte Vertreter dieser Richtung). Daneben gehören hierher Theorien des sozialen Modellernens (siehe Rosenthal & Zimmermann, 1978) und schließlich Ansätze, die die unmittelbare bzw. mittelbare Verstärkung von richtigen Invarianzantworten propagieren (Feedback als Trainingstechnik).

(2) Modelle, die von einer Wahrnehmungsbereitschaft ausgehen (perceptual readiness models), behaupten, daß allgemeine Charakteristika der Wahrnehmung bzw. Wahrnehmungsdifferenzierung dem Erwerb der Invarianzaufgaben vorausgehen und/oder zugrundeliegen. Neben Gibsons Analyse der Invarianz und die klassische

Studie von Rochel Gelman tritt hier vor allem die Arbeit von Patricia Miller (1978, 1979), in der Aufmerksamkeitsprozessen und der Dimensionalisierung verschiedener Reizcharakteristika besondere Bedeutung zugebilligt wird.

(3) Schließlich suchen Theorien, die von einer kognitiven Bereitschaft sprechen (cognitive readiness theories), die Voraussetzung für die Invarianz "in der Natur der Regeln und Strategien", über die das Kind verfügt (Brainerd, 1979, S.181). Daher gehören hierzu auch Trainingstechniken, in denen dem Kind verbale Regeln vermittelt werden (Beilin, 1975, Field, 1981). Folgende (inhaltliche) Regeln wurden als Voraussetzung der Invarianz angenommen (entweder einzeln oder zuweilen auch in kombinierter Form)
+ Addition/Subtraktion
+ Kompensationsreversibilität/Kompensation
+ Inversionsreversibilität
+ qualitative Identität
+ quantitative Identität
+ Identitätsinvarianz
+ Transitivität
Zu weiteren Hinweisen auf Untersuchungen vergleiche man Beilin, 1971, 1978, Brainerd, 1979, und Brainerd & Allen (1971). Schließlich kann man unter dieser Gruppe natürlich die Studien einordnen, die Piagets traditionelles Erklärungskonzept verwenden (z.B. strukturelle Konflikte, Strauss, 1972).

Je nach theoretischem Hintergrund haben eine Reihe von Autoren unterschiedliche Systematiken zur Ordnung der Trainingsstrategien gewählt (vgl. Beilin, 1971, 1978; Strauss, 1972; Brainerd & Allen, 1971, Brainerd, 1973; Kuhn, 1974). Ergänzend sei auf Murrays (1978) Übersicht hingewiesen, der zu zeigen versucht, daß eine typische

Invarianzaufgabe aus vier Prämissen besteht, zwei explizit im Experiment gegebenen (dem Anfangsvergleich zweier Mengen und die beobachtbare Transformation) und zwei implizit gegebenen (nämlich Vergleich des transformierten Objekts vor und nach der Transformation und Wissen um die Transitivität zwischen den genannten Vergleichen), aus denen das Kind sein Urteil ableitet. Murray ordnet verschiedene Trainingsprozeduren in dieses Schema ein, denn sie richten sich entweder auf einzelne der Prämissen oder auf das Endurteil. Auch Murray schließt, daß die empirische Evidenz keine der genannten acht Trainingsstrategien (siehe Tabelle 1) bevorzugt, sieht man davon ab, daß Methoden, die soziales Modelllernen verwirklichen (Imitation, Rollenspiel, soziale Imitation), besonders hohe Anteile richtiger Urteile beim Kind anregen.

Abbildung 1: Systematik der Trainingsprozeduren nach Murray (1978)

---

(1) Rückmeldung (Feedback)
(2) Kognitiver Konflikt
(3) Training durch Analogie oder Anschauung (Diskrimation zwischen Erscheinung und Realität)
(4) Reizreduktion/Shaping
(5) Diskriminationstraining
(6) Verbale Regelinstruktion
(7) Training theoretisch angenommener Voraussetzungen
(8) Soziale Interaktion, Imitation, Kognitive Dissonanz, Rollenspiel

---

Obwohl Murrays Übersicht hier verkürzt dargestellt wird, zeigt sie die Problematik von solchen Systematiken besonders deutlich. Murray unterstellt, daß man die (technischen) Variationen von Trainingsansätzen ordnen müsse, um sie zur

pädagogischen Arbeit in Beziehung setzen zu können. Dabei vergißt er, daß neben den technischen Aspekten der theoretische Hintergrund und der erkenntnistheoretische Rahmen einer Trainingsstudie von großer Bedeutung sein muß: wird durch diese Aspekte nämlich zuallererst die Bedeutung der subjektiven Verarbeitung der Trainingserfahrung durch das Kind bewußt gemacht.

## 3.2 Übersicht und Klassifikation wichtiger Modelle des Invarianzerwerbs

Die meisten Trainingsmethoden sind mehr oder weniger implizit mit einer Theorie des Erwerbs der Invarianz verbunden. Aus der Vielfalt der angewandten Trainingstechniken kann man leicht auf eine fast ebenso große Variation in der Formulierung von Modellen der Invarianzentwicklung schließen.

Die Auswahl der Modelle für die nachfolgende Diskussion orientiert sich an Piagets klassischer Formulierung der zentralen Handlungsschemata bei der Konstruktion des Invarianzbegriffs. Zurückgestellt wurden daher theoretische Deutungen, die entweder lerntheoretisch fundiert sind (z.B. Arbeiten von Hall und seinen Mitarbeitern, oder auch die Interpretation des Invarianzerwerbs im Sinne eines Markovprozesses durch Brainerd, 1979) bzw. Ansätze, die den Reizaspekten innerhalb der Aufgabenstellung (und damit der 'Seite des Objekts' im Sinne Piagets) eine zentrale Rolle zuweisen (wie etwa Rochel Gelman (1969) oder Patricia Miller (1979) ).

Im Rahmen der Modelle, die einen aktiven Konstruktionsprozeß des Subjekts als Grundlage des Begriffserwerbs annehmen, wird eine grobe Unterscheidung in zwei Gruppen vorgenommen: Modelle, in denen die vorgenommene Transformation

und ihre Auswirkung auf das relevante Konzept in den Vordergrund gestellt wird, und Modelle, in denen ausgehend von Piagets klassischer Trias von konstitutiven Handlungsschemata der Invarianz (Reversibilität, Identität, Kompensation) versucht wird, den Übergangsmechanismus zu präzisieren. Um die Darstellung lesbarer zu machen, werden diese Gruppen an ausgewählten Beispielen veranschaulicht, und weitere Modelle anhand von Übersichtsschemata vorgestellt. Diese Schemata dienen in erster Linie dazu die prägnanten Aspekte verschiedenartiger Modelle herauszustellen. Es ist selbstverständlich, daß solch eine verkürzte Darstellung dem umfassenderen theoretischen Rahmen einiger Modelle, die besprochen werden, nicht gerecht wird (dazu gehört etwa die Theorie Pascual-Leones oder die strukturelle Lerntheorie von Scandura). Schließlich bietet auch diese größere Zahl von Modellen nur eine Auswahl. Theoretische Deutungen, die mit hier dargestellten eine enge Verwandtschaft zeigen (etwa die Interpretation von Case, 1980, im Verhältnis zu Pascual-Leone), wurden aus ökonomischen Gründen explizit ausgeklammert.

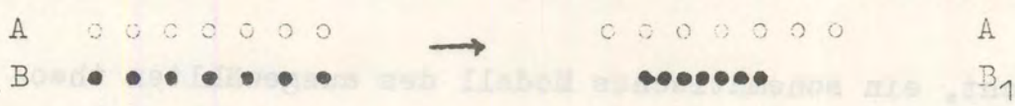
Die nachfolgenden Tabellen enthalten eine Übersicht der wichtigsten Invarianzmodelle, die in den letzten Jahren vorgestellt wurden. Bei der Auswahl werden relativ einfache Modelle der Invarianz, die lerntheoretisch orientiert sind (soziale Lerntheorie, Rosenthal und Zimmermann, 1978, Informationsverarbeitungsmodell von Patricia Miller, 1979), zurückgestellt. Alle ausgewählten Modelle werden anhand der Zahlinvarianzaufgabe erläutert (die natürlich gewisse Besonderheiten aufweist).
Die Darstellung innerhalb der Schemata gliedert sich in drei große Teile. Im ersten Teil werden die entscheidenden Entwicklungsdimensionen aufgeführt oder aber qualitative Veränderung, die aus der Konstitution verschiedener Entwicklungsprozesse herrühren, erwähnt. Im zweiten Teil wird

versucht, ein schematisches Modell des ausgewählten theoretischen Ansatzes aufzustellen. Schematische Darstellungen in Form von Kästen sind notwendig vereinfachend, lassen aber den Grundgedanken in einem Modell klarer vor Augen treten. Schließlich wird im dritten Teil versucht, eine Beziehung zwischen dem Modell und üblichen Trainingseffekten untersucht: es wird interpretiert, in welcher Form im Rahmen des Modells Trainingswirkungen (bei variablen Instruktionsbedingungen) wirksam werden können.

Die Einteilung nach Transformations-Reversibilitätsmodellen (T) und Kompensations-Identitätsmodellen (K) ist an den Indizes rechts oben ablesbar.
Ausführlichere Diskussionen ausgewählter Modelle finden sich im Anschluß an diese Tabellen.

(1)

Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Siegler, (1981) T




Komponenten des Regelmodells

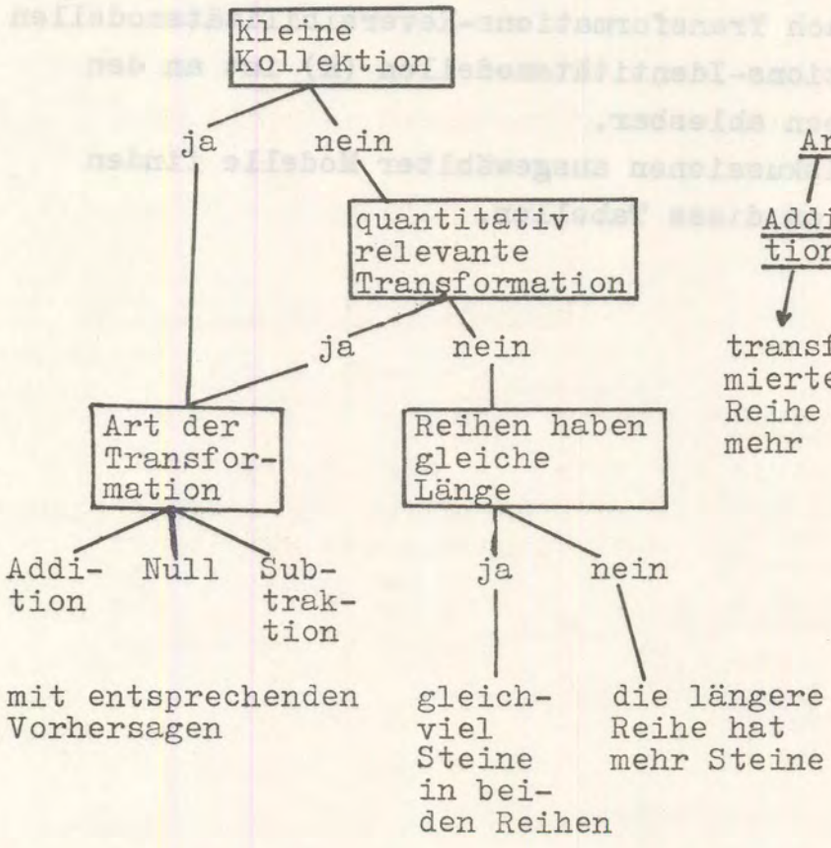
(in Abhängigkeit von der Komplexität der Regel)

(1) Größe der Anordnung (kleine o. große Mengen)

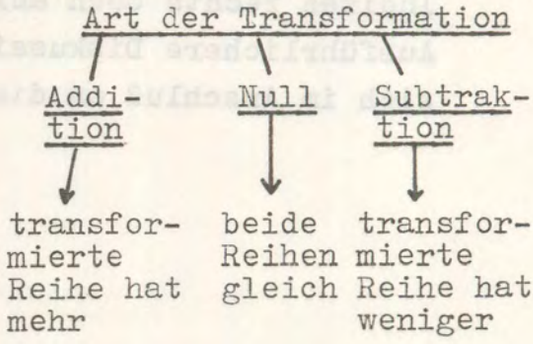
(2) quantitativ relevante Transformation
(Addition, Subtraktion; keine Veränderung)

(3) Wahrnehmungsdimension (Länge der Reihe)

vereinfachtes Modell (Regel III und Regel IV bei Siegler)



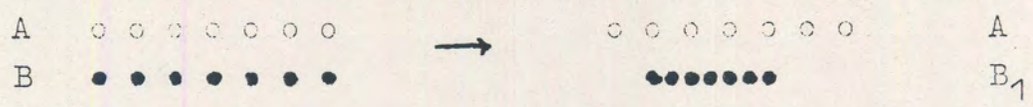

Regel IV:




Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten):

- Kennenlernen unterschiedlicher Transformationen und Klassifikation der Transformationen nach ihren Effekten;
- Ausweitung des Wissens um die Wirkungen von Transformationen bei kleinen Mengen von Gegenständen auf größere;
- Übergang von Wahrnehmungsurteilen auf Transformationsurteile

(2) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Pascual Leone (1976) T




Identitäts-Reversibilitätsmodell

Ein korrektes Urteil entsteht aus der Koordination dreier semantischer Dimensionen (e+3)

(1) Vergleich zwischen den beiden Ausgangsmengen (in der Regel gleich)
(2) durchgeführte Transformation (z.B. Zusammenschieben, Auseinanderziehen, Addition/Subtraktion von Elementen)
(3) Differenzierung von Äquivalenzklassen von Transformationen (quantitätserhaltende gegenüber quantitätsverändernden Transformationen)

vereinfachtes Modellschema:

(1) Axy = Bxy (Vergleich)

(2) $Bxy \xrightarrow{ty} B_1xy^1$ $\quad B = B_1 \longrightarrow$ $\boxed{A = B_1}$ (figurativ gegeben)

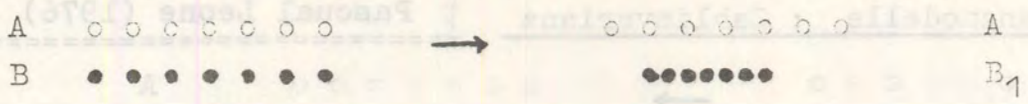
A = B

Klassifikations-operation (quantitätserhaltende Transformation ja/nein) (3)

Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten):

- Erwerb des Transformationsoperators (Äquivalenzklassen der Wirkungen von Transformationen)
- Koordination von (2) und (3) erfordert weniger Arbeitsgedächtnis (e+2) (s.o.)
- Einordnen der beobachteten Transformationen in bereits gebildete Äquivalenzklassen

(3) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz — Scandura & Scandura (1980) — T



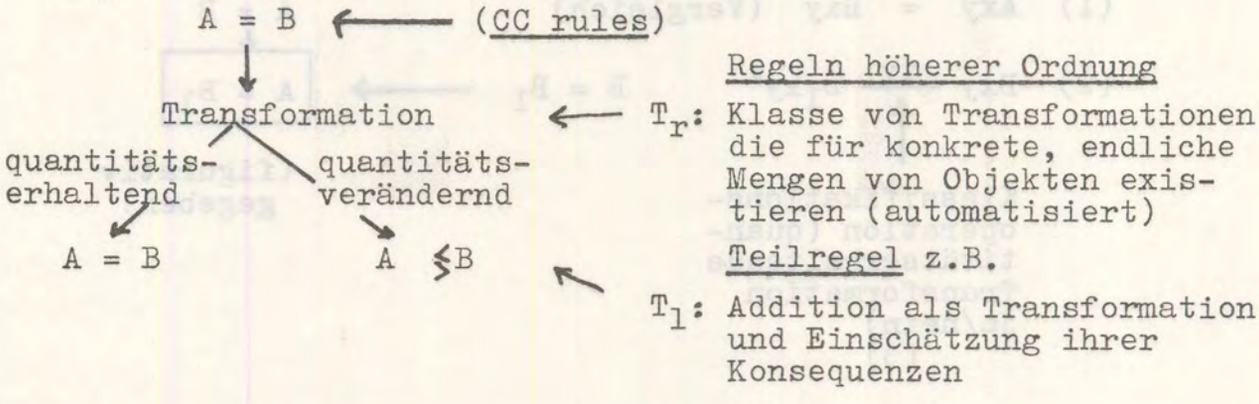

Regeln unterschiedlicher Abstraktion

Konzeptvergleichsregeln (CC rules)
z.B. Zählen, Korrespondenz, Schätzen, Wahrnehmungsurteil

Transformationsregel (antizipierend) $T_r$:
formuliert Klassen von Transformationen, die z.T. aus elementaren Transformationen zusammengefügt sind

Transformationsregel (nicht automatisiert) $T_1$:
einzelne Transformationsregeln, aufgrund derer das Kind entscheidet, welche Konsequenzen die Transformation für die Zahl hat

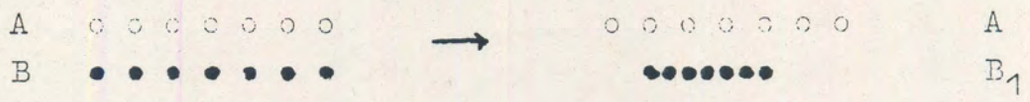
vereinfachtes Modellschema:




Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten):

- Erwerb der Konzeptvergleichsregeln
- Erwerb einzelner Transformationsregeln
- Automatisierung der Transformationsregeln und Bildung von Äquivalenzklassen
- Bilden von Regeln höherer Ordnung (die auch bei anderen Invarianzaufgaben Anwendung finden)

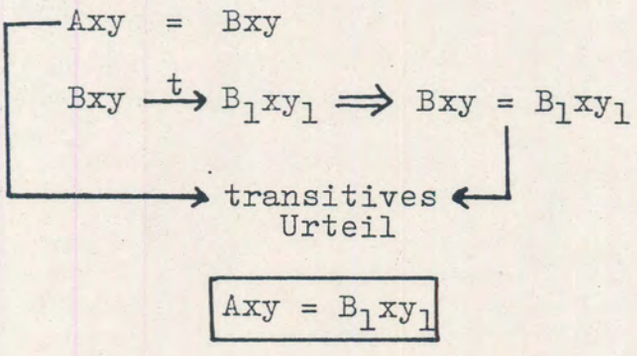
(4) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Murray (1978) T




Prämissen im deduktiven Urteil des Kindes

(1) Vergleich der Ausgangsmengen auf der relevanten Dimension (Quantität)
(2) Transformation der Menge B
(3) Einschätzen der Gleichheit der Mengen vor und nach der Transformation ($B = B_1$)
(4) transitives Urteil aus den Prämissen (1) und (3) gebildet
($A = B$ und $B = B_1 \Rightarrow A = B_1$)

vereinfachtes Modell

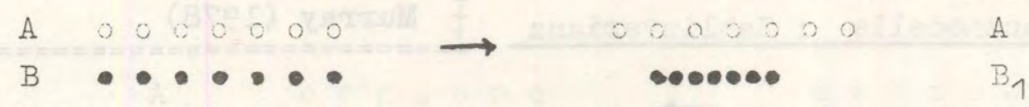



$\boxed{Axy = B_1xy_1}$

Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

- das Training verdeutlicht dem Kind einzelne Prämissen (1) bis (4)
- das Training hilft dem Kind ein deduktives Urteil zu bilden (bei Kenntnis der Prämissen)

(5) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Shultz et al (1979) T

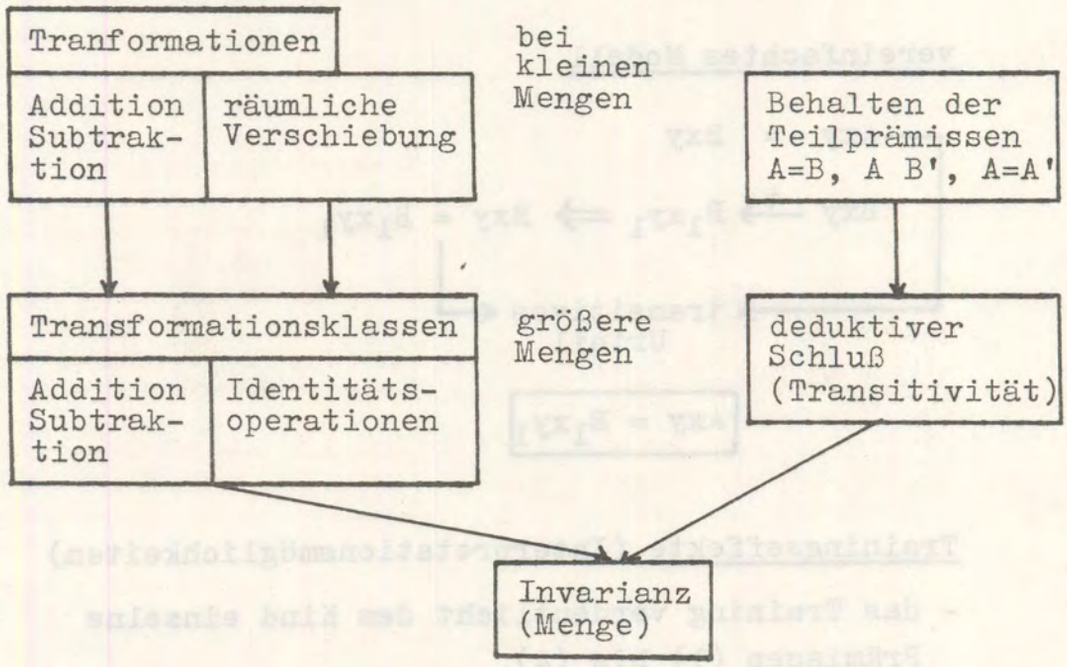



Entwicklungsdimensionen der Aufgabe

(1) empirisches Entdecken der Wirkung von spezifischen Transformationen (Addition, Subtraktion, räumliche Veränderung) zunächst bei kleinen Mengen, dann bei größeren; Abstraktion der "Identitätsoperation"

(2) Entwicklung der deduktiven Schlußfolgerung aus Teilprämissen (Transitivität)

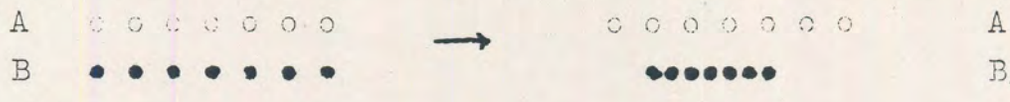
vereinfachtes Entwicklungsmodell




Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

- empirische Erfahrungen mit den Wirkungen von Transformationen (Mengenvergleiche; Mengenab/-zunahme)
- Behalten der Teilprämissen (Gedächtnisfaktor)
- deduktiver Schluß (über den Erwerb dieses logischen Prinzips macht die Theorie keine Aussagen)

(6) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ≠ Modell 1 nach Peill (1975) K

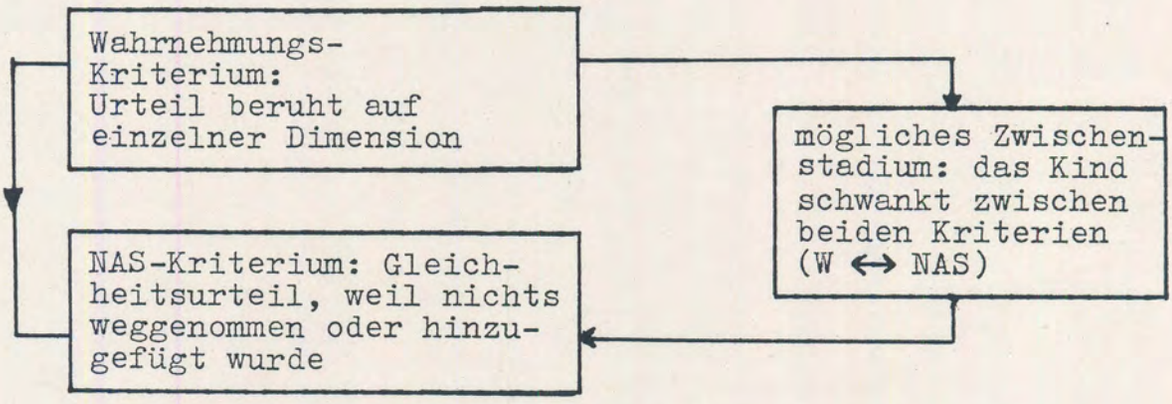



Konfliktdimensionen der Aufgabe (Vergleich vor und nach der Tranformation)

(1) Wahrnehmungsdimension
(in der Regel die Länge der Reihe)
"die längere Reihe hat mehr"

(2) NAS-Kriterium
(die Menge bleibt gleich, weil nichts hinzugefügt oder weggenommen wurde)

vereinfachtes Modell (nach Peill, 1975, S.110)

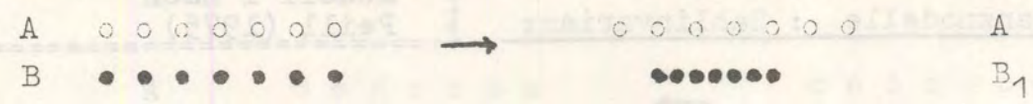



Das Modell ist eine erweiterte Fassung von Bruners Konfliktmodell (vgl. Bruner, et al, 1966; Strauss, 1972, S.335)

Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

- das Kind erlebt die Unzuverlässigkeit des Wahrnehmungsurteils bei quantitativem Vergleichen (vgl. ikonische Repräsentation)
- das Kind lernt die Bedeutung von Transformationen zu unterscheiden (Addition/Subtraktion) (vgl. symbolische Repräsentation) und die Transformation (nicht nur ihre Effekte) zu repräsentieren
- der Erwerb des NAS-Kriteriums kann relativ unabhängig vom Wahrnehmungsurteil erfolgen; ist sich das Kind des Kriteriums sicher, ersetzt es mit ihm das Wahrnehmungsurteil

(7) Invarianznodelle : Zahlinvarianz ‡ Modell 2 nach Peill (1975) K




Konfliktdimension der Aufgabe (Vergleich vor und nach der Transformation)

(1) einzelne Wahrnehmungsdimension (z.B. Länge) als Grundlage des Urteils
(2) Berücksichtigung zweier Wahrnehmungsdimensionen und damit Erkennen des Konflikts im Wahrnehmungsurteil
(3) NAS-Kriterium (Gleichheitsurteil wenn nichts addiert oder subtrahiert wurde)

vereinfachtes Modell

Wahrnehmungsurteil auf 1 einzelne Dimension gegründet (Länge)
→ " $B_1$ hat weniger, weil es kürzer ist"

Wahrnehmung zweier Dimensionen, Bewußt werden von widersprüchlichen Urteilen
→ " $B_1$ weniger, weil kürzer / A weniger, weil mehr auseinander "
(Keine Kompensation erforderlich)

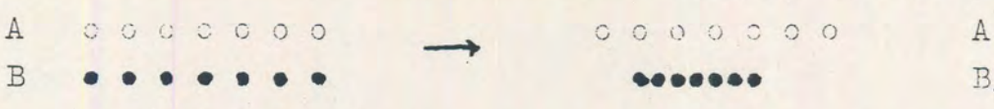
NAS-Kriterium
→ Gleichheitsurteil: "weil nichts hinzugefügt oder weggenommen wurde"

Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

- Wahrnehmen beider beteiligter Dimensionen wird angeregt und das Kind erkennt die Widersprüchlichkeiten in seinem Urteil
- das NAS-Kriterium wird (relativ) unabhängig von Wahrnehmungsurteilen gebildet (keine notwendige Beziehung!)
- das widersprüchliche Wahrnehmungsurteil (keine Kompensation versucht) regt das Kind an, ein erfolgreicheres Kriterium zu verwenden (NAS-Kriterium)

(8)

Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Modell 3 nach Peill (1975) K




Konfliktdimensionen der Aufgabe (Vergleich vor und nach der Transformation)

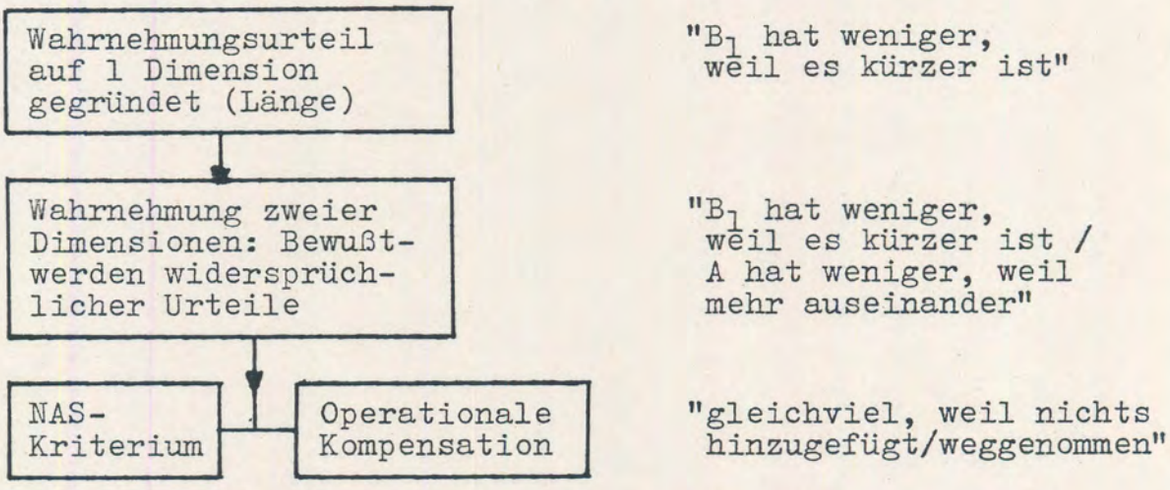
(1) eine einzelne Wahrnehmungsdimension (Länge) dient als Grundlage des Urteils

(2) Berücksichtigen zweier Wahrnehmungsdimensionen Erkennen des Konflikts im Wahrnehmungsurteil (A v $B_1$)

(3) operationale Kompensation: das Kind interpretiert die Dimensionsänderungen, als würden sie sich kompensieren

(4) NAS-Kriterium (keine Addition/Subtraktion) wird gemeinsam mit der operationalen Kompensation entwickelt und trägt zur logischen Notwendigkeit des Invarianzurteils bei

vereinfachtes Modell (nach Peill, 1975, S.110)

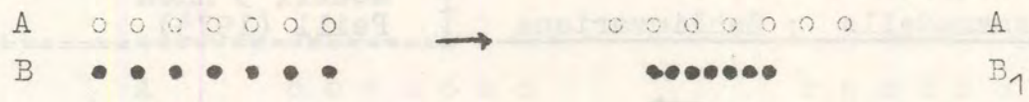



Das Modell ist in Übereinstimmung mit Piagets Deutung. Die Verbindung zwischen operationaler Kompensation und dem NAS-Kriterium konnte das Kind über den Vorgang der Reversibilität knüpfen.

Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

- Wahrnehmen beider Dimensionen; Konflikt im Urteil;
- operationale Kompensation (Oszillation zwischen A v B und A v $B_1$; symbolische Repräsentation der Transformation $B \xrightarrow{t} B_1$; Reversibilität)
- NAS-Kriterium entsteht aus dem Verständnis der (logischen) Notwendigkeit der operationalen Kompensation

(9) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Modell 4 nach Peill (1975) K




Konfliktdimensionen der Aufgabe (Vergleich vor und nach der Transformation)

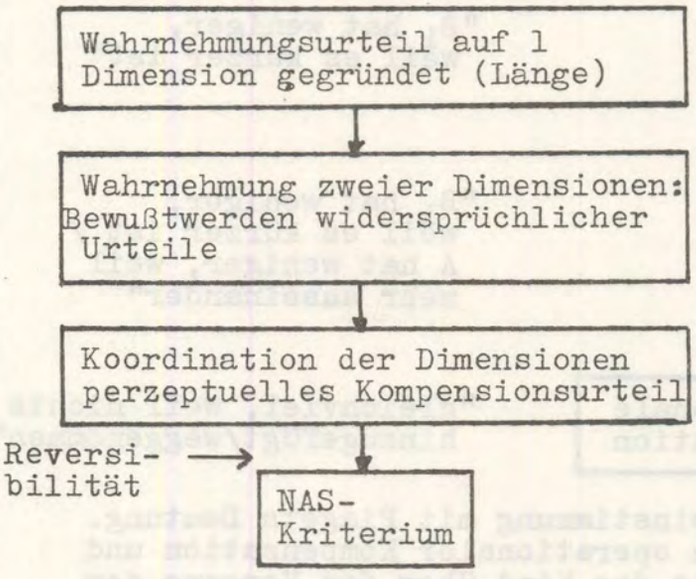
(1) einzelne Wahrnehmungsdimension (Länge) dient als Grundlage des Urteils

(2) Berücksichtigen zweier Wahrnehmungsdimensionen Erkennen des Konflikts im Wahrnehmungsurteil (A v $B_1$)

(3) Koordination der Dimensionen durch Abschätzen der Menge aufgrund perzeptueller Kompensation (vgl. Anderson & Cuneo, 1978 zu verschiedenen Integrationsregeln)

(4) NAS-Kriterium entsteht aus perzeptuellen Kompensationsurteilen und dem zunehmenden Verständnis der Reversibilität

vereinfachtes Modell (nach Peill, 1975, S. 110)



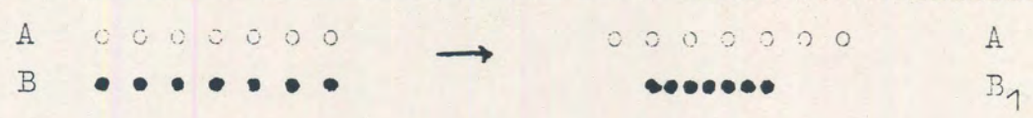

Gleichviel vor und nachher, weil die Längenzunahme durch Dichteabnahme kompensiert wird (empirische Regel)

notwendiges Invarianzurteil

Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

- Wahrnehmen beider Dimensionen; Konflikt im Urteil
- Perzeptuelles Kompensationsurteil (muß nicht immer Gleichheitsurteile einschließen, weil das Kind verschiedene Integrationsregeln verwenden könnte)
- Ableitung des NAS-Kriteriums aus der Klassifikation der perzeptuellen Kompensationsurteile und dem Verständnis der Reversibilität (A v B $\leftrightarrow$ A v $B_1$)

(10) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Acredolo (1981) K



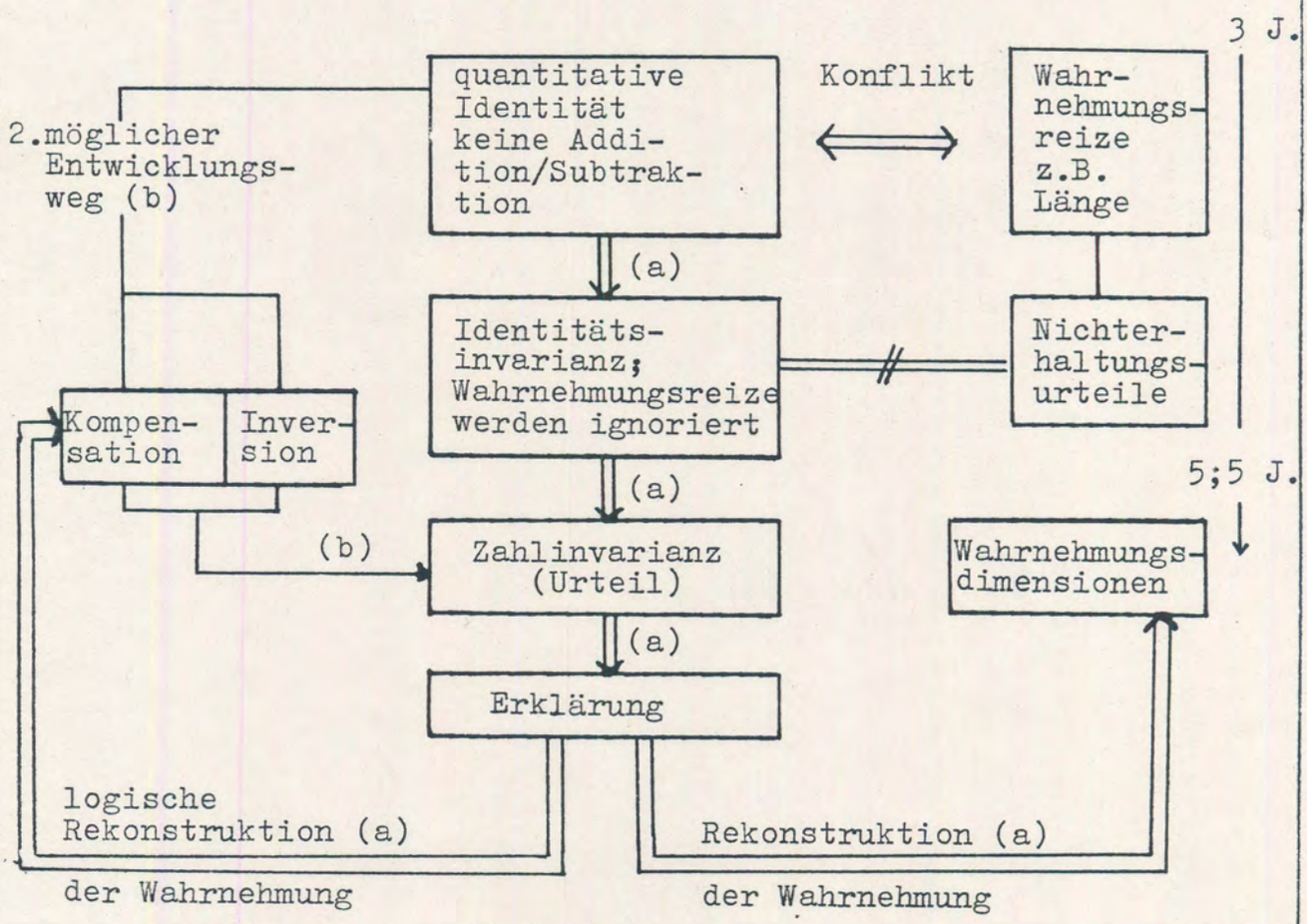

Entwicklungsdimensionen:

(1) Verständnis für quantitative Identität (keine Addition oder Subtraktion von Elementen)

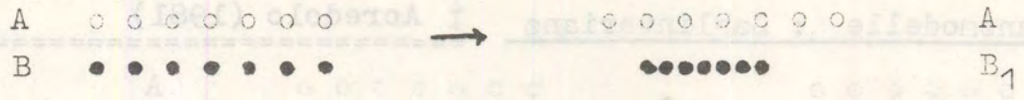
(2) Wahrnehmungsreize beeinflussen das Urteil des Kindes und führen zu Konflikten mit (1) bis sie zugunsten der Identität gelöst werden

(3) Invarianz ist nicht abhängig vom Erwerb der Kompensation bzw. Inversion, obwohl dies eine mögliche Entwicklungslinie darstellt.

Vereinfachtes Entwicklungsmodell (a) (+) (b)



(10) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Acredolo (1981) K



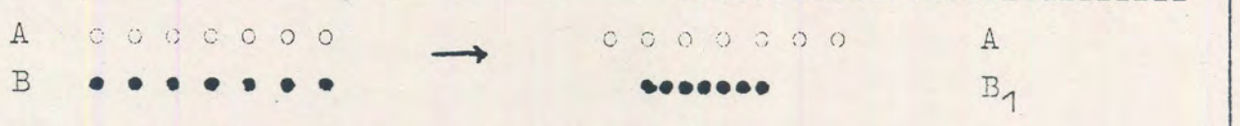

Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

(1) Abnahme in der Orientierung an der Wahrnehmung (perceptual-boundness); Wahrnehmungsreize dienen nicht mehr als Quantitätsreize

(2) Zunehmende Konzentration auf Quantitätsreize (Addition / Subtraktion / keine Veränderung)

(3) Erwerb der Inversion bzw. Kompensation als möglicher 2. Entwicklungsweg (in der Regel sind Inversion/Kompensation aber logische Rekonstruktionen, um Quantitätsurteil und Wahrnehmungsreize aufeinander abzustimmen).

(11) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz — Anderson & Cuneo (1978) — K




Entwicklungsdimensionen der Aufgabe:

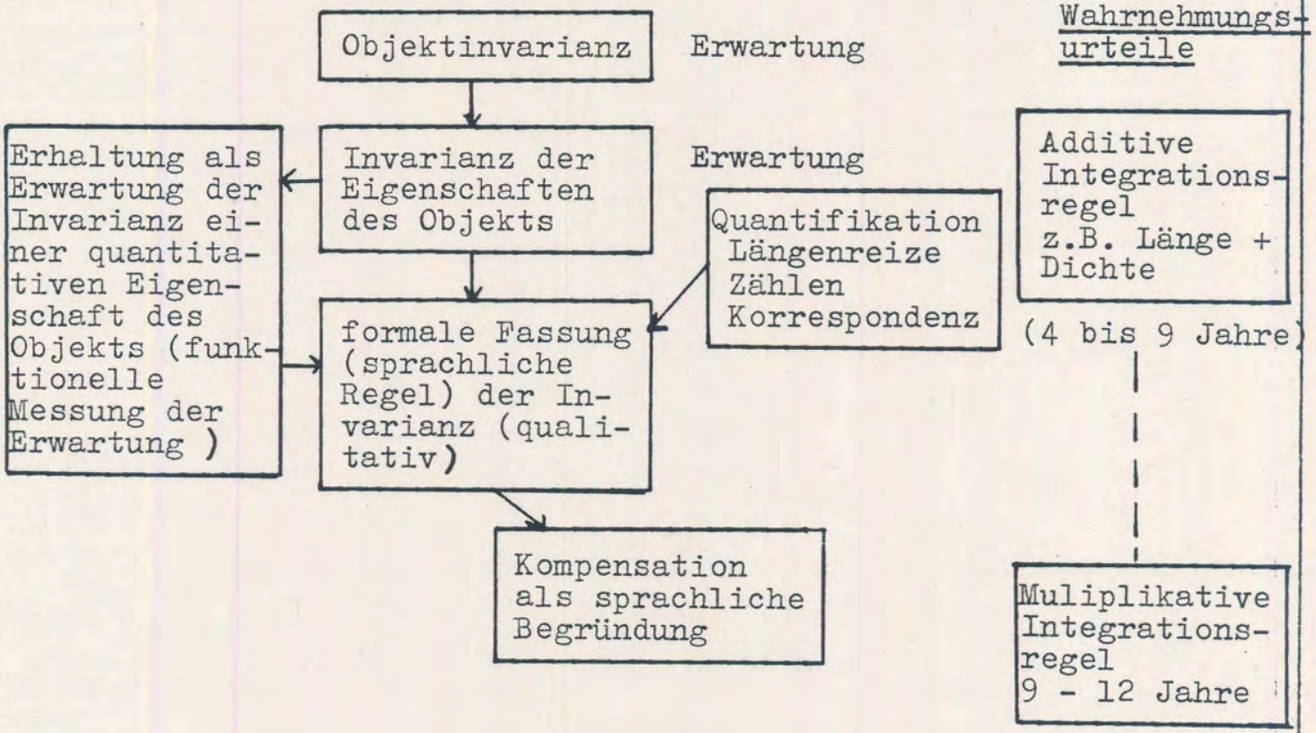
(1) die einfache Erwartung der Objektinvarianz (18 Monate) wird auf verschiedenartige Eigenschaften des Objekts übertragen ("Erwartung der Invarianz einer bestimmten Eigenschaft über verschiedene Transformationen", A & C, 1978, S.369)

(2) spezifische Erfahrungsmöglichkeiten mit dem jeweiligen Konzept (z.B. mit kleinen Mengen) z.B. allmähliches Abnehmen einer Menge

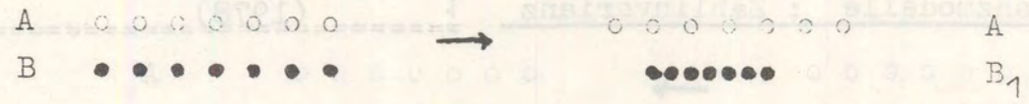
(3) sprachliche Formulierung der Invarianzerwartung: Invarianz als "operierende Idee" (op cit, S.370) qualitativer Art

(4) Kompensation ist eher eine Folge der Invarianz; Invarianz entsteht unabhängig von der Kompensation (op cit, S.374); multiplikative Integrationsregeln erwerben Kinder relativ spät (frühestens 8 - 10 Jahre bei Flüssigkeitsschätzungen)

vereinfachtes Entwicklungsmodell



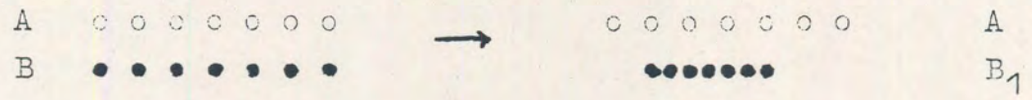
(11) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Anderson & Cuneo (1978) K




Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten):

- spezifische Erfahrungsmöglichkeiten mit speziellen Objekteigenschaften ergänzen die allgemeine Invarianzerwartung und führen das Kind dazu, die Invarianzidee (in qualitativer Form) zu formulieren
- das Kind lernt Quantifikationsprozesse / Wahrnehmungsreize einzuschätzen und sie von der (qualitativen) Invarianzidee zu trennen. Piagets "extensive Quantifikation" erhält hier eine untergeordnete Rolle.

(12) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Piaget, 1977, 1976 K



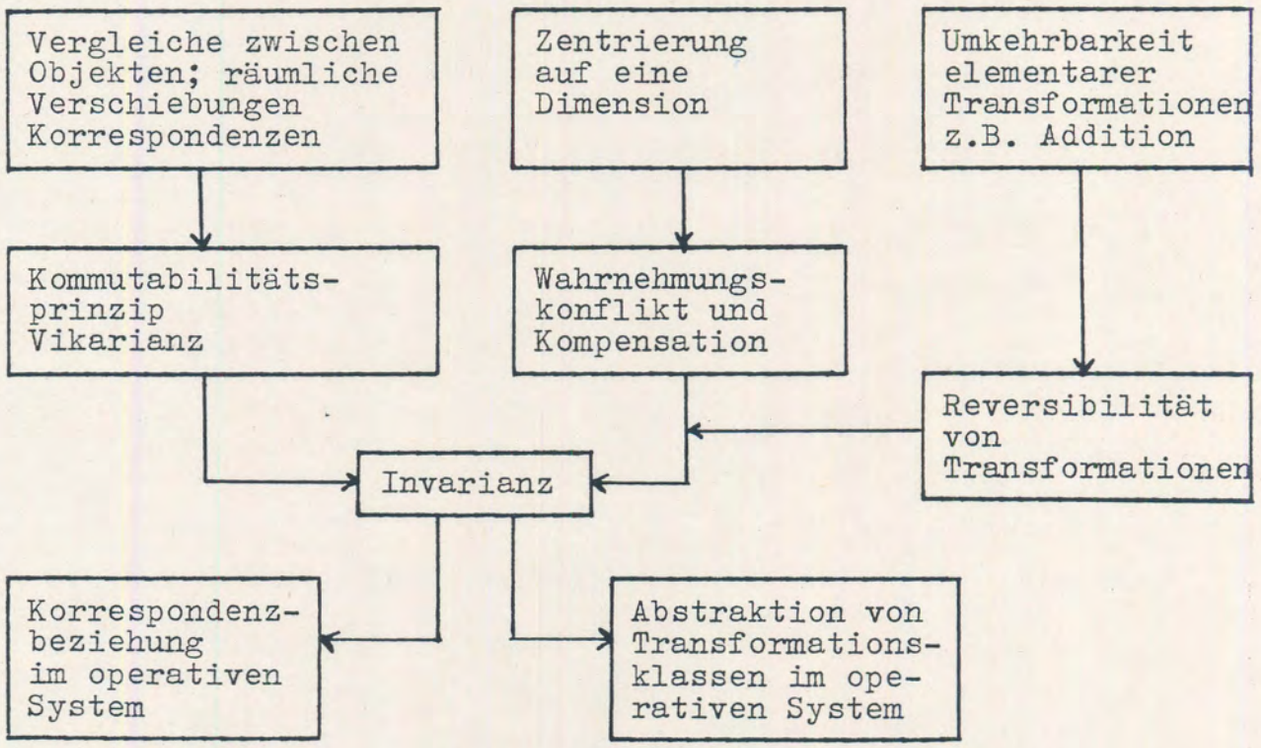

Enwicklungsdimensionen der Aufgabe:

(1) Verständnis für Korrespondenzen zwischen verschiedenen Vergleichszuständen eines Objekts (B ↔ $B_1$) über Verschiebung einzelner Bestandteile (Objekte) (vgl. Verständnis für Kommutabilität) und/oder durch numerische Quantifikation

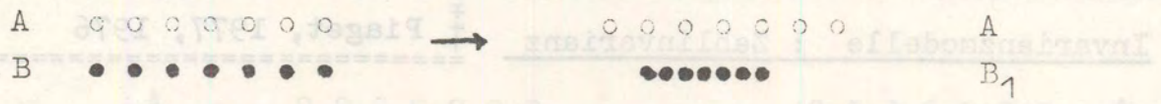
(2) Entwicklung und Organisation operationaler Systeme durch Verständnis der kompensatorischen und reversiblen Aspekte der Transformation

(3) Korrespondenzbeziehungen leiten sich schließlich aus den notwendigen Beziehungen innerhalb des operativen Systems ab.

vereinfachtes Entwicklungsmodell



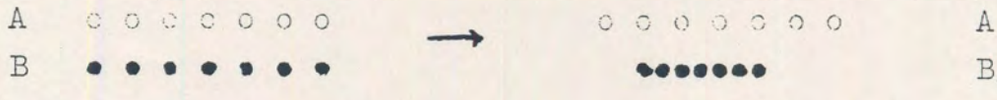
(12) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Piaget, 1977, 1976 K




Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten)

- Verständnis für Korrespondenzbeziehungen
- Wahrnehmungskonflikt und Ansätze zur Kompensation
- Reversibilität der Transformation wird erkannt
- Wechselwirkung: Korrespondenzsystem ⟷ operatives System.

(13) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Pinard, 1981 K




Komponenten der (Zahl)invarianz: (necessary components)

(1) Dissoziation der physikalischen Eigenschaften von Objekten
Unterscheidung der Eigenschaft, die erhalten bleibt von jenen Eigenschaften, die sich verändern (nicht erhalten bleiben).

(2) Bewußtheit der Handlungsschemata des Subjekts; drei interdependente Handlungsschemata als notwendige Bedingungen (das Wissen eines einzelnen Schematas ist keine hinreichende Bedingung für Invarianz).

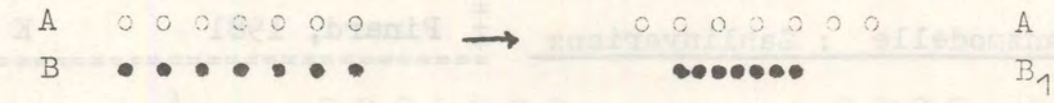
→ qualitative Identität von Objekten

→ Umkehrbarkeit gewisser Handlungen ('Revertibility')

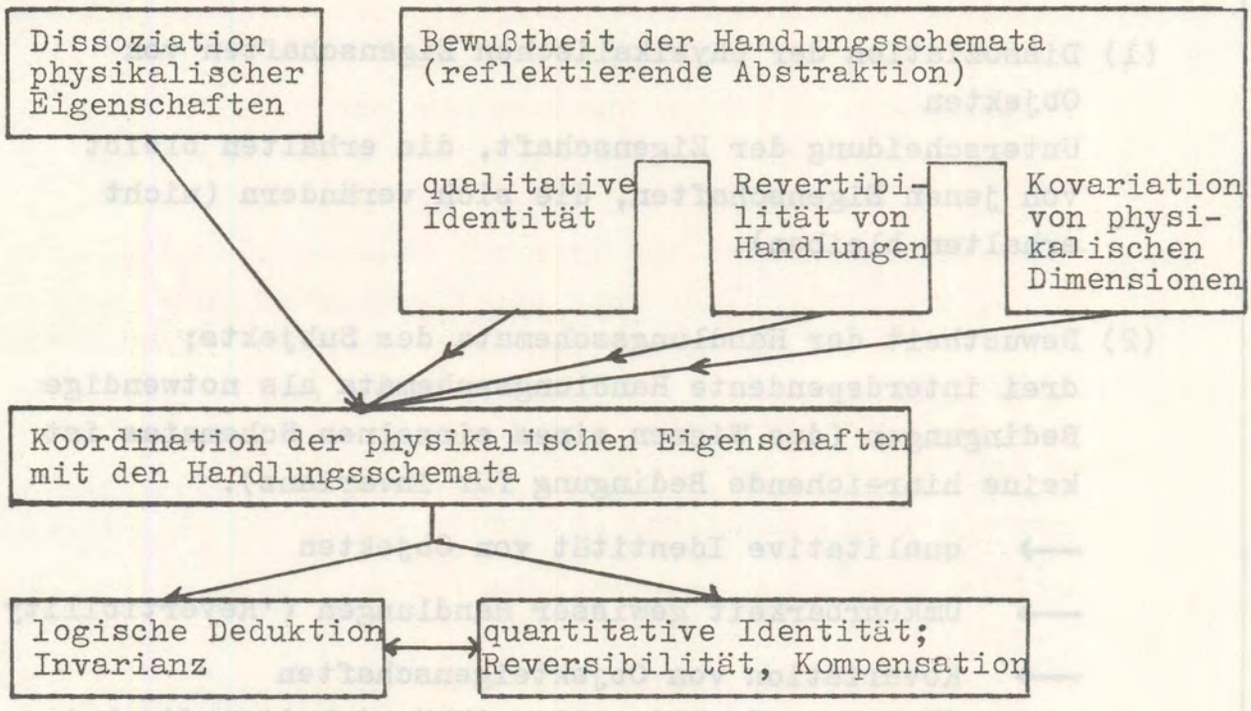
→ Kovariation von Objekteigenschaften
(Erkennen funktioneller Abhängigkeiten, die bei Handlungsfolgen zugrundeliegen; Addition/Subtraktion bei kovariierenden Schemata - negative Charakterstile einer Handlung)

(3) Koordination der physikalischen Eigenschaften eines Gegenstandes mit den Handlungsschemata des Subjekts
Transformation von Sukzessivität zur Simultaneität
(Übergänge qualitative → quantitative Identität; Revertibilität (d.h. Umkehrbarkeit) → Reversibilität; Kovariation → Kompensation)

(13) Invarianzmodelle : Zahlinvarianz ‡ Pinard, 1981 K




vereinfachtes Entwicklungsmodell




Trainingseffekte (Interpretationsmöglichkeiten):

Alle Trainingseffekte müssen sich in dem Übergang der physikalischen Interpretationen von Objekteigenschaften zu inneren logischen Handlungsmodellen widerspiegeln. Das Modell ist sehr restriktiv, da es die Bewußtheit dreier Klassen von Handlungsschemata annimmt. Daher müssen für den Erwerb des Invarianzbegriffs auch sehr konservative Kriterien verwendet werden.

## 3.3. Transformationsmodelle

### 3.3.1 Studien zur Löschung von Invarianzaufgaben und die Unterscheidung von logischen und empirischen Aspekten der Invarianzaufgabe

Welche Schwierigkeiten es macht, die Relevanz der Ergebnisse von Trainingsstudien einzustufen, verdeutlichen die Arbeiten, die untersucht haben, ob Invarianzbegriffe 'gelöscht' werden können. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird, während die Transformation vorgeführt wird (z.B. bei Aufgaben zur Gewichts- oder Mengeninvarianz), heimlich eine Manipulation vorgenommen (nämlich z.B. ein Stück Knet entfernt, so daß eine Kugel leichter ist oder durch einen doppelten Boden im Flüssigkeitsbehälter der Eindruck erzeugt, die Flüssigkeit sei mehr geworden). Prüft das Kind anschließend sein Invarianzurteil auf seine empirische Gültigkeit, so muß es in seinem Urteil unsicher werden.

Die klassische Studie zur 'Löschung' stammt von Smedslund (1961), der versucht hat, die Löschungsprozedur als diagnostisches Merkmal zur Differenzierung von trainierten "Erhaltern" und "natürlichen Erhaltern" zu verwenden. Bei 11 Kindern, die erfolgreich in der Gewichtsinvarianz trainiert wurden, führte die nachträgliche Manipulation dazu, daß sie ihr Invarianzurteil wieder in Frage stellten. Dagegen "widerstanden" 6 von 13 "natürlich" erhaltenden Kindern (die also spontan Gewichtsinvarianz erworben hatten).

Diese Beobachtung, natürlich erhaltende Kinder seien bei der Widerständigkeit des Urteils gegen Löschung überlegen, wurde von der weiteren Forschung aber nicht bestätigt. Die Arbeiten von Hall und seinen Mitarbeitern, die die große Anfälligkeit der Invarianzbegriffe gegenüber heimlichen Manipulationen zu zeigen versuchten, gingen so weit, zu behaupten, Invarianz bzw. Erhaltungsbegriffe würden auf der Grundlage "empirischer" Kontingenzen erworben und könnten daher gelöscht werden, wenn sich diese Kontingenzen ändern (Kingsley & Hall, 1967; Hall & Kingsley, 1968; Hall & Simpson, 1968).

Der Grad an "Widerstand gegen Löschung" variiert mit dem Alter, obwohl die Alterszuordnungen keine eindeutigen Ergebnisse liefern (Miller, Schwartz & Stewart, 1973; Miller, 1973; Miller & Lipps, 1973), denn auch College-Studenten zweifeln Invarianzurteile an, wenn sich widersprüchliche empirische Evidenzen ergeben (Hall & Kingsley, 1968). Die Löschung der Gewichtstransitivität erscheint schwieriger als die Löschung der Gewichtsinvarianz (Miller & Lipps, 1973), vermutlich weil der Grad an (erlebter) logischer Notwendigkeit sich bei beiden Aufgaben unterscheidet. Zugleich wirft man damit natürlich die Frage auf, wie man die empirische Sicherheit, die ein Kind empfindet, einschätzen kann, und wie die logische Notwendigkeit, die es annimmt, beobachtet werden kann, kurz: die Frage nach der empirischen und/oder logischen Grundlegung des Invarianzurteils.

Die relativ großen Unterschiede zwischen einigen Untersuchungen (zusammenfassend bei Miller, 1971) lassen sich vermutlich auf diagnostische Merkmale der entsprechenden Studien zurückführen. Neben dem Invarianzurteil ist die Erklärung des Kindes oder Jugendlichen stets als zentrale Informationsquelle verstanden worden, wobei die Erklärung bei älteren Kindern und Jugendlichen größeres Gewicht zugewiesen bekommt, da in ihnen oft Variationen physikalischer Gesetze angesprochen werden, die das ungewöhnliche Beobachtungsergebnis erklären soll. Ein Beispiel: die Nichtbestätigung der Gewichtsinvarianz auf der Waage wird nicht über die "Nichterhaltung" erklärt, sondern dadurch, daß die Kugel "anders" auf die Waage gelegt wurde, d.h. es wird ein Unterschied im Abstand zum Drehpunkt erwogen.

Schließlich haben Miller, Brownell & Zukier (1977) versucht, die Sicherheit zu erfassen, mit der Kinder im Alter zwischen acht und elf Jahren Invarianz- und Transitivitätsurteile abgeben. Die Löschungsprozedur beeinflußte die Sicherheit des Urteils erheblich (in negativer Richtung); Altersunterschiede waren hier aber nicht sehr deutlich. Es bleibt unklar, wie diese Daten zum eigentlichen Lösungsprozeß und zum Urteil des Kindes in Beziehung gesetzt werden können.

Shultz et al. (1979) führen die widersprüchlichen Ergebnisse der Löschungsstudien darauf zurück, daß die meisten Untersuchungen logische und empirische Aspekte des Erhaltungsproblems konfundiert haben. "Die Löschungsprozedur widerlegt eine logische Schlußfolgerung (Invarianz) mit einem empirischen Ergebnis (Nichterhaltung)" (Shultz et al, 1979, S.109). Elkinds Analyse der Identitäts- und Äquivalenzinvarianz erlaubt es, das Urteil des Kindes über die Transformation (A → A'. Identitätsinvarianz) von seiner deduktiven Schlußfolgerung, aufgrund derer es die Äquivalenz der beiden zu vergleichenden Mengen erschließt, zu trennen (Elkind, 1967) (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2 — Elkinds Analyse der Äquivalenzinvarianz (Elkind, 1967)

| | | |
|---|---|---|
| A = B | | Feststellen der anfänglichen Äquivalenz |
| A ⟶ A' | | Transformation (Erhaltung der Identität) |
| deduktive Schluß-folgerung | ∴ A' = B | Erhaltung der Äquivalenz |

Dieses Modell erlaubt es, empirische Aspekte des Erhaltungsproblems von logischen zu trennen (Shultz et al, 1979). Bei der Löschungsprozedur "konfrontiert der Vl. das Kind mit Evidenz der Nichterhaltung (A'≠B), die der logischen Folgerung direkt widerspricht (A'=B)" (Shultz et al, 1979, S.104). Ordnet man die Identitätsinvarianz eher dem empirischen Erfahrungspol zu (weitgehend bestimmt durch empirische Auseinandersetzung mit physikalischen Alltagserfahrungen) und Äquivalenzinvarianz einer eher logischen Auf-

gabenform (logische Schlußfolgerung aus vorgegebenen Prämissen), so wird auch die Frage der Reihenfolge der beiden Invarianzaufgaben neu bestimmt (S.A.Miller, 1978). Obwohl in einer spezifischen inhaltlichen Aufgabenform die Identitätserhaltung als Teilaspekt der Äquivalenzerhaltung erscheint (wie in Elkinds Modell), kann man erhebliche Variationen im Zeitpunkt des "empirischen Entdeckens (erwarten), welche spezifischen Transformationen welche spezifischen Substanzen ändern oder nicht ändern" (Shultz et al, 1979, S.105). Insofern könnte man starke Variationen auch in dem Zeitpunkt erwarten, wann Kinder eine bestimmte Identitätsoperation abstrahieren. Die deduktive Schlußfolgerung hingegen, die als Teilprozedur in der Äquivalenzaufgabe vorkommt, meistern Kinder vermutlich in einem enger umschriebenen Zeitraum ihrer Entwicklung. In der Regel wird man erwarten, daß Kinder mit 7-8 Jahren bei Kenntnis der Prämissen eine solche transitive Beziehung beherrschen.

Invarianzurteile leiten sich demnach aus einer "Kombination logischen und empirischen Wissens" ab. Empirisches Wissen gewinnt das Kind aus einer Vielzahl von Erfahrungen mit dem jeweiligen physikalischen Phänomen und dessen Umwandlungen; dieses Wissen schließt die Fähigkeit ein, zu klassifizieren, welche Transformationen eine gegebene Qualität ändern und welche nicht (Shultz et al, 1979, S.117). Diese Idee eines Identitätsoperators ist in ähnlicher Form in einer Reihe von theoretischen kognitiven Ansätzen enthalten (Pascual-Leone, 1976; Scandura & Scandura, 1980; Gelman & Gallistel, 1978; Siegler, 1981; Miller,S.A., 1980). Der Identitätsoperator bildet eine "zentrale Prämisse in dem deduktiven Argument, das zur Erhaltung der Äquivalenzfrage führt" (Shultz et al, 1979, S.117). Diese Folgerung - abgebildet in Elkinds Modell - ist eine logische, keine empirische Notwendigkeit. "Das wirkliche Rätsel über den Invarianzerwerb ist nicht wie die Personen dazu kommen, zu erhalten, sondern eher, was sie dazu führt, solche Transformationen, die eine Quantität ändern,

von jenen zu unterscheiden, die es nicht tun" (Shultz et al, 1979, S.120). Einen völlig identischen Gedankengang findet man bei Robert Siegler, dessen Arbeit später erwähnt wird.

Zur Demonstration ihrer theoretischen Formulierung haben Shultz et al (1979) zwei Experimente durchgeführt, die die Entwicklungsdivergenz zwischen Identitätsoperator und Äquivalenzurteil belegen sollen. Im ersten der beiden Experimente untersuchten sie den Vorgang der Sublimation, 48 Kinder aus der 5. Klasse nahmen teil, aufgeteilt in Trainingsgruppe ( $\bar{X}$ = 10; 2 Jahre ) und Kontrollgruppe ( $\bar{X}$ = 10; 4 Jahre ). Die Ergebnisse belegen, daß die Trainingsgruppe, die mit dem physikalischen Vorgang der Sublimation vertraut gemacht wurde und ihn deshalb auch auf die Größe der Oberfläche einer Flüssigkeit beziehen konnte, perfekte Vorhersagen bei Äquivalenzaufgaben machte, bei denen die Flüssigkeit für 24 Stunden offen stehen blieb. Die Autoren deuten diese Ergebnisse als Erwerb von Identitätsoperationen im Hinblick auf offene und verdeckte Flüssigkeiten, die der Sublimation unterliegen können. Unabhängig von dieser Operation ist die deduktive Schlußfolgerungsfähigkeit der Kinder schon vollständig ausgebildet.

Das zweite Experiment beschäftigt sich mit der Frage der Erhaltung der Fläche und des Umfangs bei geschlossenen Figuren. 64 Studenten, wieder zur Hälfte als Trainings- und als Kontrollgruppe, nahmen teil. Die Ergebnisse zeigen, daß Universitätsstudenten noch keine vollständige Identitätsoperation für Fläche und Umfang bei Formveränderungen haben.

Die Vorstellung, daß die Fähigkeit des Kindes, ausgeführte Transformationen nach ihrer Wirkung auf den jeweils betroffenen physikalischen Begriff einzuschätzen, für den Erwerb der Invarianzaufgabe eine zentrale Rolle zukommen muß, wird in einer Reihe von Modellen der Invarianzaufgabe aufgenommen, die in den letzten Jahren relativ unabhängig voneinander formuliert wurden. Zur Veranschaulichung wird nun das Transformationsmodell der Invarianz nach Siegler vorgestellt. Anschließend werden weitere Modelle summarisch erörtert und verglichen.

### 3.3.2. Transformationsmodelle der Invarianz: Robert Siegler

Sieglers Untersuchungen zur Entwicklung innerhalb der Konzeptbereiche der Zahlinvarianz und der Mengeninvarianz sowie zur Beziehung zwischen diesen Konzepten, - eingeordnet in sein Regelmodell -, führen ihn auf eine stärkere Betonung des Prozesses der Transformation beim Invarianzerwerb (Siegler,1981). Seine "Transformationstheorie" (transformational theory) der Invarianz geht von einer "schrittweisen Unterordnung von Wahrnehmungsstrategien unter transformative Strategien" aus (Siegler, 1981, S.50). Die vier Regelmodelle (vgl. nachfolgende Abbildung) versuchen diese abgestuften "Wissenszustände" beim Kind abzubilden (vgl. Siegler, 1981, S.50-55). Interessant ist, daß Siegler zwischen großen und kleineren (vier und weniger Elemente) Mengen bei der Zahlinvarianzaufgabe unterscheidet. Demnach wird sich das Kind der Konsequenzen verschiedener Transformationen zuerst bei kleineren Mengen bewußt, und es dehnt sein Wissen dann auf größeren Mengen aus. Deutet das Kind die Veränderungen in der Zahlinvarianzaufgabe anhand der vorgenommenen Transformationen (Addition; Subtraktion; räumliche Verschiebungen, die quantitativ relevant sind), hat es ein systematisches Verständnis der Aufgabe erreicht. Das Verständnis des Konzepts wird vervollständigt, wenn das Kind weiß, daß zwischen vorgenommener Transformation und Mengenänderung eine notwendige Beziehung besteht. Das bedeutet im Grunde: das Kind kann auch ohne anschauliche Vorführung der Aufgabe die Konsequenz einer Transformation für den Vergleich zwischen Mengen beurteilen. Haben Kinder die Bedeutung der Transformation bei der Zahlinvarianz begriffen, weiten sie sie auch auf andere physikalische Konzepte aus (z.B. Mengeninvarianz) (Siegler, 1981, Experiment 3).

Sieglers empirische Ergebnisse sind nicht völlig in Übereinstimmung mit dem Regelmodell der Zahlinvarianz. Obwohl er in der ersten Untersuchung Übergangsregeln beobachten kann (Regel II und insbesondere Regel III! Siegler, 1981, Experiment 3), findet er keine solchen Regeln in einem zusätzlich durchge-

Abbildung 3. Regelmodelle nach Siegler (1981)

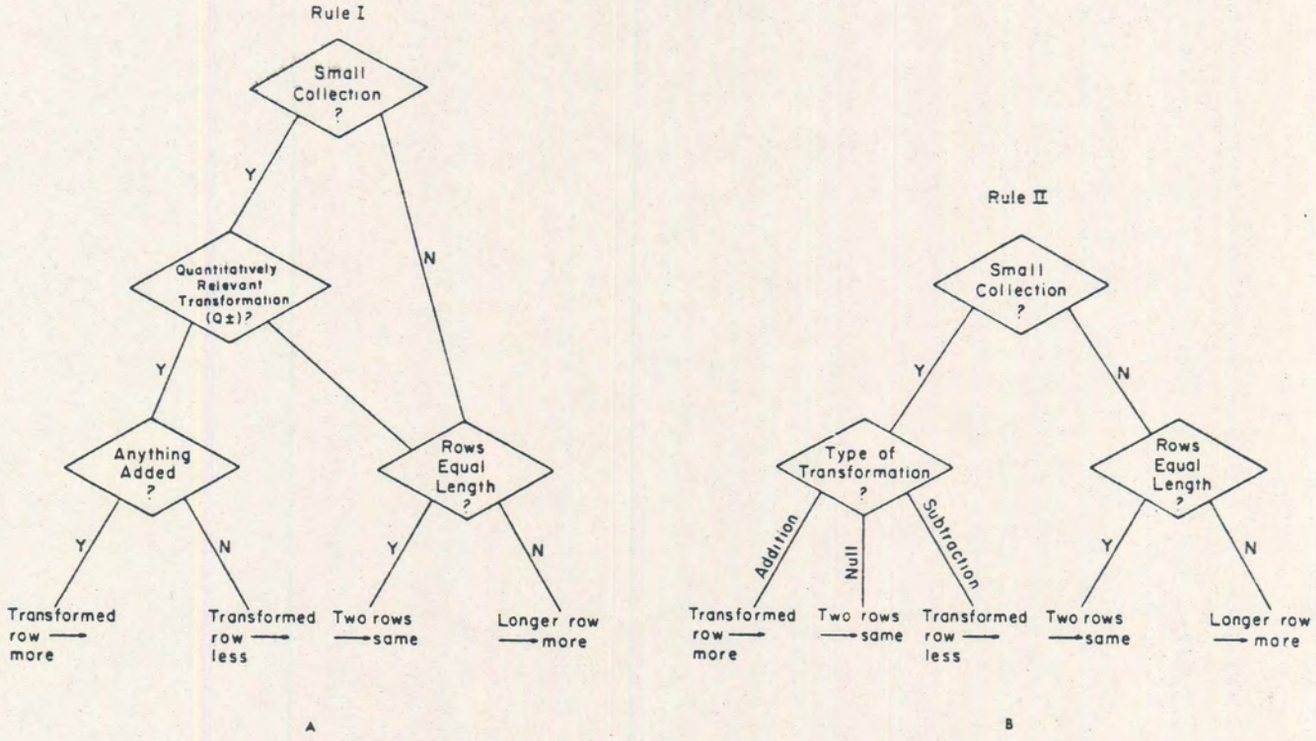



FIGURE 9.—Revised rule models on number conservation task

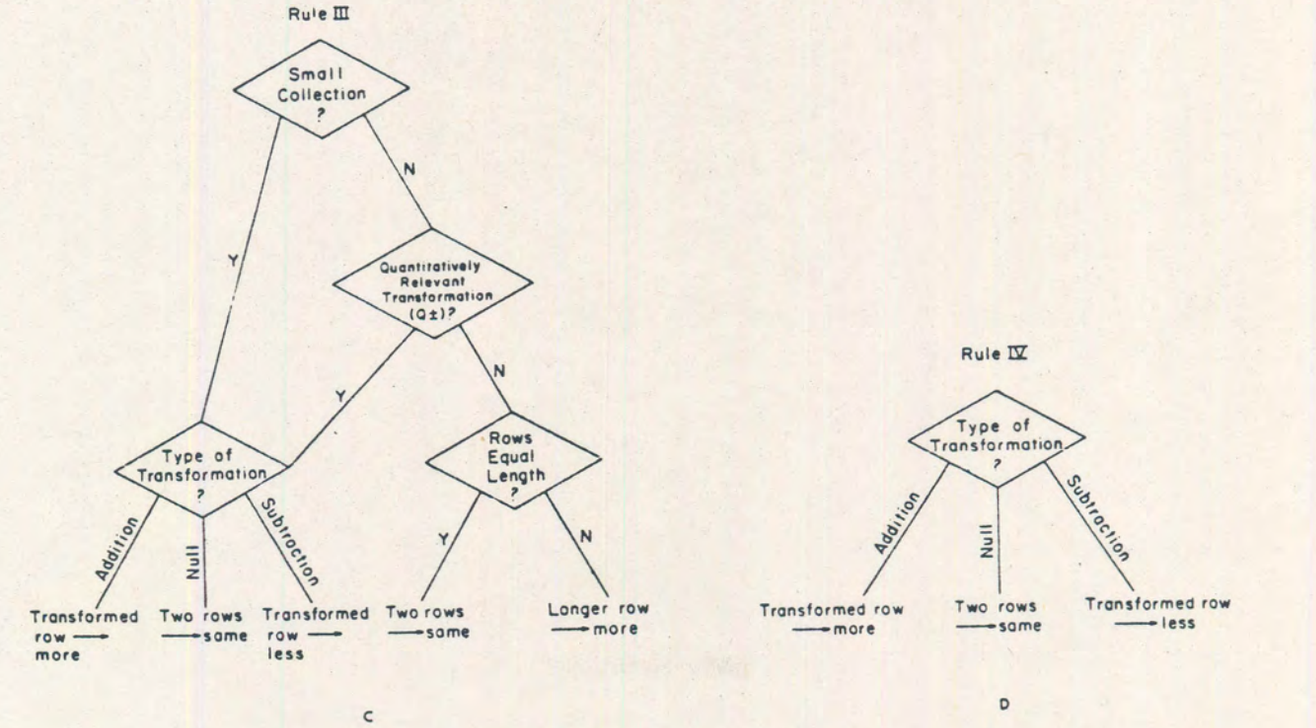



FIGURE 9.—*Continued*

führten Experiment (Experiment 4). Weitere Beobachtungen an 20 Kindern im Kindergartenalter (Siegler, 1981, S.51) führen zu der Vermutung, daß Regel III' zwar beobachtbar ist (es geht hier um deutliche Urteilsunterschiede zwischen großen und kleinen Mengen), daß aber diese "Wissensstufe" eher unstabil ist, weil das Kind seine Urteile bei kleineren Mengen relativ bald auf sein Verständnis größerer Mengen ausweitet (s. auch Winer, 1974; Silverman & Briga, 1981).

Eine Besonderheit der Zahlinvarianz ist es schließlich, daß das Kind über Strategien verfügt, um die beteiligten Mengen zu vergleichen (nämlich Zählen und Korrespondenz), während bei anderen Invarianzaufgaben solche "Meßstrategien" sich nicht unmittelbar anbieten, z.B. bei der Längeninvarianz oder der Mengeninvarianz. Selbst Erwachsene haben Schwierigkeiten, Mengen in der Flüssigkeitsinvarianzaufgabe nach quantitativen Kriterien abzuschätzen und zu vergleichen (vgl. die Untersuchung Sieglers, die in seiner Einleitung zum Experiment 3 erwähnt wird). Im Grunde sind "Informationen über die physikalische Dimension des Invarianzproblems weder notwendig noch hinreichend" für deren logisches Verständnis. Dagegen: "Information über die Art der Transformation (in Verbindung mit Wissen über die anfängliche Gleichheits- oder Ungleichheitsbeziehung) ist sicherlich hinreichend und mag oft notwendig für erfolgreiche Lösungen sein" (Siegler, 1981, S.37). Ähnlich wie Pascual-Leone (1976; Pascual-Leone et al, 1978) und Scandura & Scandura (1980) ist für Siegler demnach entscheidend für das Verständnis der Invarianz, daß es dem Kind gelingt, Transformationen danach einzuordnen, ob sie die betroffene physikalische Dimension (z.B. Länge, Flüssigkeitsmenge, Gewicht, Volumen, aber auch Zahl) verändern oder nicht. Die Bedeutung der Transformation kann man seiner Ansicht nach besser herausarbeiten, wenn man die Entwicklungsveränderungen innerhalb eines Konzepts detailliert beschreibt ('within concept developmental sequences'), um zu versuchen, aufeinander aufbauende Wissensebenen zu isolieren und so herauszufin-

den, wie das Kind sein Wissen über Transformationen allmählich in die Lösung der Aufgabe einbettet. Überraschend bleibt, daß Siegler keine Übergangsregeln findet, die das allmähliche Fortschreiten von Wahrnehmungsurteilen zu Transformationsurteilen wiedergeben. Er deutet dies damit, daß das Kind anfänglich unsicher sei, wie es die Wirkungen von Transformationen in seinem Urteil verwenden kann; erst nachdem es die Bedeutung der Transformation bei der Zahlinvarianzaufgabe eindeutig einstufen kann (da es auch empirische Strategien zum Vergleichen und Prüfen kennt),überträgt es sein Wissen auf andere Invarianzaufgaben (Siegler, 1981, S.54). Sieglers Deutung ist schon deshalb reizvoll, weil sie zum erstenmal funktionelle Beziehungen zwischen verschiedenen Konzepten der konkreten Operationen formuliert.

Als Ergänzung zu dieser Interpretation soll kurz die Arbeit von Silverman & Briga (1981) erwähnt werden. Es ist bekannt, daß Kinder mit 4 Jahren bereits ein beginnendes Verständnis der Zahlinvarianz zeigen, wenn man ihnen relativ kleine Vergleichsmengen vorlegt (kleiner oder gleich 4), obwohl unklar ist, welche kognitiven Mechanismen diesem Lösungsverhalten zugrundeliegen (Abschätzen des Kindes, quantitativer Vergleich durch Abzählen) (vgl. Winer, 1974, Cowen, 1979). Silverman & Briga (1981) führen eine einfallsreiche Variante der Zahlinvarianzaufgabe ein, um zu prüfen, wie dreijährige Kinder Zahlinvarianzaufgaben verstehen. Anordnungen mit zwei bzw. drei Elementen dienen als Vergleichsmengen. Nachdem eine der beiden Reihen sichtbar räumlich verändert wurde (z.B. Auseinanderziehen), werden entweder ein oder zwei Elemente in der Reihe mit mehr Steinen zugedeckt. Bei einem verdeckten Element ist der Anteil korrekter Urteile von Dreijährigen erkennbar oberhalb des Zufallswertes; die Autoren vermuten, daß das Kind die halbverdeckte Reihe zu quantifizieren sucht, indem es die nicht verdeckten Elemente und das eine verdeckte Element zusammenzählt (addiert). Andererseits gelingt es den Kindern nicht, die größere Menge richtig zu wählen, wenn zwei Elemente zugedeckt werden; dies übersteigt offenbar die Fähigkeit des Kindes, einfache Operationen an kleinen Mengen vorzunehmen (vgl. Gelman & Gallistel, 1978). Für Silverman und Briga (1981) heißt dies zugleich: Dreijährige Kinder haben noch kein Verständnis für das logische Prinzip der Zahlinvarianz.

### 3.3.3. Transformationsmodelle der Invarianz: vergleichende Übersicht

Die Klassifikation der Modelle kann sich an dem Grad der Betonung orientieren, die entweder auf die Kompensationsbeziehung zwischen den beteiligten räumlichen Dimensionen (in diesem Bsp. Länge und Dichte) oder auf die Bedeutung der durchgeführten Transformation gelegt wird. Im ersten Fall handelt es sich um Modelle, die Piagets erste Interpretation der Invarianz (Piaget, 1978) variieren: dazu gehören die vier Modelle von Peill (1975), in denen der Wahrnehmungskompensation und/oder der logischen Kompensation eine große Bedeutung zugewiesen wird (vgl. Peill, 1975, für eine ausführliche Darstellung und Einordnung der Theorien in die amerikanischen Arbeiten der letzten 15 Jahre). In diesen Modellen wird auch ein weiteres Kriterium verwendet, das der operationalen Kompensation gleichgestellt wird, z.T. sogar als das eigentliche Kriterium der Invarianz verstanden wird: das NAS-Kriterium (d.h. Addition/Subtraktion). In diesem Kriterium spricht Peill (1975) an, was in der zweiten Gruppe von Transformationsmodellen den Kern des Invarianzwissens ausmachen soll: daß nämlich das Kind im Vorschulalter lernt, Klassen zu bilden, die die (relative) Wirkung der durchgeführten Transformation ordnen. Das NAS-Kriterium ist eine Umformulierung des Additions-Subtraktions-Gesichtspunktes: wenn bei der Transformation nichts hinzugefügt wurde oder weggenommen wurde, dann ist die physikalische Dimension und/oder die logisch-mathematische Relation gleichgeblieben.

Diese Unterscheidung zwischen quantitätsverändernden und quantitätserhaltenden Transformationen ist in den Modellen von Pascual-Leone, Scandura & Scandura, Siegler, und Shultz et al. das identifizierende Charakteristikum der Invarianz: eingeordnet in den Problemlösungszusammenhang der Aufgabe (die ein bestimmtes inhaltliches Vorwissen und ein begrenztes

Gedächtnis an beteiligten Dimensionen erfordert) spricht diese Klassifikation auch an, was das Kind im Laufe des Vorschulalters zunehmend beachten lernt: es gibt eine Reihe von Transformationen, die verschiedenartige Wirkungen auf ein Merkmal haben können. Isoliert das Kind das betreffende Merkmal, etwa die numerische Quantität wie in unserem Beispiel, und ordnet es die Wirkungen der räumlichen und physikalischen Veränderungen auf diesen Aspekt, gewinnt es Zugang zum Prinzip der Erhaltung.

Es ist ganz interessant, kurz die Unterschiede zwischen den genannten Transformationsmodellen darzulegen.

Pascual-Leone nennt in seinem Identitäts-Reversibilitätsmodell drei semantische Dimensionen, aus denen das Kind das Invarianzurteil ableiten kann: die Vergleiche zwischen den Ausgangsmengen, die Einordnung der durchgeführten Transformation und die Anwendung der Äquivalenzklassen von Transformationen, die die Differenzierung zwischen quantitätserhaltenden und quantitätsverändernden Dimensionen und Transformationen einschließt. Das gleichzeitige Behalten der drei Dimensionen erfordert, daß das Kind in seinem Arbeitsgedächtnis drei unabhängige Aspekte der Aufgabenstrategie aufbewahrt. Der Klassifikationsoperator bildet sich als Folge eines längeren Abstraktionsprozesses im Laufe des Vorschulalters aufgrund der (empirischen) Erfahrungen des Kindes mit verschiedenartigen Dimensionen. Man sieht hier, daß die zentrale Dimension der Aufgabe durch eine empirische Abstraktion im Sinne Piagets gewonnen wird (dazu etwa Vuyk, 1981, Band 1). In Pascual-Leones Modell wird im Sinne der Informationsverarbeitungstheorien die zeitliche Genese der Problemlösung verdeutlicht, gleichsam eine Aktualgenese im Augenblick der Aufgabenstellung. Es kann natürlich nicht leugnen, daß die beteiligten semantischen Dimensionen im Laufe eines zeitlich ausgedehnten Entwicklungsprozesses entstehen, dies kann man besonders für den Klassifikationsoperator der Transformationen annehmen. Das Modell beschäftigt sich mit diesem konstruktiven Aspekt der zeitlichen Genese aber nur indirekt.

Diese zeitliche Genese rückt dagegen bei Scandura und Scandura (1980) durch die Art der Formulierung der Transformationsregeln in den Vordergrund. Scandura unterscheidet nämlich zwischen nicht automatisierten Transformationsregeln, die relativ lokalisierte bzw. spezifische Formulierungen der Wirkungen der Transformationen erhalten. Davon abgehoben sind antizipierende Transformationsregeln, die durch ihre Automatisierung und ihre breitere Gültigkeit für das Kind bei einer größeren Zahl von Erhaltungsaufgaben Verwendung finden können. Diese antizipierenden Regeln werden aus elementaren Transformationsregeln zusammengefügt. Ähnlich differenziert die Theorie Regeln nach ihrer relativen Abstraktheit: Regeln höherer Ordnung umfassen offenbar eine größere Zahl von Variationen von Teilregeln, und sie gelten für einen größeren Bereich von Aufgabenstellungen. (Scanduras strukturale Lerntheorie kann hier natürlich nicht näher erörtert werden, vgl. Scandura, 1978). Die Transformationsregeln unterscheiden, wie das zuvor erwähnte Modell zwischen quantitätserhaltenden und quantitätsverändernden Transformationen. Nicht vergessen werden darf, daß die empirische Grundlage der Transformationsregeln die Konzeptvergleichsregeln des Kindes sind, die im Bereich des Zahlbegriffs natürlich besonders variabel gestaltet sind. Erfahrungen mit physikalischen Anordnungen, deren Quantität durch Konzeptvergleichsregeln überprüft wird, bilden offenbar die Grundlage des Abstraktionsprozesses, der das Kind allmählich Teilregeln der Transformation (wie die NAS-Regel, s.o.) und schließlich abstraktere Regeln der Wirkungen von Transformationen formulieren läßt.

Bei Murray (1978) tritt die Transformation wieder etwas in den Hintergrund. Murray setzt das Invarianzurteil aus vier Prämissen zusammen, aus den Prämissen leitet das Kind in einem deduktiven Urteil die Invarianzbeziehung ab. An dritter Stelle findet sich als Prämisse die Einschätzung der Gleichheit der Mengen vor und nach der Transformation, und hier

fließt das Wissen des Kindes über die Bedeutung oder Wirkung der jeweils vorgeführten Transformation ein. Dieses Modell soll nicht näher erläutert werden, weil die schematische Darstellung relativ übersichtlich ist.

Das Regelmodell von Siegler beschreibt Transformationsregeln als Ordnungssysteme, die das Kind verwendet, um die beobachtete Wirkung auf die physikalische Anordnung einzustufen. Interessant ist, daß Siegler, um dem Aspekt der Genese solcher Transformationsregeln gerecht zu werden, Teilregeln formuliert, die nur einem spezifischen Aufgabenraum zugeordnet sind: etwa nur die Gültigkeit einer Transformationsregel bei kleinen Mengen betrachtet, wobei zusätzlich miteinbezogen wird, in welcher Beziehung Wahrnehmungsurteil und Transformationsurteil stehen: disjunkt, ergänzend oder sich in manchen Anordnungen gegenseitig aufhebend. Die Ausweitungen des Wissens von kleineren Mengen auf größere bezieht indirekt mit ein, daß das Kind Wissen über die Wirkung von Transformationen durch Konzeptvergleichsregeln gewinnt: das heißt, das Kind vergleicht den Zustand einer Anordnung vor und nach der Transformation und bewertet danach die Transformation, zugleich generalisiert es auch aus diesen Erfahrungen auf die relative Gültigkeit allgemeiner Wirkungen von Transformationen. Das Modell wird an anderer Stelle ausführlicher dargestellt.

Schließlich ist in dem Modell von Shultz et al, 1979, die Bildung von Transformationsklassen ebenfalls ein entscheidendes Moment des Invarianzurteils. Aus dem empirischen Beobachten und Entdecken spezifischer Wirkungen von Transformationen gewinnt das Kind - ähnlich wie es Siegler formuliert - Klassen von Transformationen: nämlich solche, die die Identität der angesprochenen physikalischen bzw. mathematischen Dimension erhalten (also die Zahl) und solche, die eine Addition oder Subtraktion einschließen. Aus den Teilprämissen der Aufgaben und dem Wissen um die Transformationsklassen leitet das Kind sein Invarianzurteil ab.

## 3.4 Kompensation, Identität und Reversibilität: Logische Handlungsschemata als Grundlage des Invarianzerwerbs

In Piagets traditionellem Modell der Invarianz wird der Erwerb operationaler Strukturen mit dem Invarianzbegriff identifiziert. Piagets eigene Erklärungen der Invarianz zeigen eine gewisse Variabilität und Unbestimmtheit, die mit Erweiterungen in seiner theoretischen Position zusammenhängen. Piagets Verständnis der operationalen Struktur rückt für die Invarianz zwei Prinzipien in den Vordergrund: das erste ist das der Kompensation, das zweite jenes der Inversion. Es werden zwei Reversibilitätsregeln aufgestellt, die sozusagen die "logischen Organisationsregeln" (Brainerd, 1979, S.99) des operativen Systems repräsentieren.

Inversion oder Negation bezeichnet dabei, was im engeren Sinne als 'Reversibilität' definiert wurde: das Kind kann auf geistiger Ebene die Umkehrung einer Operation vornehmen, "eine Operation, die in eine Richtung ausgeführt wurde, kann immer auch in die umgekehrte Richtung vorgenommen werden". (Brainerd, 1979, S.98). Anhand der Reversibilität kann das Kind die Transformation, die vom Versuchsleiter durchgeführt wurde, in ihrer Wirkung einschätzen. Kompensation oder Reziprozität ('reciprocity reversibility' nach Brainerd,1979) beschreibt die Fähigkeit des Kindes, zu einer geistigen Operation eine ergänzende Operation vorzunehmen, die die erste aufhebt. Kompensationsregeln werden bei den traditionellen Invarianzaufgaben stets mit den räumlichen Dimensionen, die für die Bewertung der relevanten physikalischen Dimension in Betracht kommen (so etwa Länge und Breite), in Beziehung gebracht. "Geistige Operationen werden (demnach) negiert durch Inversionsreversibilität und sie werden kompensiert durch Reziprozitätsreversibilität" (Brainerd, 1979, S.98). Es geht bei Piagets Deutung um den Erwerb eines umfassenden operativen Systems, das den konkreten Operationen und speziell einer

spezifischen Invarianzaufgabe zugrunde liegt, wobei die einzelnen Komponenten, die in der amerikanischen Forschung Beachtung finden (Reversibilität und Kompensation), sozusagen nur Indikatoren dieses umfassenden Systems sind.

Im Kontext seiner Äquilibrationstheorie versucht Piaget auch den Konstruktionsprozeß des Kindes von den Stadien I (präoperationales Stadium) bis IV (operationales Stadium) (zur Beschreibung der Stadien, vgl. Piaget, 1976, S.112-114) zu deuten. Besonderes Augenmerk legt er dabei auf den Übergang des Kindes von den "prädikativen und in diesem Sinne statischen Vergleiche(n) zwischen dem Anfangs- und Endzustand" zu "Folgerungen über die Transformationen als solche mit relationellen Schätzungen" (Piaget, 1976, S.114). Welche Einflüsse führen nun das Kind dazu, nicht mehr die verschiedenen Zustände zu vergleichen, sondern "die Veränderungen des Gegenstandes" als einen Prozeß mit spezifischer Kontinuität zu betrachten? Piaget nennt drei Regulierungen, die das Kind aufgrund seiner Rückmeldung aus Handlungen mit dem Gegenstand gewinnt.

Erstens, ein Ergebnis dieser Regulierungen ist das Verständnis des Kindes für die Kommutabilität, die "Erhaltung der Summe der Teile trotz einer Veränderung ihrer Lage" (Piaget, 1976, S.114). Anschaulich gesprochen versteht das Kind gewisse Transformationen als Verschiebung einzelner Teile von Gegenständen. Piaget beschreibt qualitative Sprünge in der Ausbildung dieses Prinzips. Das zweite Ergebnis der Regulierungen ist die sogenannte "Vikarianz": mit ihr versteht das Kind, "daß immer die gleiche Menge herauskommt, in welche Teilmengen man sie auch zerlegt und wie man sie auch räumlich anordnet". Kommutabilität, die sich auf die Identität der verschobenen Teile, und Vikarianz, die sich auf das Zusammenfügen der Teile zum Ganzen konzentrieren, ergänzen einander (Piaget, 1976, S.115). Schließ-

lich ist das dritte Resultat der Regulierungen die Kompensation, wie sie bei Piaget schon in früheren Modellen verwendet wurde.

Piaget sucht anschaulich zu machen, wie verschiedenartige Störungen dieser Regulierungen zu Kompensationen im Denken des Kindes führen, deren Ziel es ist, die Störungen aufzuheben. Das Ergebnis dieser Kompensationen ist am Ende die Ausbildung einer operativen Struktur, deren "grundlegende Operationen ... die Identität ($\pm$ O) und die Reversibilität $T.T^{-1} = O$ " sind, Operationen, die "die vollständige Kompensation der Negationen und der Affirmationen beinhalten" (Piaget, 1976, S.117/118). In diesem Sinne versteht Piaget "die Kommutabilität, die Vikarianz und die Kompensation der Relationen nach (+) und (-)" als "Resultanten regulierender Mechanismen ..., die zu den ... (operativen) Strukturen führen" (op.cit., S.118).

Die Kompensation wurde in einer Reihe von Modellen der Invarianzaufgabe aufgegriffen. Die Kontroverse zwischen Bruner (1966) und Piaget (1967) spielt dabei eine wichtige Rolle. Bruners Beobachtungen, daß das Kind Flüssigkeitsinvarianz versteht, wenn man den Behälter, in den die Flüssigkeit umgegossen wird, mit einer Trennwand zudeckt, begegnet Piaget mit dem Argument, man müsse zwischen der Kovariation von Dimensionen und der Kompensation unterscheiden, wobei erstere dem unmittelbaren Wahrnehmungsurteil des Kindes zugänglich ist, während das letztere ein operatives Konzept darstellt (Piaget, 1967, S.532).

Die verschiedenartigen Fassungen des Kompensationsmodells hat Peill (1975) systematisch erarbeitet, so daß sie hier kurz zusammengefaßt werden können. Im einfachsten Modell nach Peill (1975, Modell 1) wird die Brunersche These aufgegriffen, das Invarianzurteil komme zustande, wenn das Kind

den Konflikt zwischen dem Wahrnehmungsurteil und der durchgeführten Transformation löst. Während das Wahrnehmungsurteil beim jüngeren Kind auf einzelnen Dimensionen gründet (z.B. die Länge der Reihe in der Invarianzaufgabe) und auf ikonischer Ebene bleibt, erwirbt das Kind mit seinem zunehmenden Verständnis der Wirkungen verschiedenartiger Transformationen das sogenannte NAS-Kriterium ('nothing added or subtracted'), mit dem es auf symbolischer Ebene eine Korrektur des irreführenden Wahrnehmungsurteils vornehmen kann und so die Invarianzaufgabe erfolgreich lösen kann.

Im zweiten Modell, das Peill (1975, Modell 2) diskutiert, wird auf der Wahrnehmungsebene ein Konflikt zwischen verschiedenen Dimensionen angenommen. Gründet das Kind sein Urteil in einer Zahlinvarianzaufgabe nach der Transformation einmal auf die Länge der Reihe und ein anderes Mal auf die Dichte der Reihe, so kommt es zwischen seinen Wahrnehmungsurteilen zu Konflikten. In diesem Modell wird nun nicht angenommen, daß das Kind eine Kompensation erreicht, wie es Piaget auf logischer Ebene postuliert hat. Vielmehr führt der Konflikt innerhalb der Wahrnehmung dazu, daß das Kind Zweifel an seinen Wahrnehmungsurteilen über die Reizanordnung hat, und sobald es das NAS-Kriterium aufgrund seiner Kenntnis der Transformationen erworben hat, geht es auf dieses Kriterium bei der Bewertung der Invarianzaufgabe über.

Im dritten Modell von Peill (1975) wird angenommen, daß das Kind als Antwort auf die widersprüchlichen Urteile aufgrund seiner Wahrnehmung nicht nur auf das erfolgreichere NAS-Kriterium übergeht, sondern daß es auch auf logischer Ebene die Relationen auf der Wahrnehmungsebene rekonstruiert: das Kind interpretiert die beiden Dimensionen, als würden sie einander kompensieren (operationale Kompensation). Beide

Aspekte operationalen Wissens tragen zur erlebten 'logischen Notwendigkeit' des Invarianzurteils bei. Dieses Modell ist Piagets Deutung des Invarianzerwerbs relativ ähnlich, wobei in seinem Modell die Verbindung zwischen NAS-Kriterium (entspräche dort der Reversibilität) und der Kompensation (entspräche der Reziprozitäts-Reversibilität) über die operationale Struktur geknüpft ist. In Peills Modell wird nicht eindeutig entschieden, welche notwendige bzw. konstitutive Beziehung zwischen der operationalen Kompensation und dem NAS-Kriterium als Indikator für die durchgeführte Transformation besteht.

Schließlich wird im vierten Modell nach Peill (1975) die Kompensationsbeziehung als eine Voraussetzung des NAS-Kriteriums analysiert. Erkennt das Kind die Widersprüche im Wahrnehmungsurteil, wenn es auf einer einzelnen Dimension aufbaut, so koordiniert es beide Dimensionen aufgrund ihrer funktionellen Beziehung. Die Menge wird vom Kind dann aufgrund der Wahrnehmungskompensation der beteiligten Dimensionen (z.B. Länge der Reihe und Dichte der Steine innerhalb der Reihe) abgeschätzt. Im Sinne von Anderson und Cuneo (1978) wendet das Kind also Integrationsregeln an, um die beiden Dimensionen zu einem quantitativen (Schätz-) Urteil zu verbinden. Das NAS-Kriterium leitet sich dann aus der Klassifikation des Kindes ab, welche Transformationen aufgrund seines Wahrnehmungsurteils die Anzahl verändern und welche nicht. Das NAS-Kriterium führt zu einem notwendigen Invarianzurteil, wenn das Verständnis des Kindes für Reversibilität noch hinzutritt.

Alle vier Modelle gehen also davon aus, daß das Kind die Fehldeutungen, die seinem Wahrnehmungsurteil bzw. die Widersprüche innewohnen, überwindet, indem es auf eine höhere (geistige) Ebene übergeht, entweder indem es die Transformationen nach ihrer Wirkung einschätzt (NAS-Kriterium) oder

indem es die Kompensation auf operationaler Ebene zustande bringt. Das NAS-Kriterium verbindet diese Modelle auch mit den Transformationsmodellen.

Anderson und Cuneo (1978) haben explizit die Integrationsregeln untersucht, die das Kind bei seinen Wahrnehmungsurteilen anwendet. Dabei haben sie beobachtet, daß Kinder bis ins Alter von acht und neun Jahren einer additiven Integrationsregel (d.h. z.B. Länge und Dichte additiv zusammenfügen) und erst zwischen 9 und 12 Jahren einer multiplikativen Integrationsregel folgen, die der logischen Kompensation im Sinne Piagets bzw. seiner Definition der intensiven Quantifikation entsprechen würde. Da die Kompensation als Bedingungsfaktor der Invarianz für Anderson und Cuneo wegfällt, formulieren sie ein alternatives Modell des Invarianzerwerbs, indem sie den spezifischen Erfahrungen des Kindes im Umgang mit dem jeweiligen Konzept eine wichtige Rolle zuweisen, die in Verbindung mit der Invarianzerwartung des Kindes (d.h. der Erwartung, daß - ähnlich wie beim Objektkonzept - bestimmte Eigenschaften unverändert bleiben) zur sprachlichen Formulierung der Invarianzregel führen : die Invarianz ist für sie eine "operierende Idee" qualitativer Art, die auf verschiedenartige qualitative und quantitative Eigenschaften des Objekts Anwendung findet. Die Kompensation im Sinne Piagets, die in der Erklärung des Kindes angesprochen wird, und schließlich die Anwendung systematischer multiplikativer Integrationsregel im Wahrnehmungsurteil sind eher Folgeerscheinungen dieser 'operierenden Idee' der Invarianz. Piagets Begriff der extensiven Quantifikation wird hier also vernachlässigt: dabei handelt es sich nämlich um die logische Rekonstruktion der kompensierenden Beziehungen zwischen relevanten Dimensionen (im o.g. Beispiel wieder Länge und Dichte) auf logischer Ebene, ohne daß das Kind ein explizites Wahrnehmungsurteil im Sinne von Anderson und Cuneo vornehmen dürfte. Eine Kritik dieses Modells der funktionellen Messung der Kompensationsbeziehung folgt an anderer Stelle.

Acredolos Position (1981) hat unter den ausgewählten Modellen eine Sonderstellung. Ausgehend von der Beobachtung, daß auch relativ junge Kinder Vorgänge der Addition und Subtraktion erkennen, nimmt er an, daß präoperationale Kinder schwanken "zwischen ihrem Erkennen der Beibehaltung der quantitativen Identität (da keine Addition oder Subtraktion vorgenommen wurde, F.V.), die Erhaltung nahelegt, und ihrer Wahrnehmung von Veränderungen in den kovariierenden Wahrnehmungsreizen, die Nichterhaltung impliziert" (Acredolo, 1981, S.130). Ähnlich wie im Modell 1 nach Peill (1975,s.o.) gelingt dem Kind der Schritt zur Invarianz demnach, wenn es sich von den irreführenden Wahrnehmungsreizen löst. Dieser Weg weg von der Wahrnehmung ist für die Identitätstheorie ein "natürliches Ereignis", und da das Kind das Prinzip der quantitativen Identität bereits verfügbar hat, kann es unmittelbar in das Urteil des Kindes einfließen, sobald es sich von der "Wahrnehmungsbindung" (op.cit. S.130) befreit. Die Identitätstheorie leitet auch aus dem kontinuierlichen Gegensatz von quantitativer Identität und Wahrnehmungsurteil eine "innere Dissonanz" her, die die Fortschritte in der Entwicklung motiviert (op.cit., S.131). Obwohl Kompensation und Reversibilität nicht als mögliche Faktoren in der Entwicklung ausgeschlossen werden, entsteht nach Ansicht Acredolos das Verständnis für die Kompensation und Reversibilität bei den meisten Kindern aus der Rekonstruktion der Wahrnehmung, mit der das Kind die "irreführenden Wahrnehmungsreize" wegzuerklären versucht (op.cit., S.130).

Die empirischen Belege für diese Theorie finden sich vor allem in Acredolos eigenen Arbeiten (Übersicht bei Acredolo, 1981, S.132-133) zum Phänomen der "Pseudoerhaltung", das Piaget formuliert hat. Danach finden sich eine Zahl von Kindern, die die Erhaltung (bei verdeckten Wahrnehmungsreizen, wie in der Anordnung von Bruner, 1966) richtig antizipieren, und sie zugleich (in einer anderen Reizanordnung, nämlich beim Abschätzen, wie hoch ein Flüssigkeitsniveau beim Um-

gießen steigen wird) der kovariierenden Dimensionen bewußt sind. Dieses Ergebnis kann man allerdings mit dem Einwand begegnen, daß sie zwar Piagets Erklärung des Antizipationsphänomens durch "Pseudoerhaltung" widerlegen (Piaget, 1968, Piaget und Inhelder, 1969), nicht aber Piagets Theorie des Invarianzerwerbs unmittelbar berühren. Zusätzlich zitiert Acredolo eine Reihe von Trainingsstudien, die Invarianz dadurch erfolgreich vermittelt haben, daß sie die Aufmerksamkeit des Kindes auf Quantitätsreize lenken (z.B. Gelman, 1969). Schließlich sind Erklärungen über die Identität auch nach anderen Trainingstechniken häufig, was Acredolo zu der umfassenderen These führt: "viele Trainingstechniken operieren in erster Linie dadurch, daß sie Kinder ermutigen, ihr Vertrauen auf Wahrnehmungsreize aufzugeben; statt reversible Operationen zu erlernen, erhalten die Kinder möglicherweise, indem sie sich auf ihr Erkennen der Abwesenheit von Addition und Subtraktion verlassen" (Acredolo, 1981, S.133). Eine Bewertung dieser Theorie wird hier nicht gegeben, sie wird aber implizit im folgenden Abschnitt angesprochen werden.

## 3.5 Kritische Bewertung der Modelle (erläutert an der Arbeit Pinards)

Pinards Formulierung des Invarianzerwerbs erhebt den Anspruch, Piagets Position zu präzisieren. Seine Arbeit führt einige wichtige Unterscheidungen vor, die Piaget innerhalb seiner erkenntnistheoretischen Position eingeführt hat und die in anderen theoretischen Ansätzen übergangen wurden. Insofern soll die folgende Diskussion auch Restriktionen anderer Deutungen der Invarianz in den Vordergrund bringen. Mehr noch: Pinards Weg führt implizit einen wichtigen theoretischen und methodischen Gedanken ein: das jeweilige Modell definiert den Gegenstand mit (d.h. welche Indikatoren und

Charakteristika der Invarianz zugerechnet werden) und typisiert zugleich die methodischen Kriterien (die Beobachtungsmerkmale der Invarianzaufgabe für den Beobachter). Dieser methodische Zusammenhang ist in der Forschung noch wenig beachtet worden, er liegt aber manchen fruchtlosen Disputen zwischen Piagetgegnern und der Genfer Schule zugrunde. Die Mehrdeutigkeit der Kriterien (Erklärungen, Aufgabenkontexte, Leistungskriterien, Urteilskonsistenz) führt die Notwendigkeit vor Augen, die methodische Frage immer wieder neu zu präzisieren und die Verbindung zwischen dieser methodischen Annäherung an den Gegenstand und der 'Authentizität' des jeweiligen Invarianzbegriffs im Sinne einer bestimmten theoretischen Position nicht zu vernachlässigen. In der Sichtweise der genetischen Epistemologie unterliegt der Erkenntnisvorgang des Beobachters denselben Beschränkungen wie der Erkenntnisvorgang des Kindes. Da Erkenntnis des Beobachters und Erkenntnisgegenstand nicht voneinander unabhängig sind, ist "jedes noch so objektive Wissen ... letztlich immer an die subjektive Zugangsweise des erkennenden Subjekts gebunden ..." (Kesselring, 1981, S.63).

Welche spezifischen Dimensionen hält Pinard nun für notwendige Voraussetzungen der Invarianz? Er nennt drei solche Komponenten:

(1) Dissoziation der physikalischen Eigenschaften von Objekten

Piagets Unterscheidung von physikalischen und logischen Erfahrungen leitet sich aus seiner Zuordnung der Erfahrungsmöglichkeiten zu den Erkenntnispolen Subjekt-Objekt ab : während physikalische Erfahrungen (die mit Piagets Erkenntnisvorgang der empirischen Abstraktion assoziiert sind) im Objekt entdeckt und abgeleitet werden, führt das Subjekt logische Erfahrungen zuallererst in das Objekt ein, Eigenschaften, die im Objekt selbst nicht gegenwärtig sind (z.B. Ordnen). Mit dem logischen Pol der Erfahrung ist der Vor-

gang der reflektierenden Abstraktion verbunden. Für Piaget sind logische Erfahrungen stets der umfassendere Rahmen, in den physikalische Erfahrungen eingeschlossen sind (Pinard, 1981, S.39; Vuyk, 1981, S.118 ff.).

Vorbereitend für das Verständnis der Erhaltung ist die Differenzierung derjenigen "Eigenschaften, die erhalten werden, von jenen, die sich verändern (nicht erhalten werden)" (Pinard, 1981, S.41). Dieser Eigenschaftsaspekt der Objekte hat in der amerikanischen Forschung große Aufmerksamkeit genossen.
Welche Folgen hat nun die Dissoziation:

- Das Kind kann seine Aufmerksamkeit relevanten Attributen widmen und unwichtige Merkmale übergehen (Pinard, 1981, S.46).
- Durch seine Kenntnis der einzelnen Attribute gelingt es dem Kind auch die Möglichkeit des Zusammenwirkens verschiedener Merkmale in seiner Aufgabensituation zu betrachten.
- Schließlich erlaubt diese Koordination der wahrnehmbaren Attribute dem Kind sein empirisch gewonnenes Wissen in das Erhaltungsurteil einzuschließen (dazu Pinard, 1981, S.46-47).

Diese physikalischen Erfahrungen und Unterscheidungen, die das Kind im Laufe des Vorschulalters gewinnt, sind eine notwendige Bedingung der Aufgabenlösung, aber keinesfalls eine hinreichende, schon deshalb weil physikalische Erfahrungen eine umfassendere Bedeutung erst dann gewinnen, wenn sie in den Kontext logischer Erfahrungen eingeordnet werden.

(2) Bewußtheit der Handlungsschemata des Subjekts

Voraussetzung der Invarianz ist es, daß das Kind drei "interdependente Handlungsschemata" bewußt begreift. Bewußtheit bezieht sich dabei auf die Fähigkeit mit logisch-mathematischen Erfahrungen auf einer höheren Abstraktionsebene

umzugehen (symbolische Ausführung von Handlungsschemata auf das Objekt), nicht auf die Frage, ob diese Handlungsschemata der Introspektion des Kindes zugänglich sind oder zugänglich gemacht werden können. Die drei angenommenen Handlungsschemata müssen nicht in jeder Aufgabensituation wirksam werden. Zugleich schränkt Pinard auch ein, daß die "Kenntnis der empirischen Gesetze und Konstanten, die von der Bewußtheit jedes dieser Schemata resultiert, nicht hinreichend ist, um Erhaltung zu gewährleisten" (op.cit.,S.49).

Im ersten Handlungsschema begreift das Kind, daß ein Gegenstand trotz verschiedenartiger Veränderungen und Transformationen, die mit ihm vorgenommen werden, seine qualitative Identität bewahrt. Dieses Schema wird ergänzt durch ein allgemeines Schema, in dem Vorgänge der Addition und Subtraktion als empirische Regeln thematisiert werden. Pinard differenziert dieses Schema weiter, je nachdem, ob auf ein Objekt mehrere aufeinanderfolgende Handlungen ausgeführt werden oder ob nur eine Handlung vollzogen wird, und andererseits danach, ob die vorgenommenen Additionen und Subtraktionen miteinander koordiniert sind oder nicht (vgl.op.cit.,S.50-51).

Das zweite Handlungsschema erschließt dem Kind Wissen über die Umkehrbarkeit (revertibility) gewisser Handlungen. Dieses Schema ist einerseits sehr spezifisch, da es ein sehr charakteristisches Merkmal einer Handlung anspricht, andererseits relativ allgemein, weil sehr viele Handlungsvorgänge in dieses Schema eingeordnet werden können. Man kann drei qualitative Unterscheidungen in dem zunehmenden Verständnis dieses Handlungsschemas einführen: einmal wenn das Kind auf qualitativer Ebene die Unterscheidung zwischen Handlungen und Vorgängen, die umkehrbar sind und solchen, die es nicht sind, macht. Darauf baut sich das Verständnis des Kindes auf, daß umkehrbare Vorgänge empirische Regeln einschließen: daß nämlich die Umkehrung der Handlung das Ergebnis der zuvor vorgenommenen Handlung wieder aufhebt. Schließlich versteht

das Kind diese Zusammenhänge nicht nur als empirische Regeln, sondern kann auf der Ebene der Repräsentation (oder geistigen Vorstellung) Handlungsfolgen antizipieren.

Im dritten Handlungsschema wird die Kovariation von Objekteigenschaften behandelt. Das Kind versteht in diesem Schema, daß Variationen eines bestimmten Attributes eines Objektes (z.B. der Länge) mit Variationen eines anderen Merkmals streng zusammenhängen (Pinard, 1981, S.53/54). Wie beim vorigen Schema lassen sich hier Unterschiede in der Ausformung des Schemas ausstellen. Zunächst wird das Kind gewisse funktionelle Beziehungen zwischen Merkmalen von Objekten und Objekteigenschaften erkennen (z.B. Beziehungen zwischen der Länge einer Reihe von Steinen und der abzählbaren Anzahl). Auf einer höheren Stufe beginnt das Kind Kovariationen zwischen spezifischen Attributen eines Objekts zu erkennen, wobei es qualitative Wechselwirkungen zwischen positiven und negativen Aspekten einer Handlung miteinbezieht (das Verlängern der Reihe verringert die Dichte). Schließlich kann das Kind die funktionelle Beziehung auch auf quantitativer Ebene abzuschätzen versuchen (Piaget spricht in diesem Zusammenhang dann von 'extensionaler Quantifikation') (vgl. Pinard, op.cit.).

(3) Die Koordination physikalischer Eigenschaften von Objekten mit den Handlungsschemata des Subjekts

Erst das Zusammentreten von ausgeformten Handlungsschemata auf seiten des 'Subjektpols' und Differenzierungen physikalischer Eigenschaften auf der Ebene empirischen Wissens erlaubt es dem Kind, den Übergang von physikalischen zu logischen Erfahrungen zu vollziehen und den Schritt von empirisch gewonnenen Gesetzen und Regeln zu deduktiven Folgerungen und logischer Notwendigkeiten bei der Bewertung der Invarianz zu verwirklichen.

Pinard beschreibt drei solche Übergänge, die mit den zuvor aufgeführten Handlungsschemata identisch sind. Dabei geht es ihm darum zu zeigen, wie aufeinanderfolgende physikalische Handlungen, die räumlichen und zeitlichen Beschränkungen unterliegen, in "atemporale geistige Operationen" (op.cit., S.63) übergehen, womit die empirisch und induktiv gewonnenen Erfahrungen durch deduktive Ableitungen ersetzt werden, so daß die Invarianzprinzipien eine "Form logischer Notwendigkeit" erhalten. In dem "Übergang von Sukzession zur Simultaneität ... liegt die wesentliche Natur der Erhaltung" (Pinard, 1981, S.29), mit einem Wort, in der Konstruktion eines operationalen Systems.

Der Schritt von der qualitativen zur quantitativen Identität gelingt dem Kind, wenn es das Schema der qualitativen Identität, das ihm bereits bewußt ist, und die isolierten Eigenschaften der Objekte miteinander konfrontiert. Erst aus der Konfrontation der "relevanten Eigenschaften eines Objekts" kann das Kind "das Problem der Invarianz (oder Varianz)" im Hinblick auf eine bestimmte Qualität stellen (Pinard, 1981, S.58). Quantitative Merkmale sind ebenso wie logisch-arithmetische Begriffe (etwa die Zahl) keine wahrnehmbaren Eigenschaften des Objekts, sondern Konstruktionen des Subjekts. Die Unterscheidungen, die innerhalb der qualitativen Identität getroffen werden können, übernimmt das Kind auch für seine Rekonstruktion der quantitativen Beziehungen: dazu gehört in erster Linie die Differenzierung zweier Arten von Veränderungen: eine, in der im Laufe der Transformation etwas hinzugefügt oder weggenommen wird (und die für die betroffene physikalische Konstruktion bedeutsam ist) und eine zweite, in der lediglich räumliche Veränderungen erfolgen (z.B. Positionsänderungen).

Man sieht hier, daß die Betonung von Transformationsklassen, wie sie früher in einer Reihe von Modellen aufgegriffen wurde, zwar als notwendige, aber nicht als hinreichende Bedingung für den Erwerb der Invarianz verstanden wird. Im

Unterschied zu den Transformationsmodellen wird hier die physikalische Handlung und ihre Wirkung (die "unvermeidlich räumlich-zeitlichen Beschränkungen unterliegt", Pinard, 1981, S.60) von der logischen Handlung abgegrenzt. Diese Unterscheidung wird in den meisten Transformationsmodellen nicht in dieser Form getroffen, es wird sogar explizit darauf hingewiesen, daß Wissen über Transformationen und induktive Generalisierungen über die Wirkungen von Klassen von Transformationen empirisches Wissen ist (Shultz et al., 1979), das von der logischen Deduktion, die der Invarianzaufgabe inhärent ist, abgegrenzt werden muß.

Um auf der Ebene der quantitativen Identität den Übergang von der Sukzessivität zur Gleichzeitigkeit zu erreichen, muß das Kind beginnen zu verstehen, "daß jede Verschiebung, die tatsächlich ausgeführt wurde, nur ein besonderer Fall aller möglichen Fälle ist" (Pinard, 1981, S.62). Räumliche Verschiebungen, die Teile zusammenfügen und trennen und ein zeitlich ausgedehnter Prozeß sind, lösen sich von diesen "zeitlichen Beschränkungen" (op.cit.). Auf geistiger Ebene wird sich das Kind der "Kommutativität und Vikarianz der Teile, die ein Ganzes konstituieren" bewußt: "die physikalischen Transformationen, die auf ein Objekt ausgeübt werden, rekonstruieren sich selbst in einer integrierten Struktur (structur d'ensemble) oder einem geschlossenen Netzwerk nichtzeitlicher geistiger Transformationen" (Pinard, 1981, S.62). Pinard greift hier also auch auf Piagets neue Deutung der Zahlinvarianz zurück.

Der Schritt von der Umkehrbarkeit (revertibility, im Französischen: 'renversabilité', Vuyk, 1981) von Handlungen auf empirischer Ebene zur Reversibilität auf deduktiver Ebene vollzieht sich ähnlich wie der erste Schritt, der oben diskutiert wurde. Die Konfrontation des empirischen Schemas der Umkehrbarkeit mit spezifischen Merkmalen des Objekts, ebenso wie die Unterscheidung von Unterklassen der Umkehrbarkeit von Handlungsfolgen (nämlich solchen, die umkehr-

bare Handlungen oder Phänomene einschließen und solche, die keine Umkehrung ermöglichen) erlauben es dem Kind schließlich, sich von den räumlichen und zeitlichen Beschränkungen der Handlungszusammenhänge zu lösen. Die zeitliche aufeinanderfolgenden und ausgedehnten physikalischen Handlungen gehen in geistige Operationen über (Pinard, 1981, S.65). Erst dieser Übergang ersetzt die empirischen Erfahrungen und Regeln durch eine deduktive Schlußfolgerung.

Der dritte Schritt vollzieht sich von der Kovariation von Objekteigenschaften zu ihrer logischen Kompensation. Erneut konfrontiert das Kind hier sein Schema der Kovariation mit verschiedenartigen Merkmalen des Objekts, die es identifiziert hat. Damit wird das Kovariationsschema differenziert und in Beziehung zu spezifischen Transformationen und Handlungen, die der Versuchsleiter durchführt, gesetzt. Dadurch erkennt das Kind auch die Wechselbeziehungen zwischen dem Kovariationsschema und dem Additions-Subtraktionsschema. Diese Differenzierungen erlauben es dem Kind, sich auch im Hinblick auf die Kovariation von deren räumlich-zeitlichen Beschränkungen zu lösen. Die deduktiven Folgerungen aus dem operationalen Schema der Kompensation wurden bereits von Piaget beschrieben. Empirische Erfahrung wird ersetzt durch logische Deduktion, empirische Notwendigkeit von empirischen Gesetzen durch logische Notwendigkeit und die empirische Generalisierung des Kovariationsschemas durch die "operationale Generalisierung der Kompensation" (Pinard, 1981, S.69).

Die Komplexität von Pinards theoretischer Diskussion konnte hier nur angedeutet werden, aber die Grundlinien sind relativ eindringlich. Die drei Komponenten, die er als notwendige Bedingungen der Invarianz formuliert, die Dissoziation von physikalischen Eigenschaften des Objekts, das bewußte Verstehen eigener Handlungsschemata und schließlich das Zusammenwirken der ersten beiden Komponenten, tragen dazu bei, daß es dem Kind gelingt, von empirischen und physikalischen

Erfahrungen zu logischen und notwendigen Erfahrungen und Folgerungen zu gelangen und zugleich, indem es sich von raum-zeitlichen Begrenzungen ablöst, von der Sukzession verschiedenartiger Handlungen auf die Simultaneität der geistigen Operationen überzugehen, die unmittelbar die Wirkungen von Transformationen erschließen (Pinard, 1981, S.70). Daran wird deutlich, daß Pinard einzelne Indikatoren der Aufgabenlösung (z.B. Erklärungen des Kindes, die aus der introspektiven Betrachtung operativer Vorgänge herrühren), nur als relativ ungenaue Zugänge zur operativen Struktur des Kindes betrachtet. Invarianz ist für ihn mehr als die Lösung von 12 richtigen Aufgaben (wenn man ein empirisches Leistungskriterium wählt), da sie relativ tiefgreifende Veränderungen im Erkenntnisvorgang des Kindes selbst anspricht.

Die Beobachtung der einzelnen Komponenten der Invarianz, die oben diskutiert wurden, ist nur gelegentlich systematisch vorgenommen worden. Pinards Arbeit deutet hier auf eine interessante Erweiterung des Invarianzerwerbs: neben die Beobachtung der Stadien in der Entwicklung gewisser Invarianzaufgaben treten die Beobachtungen qualitativer Veränderungen in konstituierenden Komponenten und systematische Analysen ihres Zusammenwirkens. Originell wird Pinards Arbeit dadurch, daß sie durch die umfassende Definition der Invarianz fast alle Modelle einschließen kann, die bisher diskutiert wurden. Die empirische Prüfbarkeit wird damit erschwert, denn wenn verschiedene Handlungsschemata als konstitutiv betrachtet werden, selbst wenn sie nicht in jeder Aufgabenlösung des Kindes sichtbar sind, ist die empirische Kontrolle der notwendigen und hinreichenden Bedingungen für ein bestimmtes Konzept nicht an dem traditionellen Schema der Bedingungsvariation ablesbar. Die Variation einzelner Handlungsschemata oder Wissenselemente beim Kind wird in dieser theoretischen Position einerseits spezifischer und andererseits wesentlich allgemeiner interpretiert. Spezifischer

insofern, als verschiedene Handlungsschemata und das Wissen über physikalische Regeln in das Gesamtkonzept einfließen (das heißt, es gibt eine größere Zahl von notwendigen Bedingungen, von denen mindestens eine in jedem Training und seinen technischen Variationen angesprochen werden dürfte). Allgemeiner, weil die Wirksamkeit eines Trainings nicht als abhängig von diesem spezifischen Handlungsschema interpretiert wird, vielmehr würde Pinard annehmen, daß andere Handlungsschemata und Voraussetzungen (dargestellt in den drei zentralen Komponenten) beim Kind schon soweit entfaltet sein müssen, daß es den Übergang zu einem höheren Verständnis der Invarianz auf breiter Ebene findet.

Es ist von einigem Interesse, sich die Konsequenzen dieser Perspektive anschaulich zu machen, um sie mit der völlig andersartigen Sicht der Invarianz in der amerikanischen Forschung konfrontieren zu können. Eine Abgrenzung, die sehr wichtig scheint, ist die zwischen empirischer Erfahrung und induktiver Generalisierung und logischer Erfahrung und deduktiver Generalisierung. Pinard unterstellt, daß Trainingsmethoden u.U. eine unangemessene Simulation eines Konzepts herbeiführen, indem sie dem Kind über die Sammlung empirischer Erfahrungen eine relative Sicherheit in seinem Urteil gestattet, ohne daß es die logische Notwendigkeit des Erhaltungsbegriffs verstände. Anders gesagt, das Training erlaubt es dem Kind, eine empirische Verallgemeinerung zu erwerben, die das komplexere Konzept nachahmt (Fischer (1980) spricht in diesem Zusammenhang von 'mimicking'). Dieser Vorwurf richtet sich zum Beispiel gegen Brainerd (1979), der seine Trainingstechnik darauf beschränkt, dem Kind verbale Rückmeldung zu seinen Urteilen zu geben und den Trainingserfolg an der Zunahme richtig abgegebener Urteile abliest. Diese Arbeitsweise vermeidet im Grunde eine Beziehung zwischen Methodik und begrifflicher Struktur herzustellen. Dies hat Seiler besonders markant kritisiert: "... die Kriterien für das Vorhandensein einer bestimmten begrifflichen Struktur

oder einer logischen Operation werden nicht aus der theoretischen Konstruktion dieser Struktur abgeleitet, sondern rein äußerlich in der Anwendung einer bestimmten Methode an sie herangetragen ... (das bedeutet) daß empirische Methoden oder experimentelle Paradigmas sich in gewisser Weise verselbständigen, was in der psychologischen Forschung leider so oft der Fall ist. Theorien dienen nicht dazu, experimentell nachprüfbare Bedingungen zu konzipieren, sondern umgekehrt experimentelle Situationen werden zu Theorien und Modellen hochstilisiert" (Seiler, 1980, S.242) (Unterstreichung hinzugefügt).

Auch die Stadien-Lernhypothese gewinnt in diesem Zusammenhang eine neue Erklärungsmöglichkeit. Die Stadienklassifikation nach Piaget (etwa für die Zahlinvarianzaufgabe) ist nur ein Maß für die Fähigkeit des Kindes diese Aufgabenstellung zu bewältigen. Damit ist aber die qualitative Entwicklung von Teilkonstituenten nicht unmittelbar sichtbar. Man kann sich zum Beispiel eine Reihe von Kindern vorstellen, die Stadium 1 nach Piaget (also präoperational) zugeordnet bekommen, aber dennoch sehr unterschiedliche Voraussetzungen haben, sowohl im Grad der Differenzierung der physikalischen Eigenschaften, die für das Konzept relevant sind (siehe die erste Komponente bei Pinard) als auch im Grad der Bewußtheit der drei Handlungsschemata. Trainingserfolge mit solchen Kindern wären dann weniger abhängig von der Stadienzuordnung, sondern eher von der Ausprägung der qualitativen Entwicklung verschiedenartiger notwendiger Bedingungen der Invarianz. Obwohl Pinard eine Reihe von Arbeiten erwähnt, die sich mit der Konstitution solcher Teilkomponenten und ihrer Wirkung im Training befassen (siehe Pinard, Chapter 5, S.105-146), sind Antworten auf die Frage, welche zusätzlichen Kompetenzen in die Trainingserfolge des Kindes neben der Stadienzuordnung einfließen, relativ unbestimmt (vgl. auch Chpt. 4, S.119 ff., in Perret-Clermont, 1980).

Vielleicht das zentrale Charakteristikum der Position Pinards ist, seine Betonung der Fähigkeit des Kindes, sich mit Hilfe seines operativen Verhaltens bzw. des Invarianzbegriffs von räumlichen und zeitlichen Beschränkungen der physikalischen Handlungen zu trennen. Dieses Kriterium nennt er "ohne Zweifel das kritischste und zugleich am schwierigsten zu operationalisierende", das von Piaget formuliert wurde (Pinard, 1981, S.137). Kritisch, weil sich hier die Fähigkeit des Kindes widerspiegelt, von empirischen Regelhaftigkeiten auf logische Notwendigkeiten überzugehen. Dieser "Übergang verlangt von dem Kind eine geistige Reflektion (reflektive Abstraktion) auf seine eigenen Handlungsschemata, die Sukzessivität in Gleichzeitigkeit umwandelt, oder um es anders auszudrücken, induktive und extensionale Generalisierungen dieser Schemata (Quelle der empirischen Notwendigkeit) in deduktive Generalisierungen, die eine Quelle logischer Notwendigkeit ist", (Pinard,1981, S.138), umzuwandeln.

Schwer zu operationalisieren, weil die innere Konstruktion einer notwendigen Beziehung dem Beobachter nicht unmittelbar zugänglich ist. Pinard beschreibt diese sehr anschaulich : für den Beobachter unterliegen Handlungen des Kindes zeitlichen und räumlichen Beschränkungen in ähnlicher Weise wie das Kind im präoperationalen Stadium Handlungen nur in ihrer Sukzessivität beurteilen kann. Der "subjektive Sinn für Notwendigkeit, die der Koordination der Handlungen innewohnt, ist immer das Resultat einer Schlußfolgerung" (Pinard, 1981, S.138), die dem Beobachter aber nicht zugänglich ist. Piaget hat sich der Frage 'notwendiger' und 'möglicher' Beziehungen im Laufe der letzten Jahre selbst zugewandt, so daß man das Verständnis des Kindes für die Notwendigkeit innerhalb seiner Handlungskoordinationen selbst aus dem Wissen über die Entwicklung notwendiger Beziehungen verstehen kann. Von besonderem Reiz für ein verändertes Verständnis der Invarianz ist es, die Wechselbeziehung zwischen Notwendigkeit und Möglichkeiten

('nécessitation' und 'possible') miteinzubeziehen. Tatsächlich versteht Piaget dies so, daß"das Mögliche und das Notwendige einen weiteren Rahmen abgeben, innerhalb dessen die operationalen Strukturen ihren Platz finden" (Vuyk, 1981, S.173). Die Komposition operationaler Strukturen erschließt dem Kind notwendige Beziehungen, die die integrierenden Beziehungen innerhalb des Gesamtsystems darstellen. Das Gesamtsystem erlaubt aber auch Variationsmöglichkeiten (zusätzliche Möglichkeiten), die sozusagen Differenzierungen des Systems bilden und ausgestalten (siehe Vuyk, 1981, S.182-183). Dem Kind erschließt sich mit dem Erreichen notwendiger Beziehungen, d.h. dem Verständnis deduktiver Beziehungen, zugleich der Bereich des "im Grunde möglichen" (virtually possible). Verschiedene Handlungsschemata gewinnen für das Kind so eine gewisse Flexibilität und Variationsmöglichkeit. Diese Deutung zeigt noch einmal, daß für Piaget (wie auch für Pinard) der Übergang zum Verständnis der Invarianz mehr einschließt als nur den Erwerb spezifischer Handlungsschemata oder deren Bewußtwerdung. Der Schritt zur "authentischen Notwendigkeit" (abgehoben von "Pseudonotwendigkeiten" im Vorschulalter) (vgl. Vuyk, 1981, S.179 ff.) spiegelt - das wurde bereits mehrfach erwähnt - den Übergang von der "Induktion zur Deduktion" (Pinard, 1981, S.139) wider.

Wie könnte man nun diesen Übergang zur deduktiven Schlußfolgerung für den Beobachter sichtbar machen? An derzeitigen Forschungsarbeiten übt Pinard massiv Kritik, weil die durchgeführten Testaufgaben "nicht ausreichend rigoros sind, um mit Sicherheit das Niveau der Invarianz zu bestimmen, die das Kind erreicht hat, ganz zu schweigen von dem Grad an Notwendigkeit, die der Erhaltungsreaktion eines Kindes zugrundeliegt" (Pinard, 1981, S.140). Es gibt eine Reihe von Kontrollmöglichkeiten (dazu Abbildung 4).

Abbildung 4

Kontrollmöglichkeiten zur Erhöhung der Beobachtungsstringenz von Invarianzaufgaben

- Verwendung angemessener Generalisierungsaufgaben, für die eine Generalisierung theoretisch begründbar ist bzw. eine Nichtgeneralisierung (also ein negatives Ergebnis) theoretisch ableitbar ist;
- Systematische Analyse der Erklärungen des Kindes (Stadiendefinitionen variiert nach der Stringenz der Kriterien; Versuch die Art und das Maß der subjektiven Notwendigkeit im Urteil des Kindes abzuschätzen);
- Widerstand gegenüber Gegensuggestion, um die Sicherheit im Urteil des Kindes zu prüfen;
- Prüfung der Stabilität der Ergebnisse über einen längeren Zeitraum

Um über die Beschränkungen der arbiträren Diskussionen über die Beurteilungskriterien (etwa im Sinne von Brainerd) hinauszukommen, wäre es notwendig, sich der Frage des Übergangs von empirischen auf logische Erfahrungen von anderen Perspektiven zu nähern. Um die Fähigkeiten des Kindes außerhalb des traditionellen Kontextes der Invarianzaufgabe zu beobachten, wäre es zweckmäßig, sich Komponenten der Erfahrungsveränderungen beim Kind zuzuwenden, wie sie früher formuliert worden sind. Eingeschlossen finden sich dort auch andere logische Prozesse, die sich parallel zur oder konstitutiv für die Invarianz selbst verändern. Pinard (1981) schlägt z.B. ein genaueres Studium der logischen Prinzipien der Kommutativität und Vikarianz von Teilen eines Ganzen vor, mittels derer sehr schön die Fähigkeit des Kindes, positive Handlungsschemata und ihre Negationen zueinander in Beziehung setzen zu können, beobachtet werden kann. Zum anderen wäre das Studium des Konzepts der Notwendigkeit selbst wünschenswert, um die Differenzierung zwischen präoperationaler Notwendigkeit (die sich auf Schlußfolgerungen von beobachtbaren Phänomenen bezieht) und der deduktiven Notwendigkeit innerhalb des operationalen Stadiums besser zu verstehen.

"Zusammengefaßt, die empirischen Studien, die geeignet sind den Übergang von einem induktiven zu einem deduktiven Modus im Erwerb der Invarianz zu veranschaulichen, müssen erst noch ausgeführt werden" (Pinard, 1981, S.145). Denn selbst die am besten kontrollierten Trainingsstudien zum Erwerb der Invarianz lassen die Frage der "Authentizität des Invarianzerwerbs" offen. Die herkömmlichen Kriterien lassen nicht unterscheiden zwischen Generalisierungen, die durch induktive Schlußfolgerungen gewonnen wurden (und empirischen Gesetzen entsprechen) und deduktiven Ableitungen, deren innere Notwendigkeit Folge eines geschlossenen operationalen Systems ist (Pinard, 1981, S.144, vgl. dazu wieder Vuyk, 1981, S.183).

Seilers Diskussion ergänzt die vorausgehende Darstellung: Er meint "daß es sich bei Begriffen und begrifflichen Systemen stets um komplexe Systeme von Eigenschaften und Beziehungen oder von Transformationen von Eigenschaften und Beziehungen handelt. Daher ist das Vorhandensein eines begrifflichen Systems, d.h. ein entsprechendes Begriffsverständnis, auch nur dadurch zu gewährleisten, daß man möglichst viele dieser Implikationen zu erfassen und abzusichern versucht. Hier sind stets relativ komplexe Verfahrensweisen notwendig, in denen sowohl das handelnde Umgehen des Subjekts mit diesen Gegenständen und Problemsituationen als vor allem auch sein reflektierendes Verarbeiten dieser Situationen und ihrer Implikationen abgefragt wird" (Seiler, 1980, S.245). Und an anderer Stelle: "... das Invarianzprinzip ist ein komplexes System von Vergleichsurteilen und Regeln, die seine Anwendung speziell in Konfliktsituationen festlegen, ein System, das darüber hinaus wesentlich durch eine starke Resistenz gegen interferierende Begriffe, Regeln und Wahrnehmungen charakterisiert ist. Die Existenz eines Systems mit solchen Eigenschaften kann nicht aus einzelnen isolierten Reaktionen erschlossen werden"

(Seiler, 1980, S.255). Seiler betont mehrfach den engen Zusammenhang zwischen Erfassungsmethode und Theorie. Die Versuche der amerikanischen Forschung zu zeigen, daß logische Operationen früher in der Entwicklung erworben werden als von Piaget behauptet (er diskutiert in erster Linie die Arbeiten von Bryant), übersehen seiner Ansicht nach, daß mit der theoretischen Perspektive auch ein Wechsel im methodischen Vorgehen vorgenommen wird und daß "mit dem Wechsel des Verfahrens oft auch ein Wechsel des Gegenstandes verbunden ist", mit anderen Worten, "eine qualitative unterschiedliche Verwirklichungsform des theoretischen Konstrukts erfaßt wird" (Seiler, 1980, S.257).

## 4. Zur Untersuchung notwendiger und hinreichender Bedingungen der Invarianz

### 4.1. Die begriffliche Konstruktion von Entwicklungssequenzen und die Analyse hinreichender und notwendiger Bedingungen kognitiver Kompetenzen

Eigenartigerweise widmet sich die Forschung über konkrete Operationen der Lösung einzelner Items (Flavell) oder Aufgabenstellungen durch das Kind und der zeitlichen Koordination zwischen diesen Aufgaben. Die zweifelhafte Aussagekraft vieler Studien in diesem Forschungsgebiet mag mit den unpräzisen Definitionen dessen zusammenhängen, was ein kognitives Item oder eine "Denkeinheit" darstellt. Stellt man einmal die tiefergreifenden Fragen zurück, die in den letzten Jahren in der kognitiven Psychologie diskutiert wurden, was man als kognitive Einheiten definieren solle (etwa Anderson, 1981, Jenkins, 1981, S.230 ff.), so mutet die Wahl kognitiver Einheiten in der Entwicklungspsychologie relativ beliebig an. So spricht Flavell (1972, S.281) von einem "kognitiven Item" (cognitive item) als irgendeiner "Struktur, Fertigkeit, Konzept, Regel, Operation, Überzeugung, Einstellung, Wissenseinheit, oder irgendeiner anderen Art von kognitiven Einheit, klein oder groß, die er als X1 oder X2 definieren kann, um eine Entwicklungssequenz X1-X2 zu analysieren". Obwohl diese Definition mit der Absicht aufgestellt wurde, eine Klassifikation möglicher Entwicklungsbeziehungen zwischen verschiedenen kognitiven Items aufzustellen, illustriert sie die verschwommene begriffliche Struktur, mit der die Denkentwicklung bei Kindern angegangen wird. Flavells Klassifikation wird im folgenden eingehender dargeboten, weil sie für die weitere Diskussion von Interesse ist.

Die Entwicklungsbeziehungen zwischen einer früher erworbenen kognitiven Einheit und einer später entstehenden, kennzeichnet Flavell durch eine Reihe formaler Konstruktionsprinzipien.

Um den Erklärungswert dieser Sequenzen untersuchen zu können, sollen sie kurz übersichtlich dargestellt werden:

Addition: Das neue kognitive Item ergänzt das frühere, es wird hinzugefügt, ohne das alte zu ersetzen oder zu verdrängen, obwohl es eine komplexere Leistung darstellen kann (Flavell, 1972, S.287-289, 345).

Substitution: Ein neues kognitives Item ersetzt das alte: die beiden Reaktionsmuster oder Fertigkeiten können nicht gleichzeitig existieren (Flavell, 1972, S.290-298, 345).

Modifikation: "Das nachfolgende Item stellt eine Differenzierung, Generalisierung oder stabilere Version (festere, zuverlässigere, effizientere etc.)des früheren dar" (Flavell, S.345, vgl. S.298-304).

Inklusion: "Das frühere Item wird in das später auftretende als ein integraler Teil eingebaut (eingeschlossen)" (Flavell, 1972, S.345, vgl. S.304, 310).

Mediation: "Das frühere Item stellt eine bestimmte Art von Entwicklungsbrücke oder Übergangsschritt (Mediation) für das nachfolgende dar" (Flavell, 1972, S.345, vgl. S.310-315).

In einem gesonderten Abschnitt spricht Flavell über "asequentielle Aspekte" der kognitiven Entwicklung. Nichtsequentielle bzw. nicht lineare Aspekte der Entwicklung sind am offensichtlichsten bei interindividuellen Unterschieden zwischen Kindern hinsichtlich der Entwicklungsreihenfolge zweier Aufgaben. Variable Sequenzen zweier Aufgaben (z.B. X1--X2, X2--X1) erlauben mehrere Interpretationen: entweder daß keine funktionelle Beziehung zwischen den betroffenen Aufgabenformen besteht; oder daß eine Beziehung besteht, die reziprok bzw. in beiden Richtungen wirkt (das jeweils früher erworbene Item fördert den Erwerb des nachfolgenden), wobei offen ist, ob die Entwicklungs- bzw. kausale Beziehung fördernd, notwendig und/oder hinreichend ist (interindividuell definierte sequentielle Beziehung); schließlich daß eine Wechselwirkung zwischen Aufgaben im Laufe ihrer Genese beim einzelnen Kind besteht (intraindividuell definierte reziproke Wirkung) (Flavell, 1972, S.336-339).

Es ist von einigem Interesse für die nachfolgende Diskussion, daß Flavell nur wenige Veranschaulichungen für diese Art von Entwicklungsprozessen geben kann, die sich zudem auf theoretische Deutungen beziehen und nicht auf empirische Daten. Flavell legt zu wenig Nachdruck darauf, daß die Untersuchung solcher asequentieller Entwicklungen wesentlich informativer sein könnte als lineare Sequenzen von Aufgaben; im letzteren Fall sind invariante Ordnungsbeziehungen noch keine Bestätigung dafür, daß eine funktionelle Beziehung zwischen den untersuchten kognitiven Aufgaben besteht (d.h. ob eine mediative, förderliche, notwendige und/oder hinreichende Beziehung besteht), während bei asequentiellen Beziehungen das komplexere Zusammenspiel verschiedener Entwicklungsschritte unmittelbarer ins Auge tritt.

Flavells Position ist in dieser Hinsicht nicht schlüssig. Ausgehend von der Problemstellung der Arbeit, Entwicklungssequenzen zu analysieren, wird die kognitive Entwicklung von Kindern in erster Linie als eine Sequenz von Aufgaben oder 'Items' verstanden, "die wie Perlen auf einer Schnur aufgereiht sind". Die Entwicklung als eine "Sammlung von Itemsequenzen" zu deuten, erscheint Flavell theoretisch produktiv, weil die kausalen Beziehungen zwischen Aufgaben dann relativ einsinnig - der zeitlichen Abfolge in der Ontogenese gemäß - gedeutet werden können (Flavell, 1972, S.336). Führt er nun ergänzend nichtsequentielle Aspekte der Denkentwicklung ein (im Sinne einer "mixed sequential-asequential view of cognitive development", Flavell, 1972, S.341), so bleibt unklar, welches Grundmodell der Entwicklung vorgezogen wird (das sequentielle Modell ist offenbar empirisch besser zu belegen), für welche kognitiven Bereiche sequentielle und/oder asequentielle Deutungen der Entwicklung in den Vordergrund treten, und welches Licht asequentielle Prozesse generell auf die vielleicht zu vereinfachten Modelle linearer Sequenzen kognitiver Aufgaben werfen. Flavell schreibt an

anderer Stelle : "Man vermutet, daß diese Art von Prozeß - verwickelt (tortuous) und spiralförmig, zyklisch und rekursiv, die Sequenz verletzend und transformierend - charakteristisch für den größten Teil kognitiver Aktivitäten und Entwicklung ist" (Flavell, 1972, S.343).

Flavells Argumentation ist charakteristisch für die Arbeitsweise der amerikanischen Psychologie in den 70er Jahren. Erstaunlich daran ist vor allem die Naivität von Modellen, in denen versucht wird einen Begriff aus einzelnen Bausteinen zusammenzusetzen. Diese Deutung mag eine Folge der methodischen Konzentration auf die Untersuchung von (linearen) Sequenzen kognitiver Aufgaben sein. Slobin (1978) spricht in einem anderen (nämlich sprachtheoretischen) Zusammenhang von der "Warteraum-Metapher". Sowohl in der Untersuchung der Sprachentwicklung (und deren Beziehung zu kognitiven Prozessen) wie auch der kognitiven Entwicklung arbeiten manche Forschungsrichtungen mit der impliziten Annahme, als bewahre das Kind einzelne Fertigkeiten oder Operationen gleichsam wie Bausteine auf, um sie zu gegebener Zeit zusammenzusetzen. Cromer (1981) kritisiert diese "assoziationistische" Betrachtungsweise für die Deutung der Wechselbeziehung zwischen Sprache und Denkentwicklung, aber sie ist in analoger Form auch auf die Interpretation der kognitiven Entwicklung zu übertragen.

Trainingsstudien arbeiten nicht selten mit dieser reduzierten Deutung kognitiver Prozesse und ihrer (Teil-)Konstituenten. Sind doch eine Teilgruppe von Trainingsstudien darauf angelegt, Teilfertigkeiten oder kognitive Voraussetzungen einer (Denk-)Aufgabe zu vermitteln, um so die Entwicklung des Gesamtkonzepts zu beschleunigen oder zu konstituieren. Im Bereich der Zahlinvarianz sind solche Trainingsstudien schon deshalb beliebt gewesen, weil sich verschiedene Vorläufer und mögliche Teilkomponenten des Kindes als Teilfertigkeiten vermitteln lassen, um so versuchen zu können, komplexeres

operatives Wissen einzuleiten. Besonders anschauliche Beispiele findet man in der Arbeit von Rothenberg und Orost (1969) oder von Bingham-Newman und Hooper (1975).

Es wäre sicherlich eine eigene Untersuchung wert, den Verhaltensbegriff, der der amerikanischen Piaget-Forschung zugrundeliegt, zu erarbeiten und die verschiedenartigen Konnotationen, die die Tradition des Neobehaviorismus mit der Untersuchung menschlichen Verhaltens verknüpft hat, zu analysieren. Eine Eigenart dieser Sichtweise - veranschaulicht unter anderem in Trainingsstudien - ist ihre statische Betrachtungsweise von Verhaltensänderungen: komplexeres Verhalten fügt sich aus einfacherem durch Addition, Substitution, Modifikation einzelner Elemente zusammen, gleichsam wie chemische Substanzen durch Austausch einzelner Glieder ihr Erscheinungsbild verändern. Die zeitliche Konstitution erfolgt (in diesem Bild) in statu nascendi : wenn sich das Verhalten zusammengefügt hat, ist die komplexere Reaktion geboren. Dieses vereinfachte Schema ist nicht nur für Trainingsstudien gültig, die Teilfertigkeiten zu vermitteln versuchen (als Beispiele: Rothenberg & Orost, 1969; Bingham-Newman & Hooper, 1975; Sigel, Roeper & Hooper, 1967), sondern findet sich auch in Modellen der Invarianzaufgabe wieder.

Zur Veranschaulichung kann das Fertigkeitsintegrationsmodell dienen, das Schaefer et al. (1974) für die Entwicklung der Zahlinvarianz aufgestellt haben, und das von einer Reihe von Autoren zustimmend als mögliche Alternative zu Piaget aufgegriffen wird (so bei Brown und Desforges, 1977, bei McKay, 1978). In diesem Modell werden eine Reihe von Teilfertigkeiten oder Teilbausteinen beschrieben, aus denen sich die Zahlinvarianz zusammensetzt : (1) die Fähigkeit, kleine Mengen numerisch zu repräsentieren, (2) die Fähigkeit, die Eins-zu-Eins-Korrespondenz anzuwenden und (3) der Erwerb der Kardinalitätsregel (vgl. Brown und Desforges, 1977, S. 15 f.

für eine prägnante Zusammenstellung). Jedes dieser Teilfertigkeiten läßt sich wieder aus Komponenten von Fertigkeiten aufbauen, die für spezifische Aufgabenstellungen Anwendung finden können.

Obwohl die beschriebenen Modelle einen wichtigen Schritt in der deskriptiven Aufklärung von Fertigkeiten und begrifflichen Leistungen leisten können, lösen sie das Problem, das sich die Erkenntnistheorie Piagets explizit gestellt hat, nicht auf, sie reduzieren es lediglich auf einfache assoziationistische Prinzipien : wenn bestimmte Bausteine im Denken des Kindes zusammengesetzt werden, erreicht es einen komplexeren Begriff!

Diese vereinfachten Fertigkeitsmodelle sind sicherlich eine Folge der Priorität der empirischen Orientierung der Forschung gegenüber der begrifflichen Konstruktion von Fertigkeitsmodellen. Problematisch an dieser Arbeitsweise ist die unpräzise Definition von kognitiven Kompetenzen: Begriffsleistungen, Invarianzen, operative Vorgänge werden mit sehr spezifischen Aufgabenstellungen identifiziert, ohne daß beachtet werden würde, daß die Aufgabenstellung selber nur eine Annäherung an eine bestimmte (definierte) begriffliche Leistung sein könnte.

Man findet dieses Mißverständnis auch in einer Entwicklungsrichtung der Piaget-Forschung, die sich darauf zu konzentrieren scheint zu zeigen, daß bestimmte Fertigkeiten, Fähigkeiten bzw. Denkleistungen wesentlich früher erworben werden als dies von Piaget angenommen wird. Sieht man einmal von den Versuchen ab, formale Charakteristika im Denken von Vorschulkindern nachzuweisen, die formale Operationen erforderten, dann ist der Nachweis von Vorläufern der konkreten Operationen bzw. der mögliche Erwerb von Denkaufgaben wesentlich früher als von Piaget angenommen-ein Schwerpunkt der aktuellen amerikanischen Forschung (vgl. Gelman, 1978). Es ist

zweifelhaft, in welchem Maße es solchen Studien gelingt, zeitliche Abläufe bzw. Zusammenhänge zwischen Aufgaben zu entwerfen, die der Theorie Piagets radikal entgegenstehen. Die Konstruktion neuartiger Aufgaben bildet eine wichtige Ergänzung zur Arbeit Piagets, nur steht dasselbe Problem vor uns, wie es Piaget zu lösen hatte : eine bestimmte begriffliche Kompetenz zu definieren, Kriterien der Leistung festzulegen, die relative Variation durch den Aufgabenkontext zu identifizieren und schließlich die jeweils spezifische Aufgabenstellung in eine komplexere theoretische Deutung eines Begriffs einzuordnen.

Patricia K. Arlin hat darauf hingewiesen, daß wir es hier mit einer Unbestimmtheitsrelation zu tun hätten - wobei allerdings ihr Vergleich mit der Quantenphysik etwas zu hoch gegriffen scheint - , nämlich einer nur relativ (gleichzeitigen) Verfügbarkeit bzw. Zugänglichkeit von Kompetenz und Performanzmodellen : "wenn die Struktur gut definiert ist, dann wird die Funktion bzw. Leistung (performance) weniger genau definiert sein, und umgekehrt, wenn die Performanz gut definiert ist, dann ist die Struktur ungenauer definiert" (Arlin, 1977, S.287).

Ihr Hinweis, daß psychologische Modelle der Denkentwicklung Kompetenz- als auch Performanzmodelle in relativer Präzision miteinbeziehen müssen, kann unmittelbar auf die Tendenz in der Piaget-Forschung bezogen werden, eine bestimmte Aufgabenleistung mit der kognitiven Kompetenz des Kindes zu identifizieren. Die Schwierigkeiten, die Beziehungen zwischen Performanz und Kompetenz zu definieren, beruhen z.T. auf der unpräzisen Definition der Abbildungsrelation zwischen logischen Strukturmodellen und spezifischen Aufgabenklassen.

Abbildung 5

Repräsentationsprobleme bei Kompetenz- und Performanzmodellen

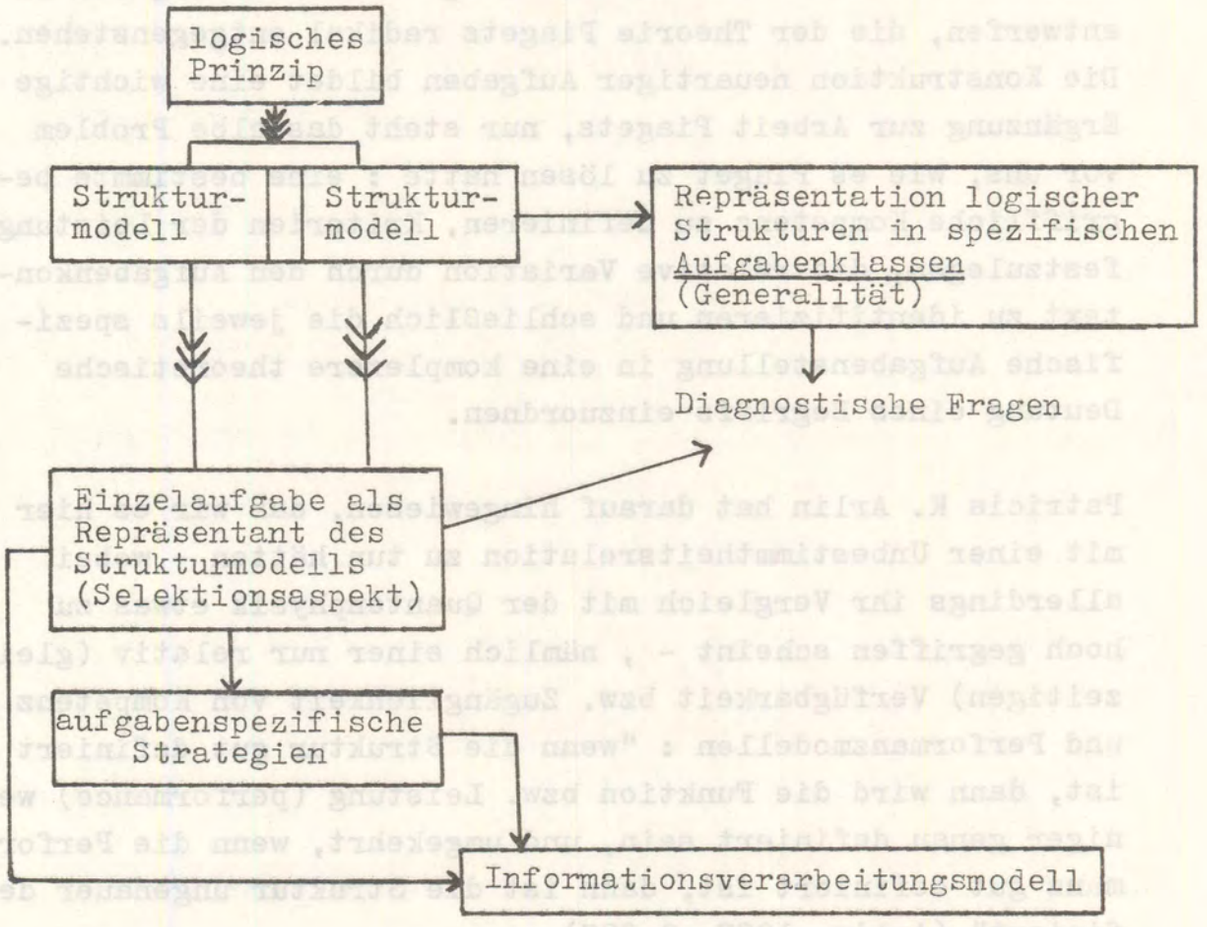



Abbildung 5 versucht zu verdeutlichen, daß nicht nur ein (mathematisch oder logisch begründetes) logisches Prinzip in verschiedenartige Strukturmodelle übersetzt werden kann (1) (wie es z.B. Piaget bei der Deutung der Invarianzaufgabe nach dem klassischen Kompensationsmodell und dem neueren Kommutativitätsprinzip getan hat), diese logischen

---

(1) vgl. dazu Institutsbericht 24/I

Strukturmodelle lassen sich dann auch wieder in spezifische Aufgabenklassen übersetzen, deren relative Generalität als auch wechselseitige Überschneidung begrifflich und empirisch geklärt werden muß. Ausgewählt aus solchen Aufgabenklassen steht die Einzelaufgabe (man denke an eine inhaltlich begrenzte Invarianzaufgabe) als Repräsentant eines Strukturmodells, und diese spezifische Aufgabenform kann aufgabenspezifische Strategien enthalten, die für die allgemeinere Aufgabenklasse, in die sie eingeordnet ist, nur relativ umschriebene Gültigkeit haben. Die Gefahr liegt wohl darin, aus solchen aufgabenspezifischen Strategien ein Informationsverarbeitungsmodell aufzubauen, dessen empirische Geltung oder Repräsentativität für eine umfassendere Klasse von Aufgaben ungeklärt ist. Welche Schwierigkeit solche Abbildungsrelationen machen können, sollen unter anderem die verschiedenartigen Modelle der Invarianzaufgabe veranschaulichen, die im Rahmen dieser Arbeit zusammengetragen wurden.

In Fischers Fertigkeitstheorie der kognitiven Entwicklung werden die früher genannten Kombinationsregeln (s. Flavell) explizit verwendet, um Modelle aufzubauen, die die Umwandlung bzw. Transformation von Fertigkeiten in komplexere Fertigkeiten verdeutlichen können (Fischer, 1980). "Die Fertigkeitstheorie behandelt die kognitive Entwicklung als die Konstruktion von hierarchisch geordneten Kollektionen von spezifischen Fertigkeiten" (Fischer, 1980, S.477). Diese Formulierung erlaubt es ihm, die Frage nach der Sequenz von Fertigkeiten in der Entwicklung und nach der Synchronität zwischen verschiedenartigen Fertigkeiten zu stellen. "Unter welchen Umständen zeigen Fertigkeiten invariante Entwicklungssequenzen und unter welchen Umständen entwickeln sich spezifische Fertigkeiten mit einem gewissen Grad an Synchronität?" (op.cit., S.479). Dadurch gewinnt das Modell eine explizite Beziehung zu Vorhersagen in der Entwicklung:

"Die Analyse von Fertigkeitsstrukturen und die Kontrolle von Umweltfaktoren wie Übung und Vertrautheit erlaubt die Vorhersage von speziellen Fällen nahezu perfekter Synchronität wie auch Vorhersagen verschiedenartiger Grade von Synchronität unter verschiedenen (Umwelt-)Bedingungen" (op.cit., S.484).

Die folgende Diskussion kann in keiner Weise der Komplexität von Fischers Ansatz gerecht werden. Dennoch soll der kritischste Punkt dieser Theorie angeschnitten werden. Die Strukturmodelle als auch die Transformationsregeln, die die Übergänge zwischen verschiedenartigen Niveaus von Fertigkeiten definieren, müssen als Modelle verschiedener Fertigkeitsbereiche präzise definieren, für welche (inhaltlichen) Entwicklungsbereiche sie Gültigkeit haben, wie allgemein diese Gültigkeit sein kann und welche empirischen Bestätigungsregeln dafür gefunden werden müssen. Die Komplexität der Modelle verdeckt nämlich, daß wir, um Zusammenhänge zwischen verschiedenen Fertigkeitsniveaus bzw. Niveaus der Denkentwicklung zu entdecken, nur relativ grobe empirische Zugangsmöglichkeiten kennen. Fischer spricht selbst die Begrenzungen seiner Theorie an, und seine Hinweise berühren das Zentrum der Problematik, die auch in diesem Abschnitt aufgeworfen wird.

Obwohl die Fertigkeitstheorie ein "allgemeines Porträt gibt, wie sich Populationen von Fertigkeiten mit der Entwicklung verändern" (Fischer, 1980, S.524), gelingt es ihr nur sehr unvollständig Fertigkeitsbereiche (skill domains) zu definieren. Fischers Definition verdeutlicht dies : Einen Aufgabenbereich (task domain) versteht er als eine "Reihe von Aufgaben, die alle einander sehr ähnlich sind, die typischerweise eine grundlegende Gruppe von Komponenten teilen, aber sich in zusätzlichen Komponenten, die für die Ausführung der Aufgabe erforderlich sind, unterscheiden". Fertigkeitsbereiche

schließen eine Reihe von Aufgabenbereichen zusammen, "die ähnliche Fertigkeiten teilen und sich daher in ungefährer Synchronität entwickeln" (Fischer, 1980, S.524). Sowohl die Definition von Aufgabenbereichen als auch von Fertigkeitsbereichen erfolgt weitgehend empirisch. Synchrone Entwicklungen von Fertigkeiten unter vergleichbaren Umweltbedingungen definieren die Zugehörigkeiten dieser Aufgaben zu einem Bereich von Fertigkeiten. Es liegt nahe eine Modellvorstellung zu verfolgen, die eine relative (größere oder kleinere) Überschneidung zwischen Aufgabenbereichen und Fertigkeiten annimmt. Diese Darstellung veranschaulicht, wie verführerisch die Transformationsmodelle von Fischer scheinen (die die Übergänge zwischen Fertigkeitsniveaus erklären sollen) und wie unsicher gleichzeitig ihre Beziehung zu inhaltlichen Phänomenen der Entwicklung (etwa der Denkentwicklung) erscheinen muß. Fischer spricht es selbst aus: "... die Fertigkeitstheorie wird schließlich Konzepte erfordern, die spezifizieren, welche Klebstoffe (glues) die Aufgabenbereiche zusammenfügen" (op.cit.,S.524). Hierarchisch angeordnete Fertigkeitsniveaus sind eine nützliche Modellvorstellung der kognitiven Entwicklung, aber man muß sich bewußt halten, daß dieses Modell die Entwicklung gleichsam in Scheiben zerschneidet (vertikal in Entwicklungsrichtung und horizontal zwischen Fertigkeitsbereichen gleichen Niveaus), ohne daß sie präzisieren könnte, wie die Teile in der Entwicklung dann wieder - mit welchem 'Klebstoff' - zusammengefügt würden.

Verwandt mit dieser Problemstellung ist die zweite, die Fischer als Problem innerhalb der Fertigkeitstheorie ungelöst sieht. Die Frage nämlich, wie man Fertigkeiten bei einer Person diagnostisch erfaßt. Dazu gehören seiner Ansicht nach sowohl die Einflüsse von Aufgabenunterschieden als auch von individuellen Unterschieden bei der Verwirklichung von Fertigkeiten : "Was sind die Prozesse, die bestimmen, welche Fertig-

keit ein Individuum in einer besonderen Aufgabe zu einem gegebenen Zeitpunkt anwendet?" (Fischer, 1980, S.525). Es ist von einiger Bedeutung, daß Fischer die Frage der Kompetenz- und Performanzunterscheidung hier umgehen kann, indem er Fertigkeiten eine geringere bzw. empirisch abgrenzbare Generalität zuordnet. Die Vorstellung eine Kompetenz des Kindes könne sich aufgrund von Begrenzungen im Aufgabenkontext bzw. in der Performanz nicht ausdrücken, wird in diesem Modell übergangen. Strukturmodelle von Fertigkeiten entwerfen in diesem Sinne strukturelle Modelle 'mittlerer Reichweite', deren Übersetzbarkeit in tatsächliche Leistungen bzw. Fertigkeiten implizit bei der Aufstellung des Modells mitgedacht ist (vgl. op.cit., S.525). Diese Argumentation erinnert an die Gedanken von Arlin (s.o.): indem man die Zugänglichkeit und Sichtbarkeit der 'Performanz', nämlich empirisch definierbarer Fertigkeitsbereiche in den Vordergrund rückt, werden zugleich Annahmen über die zugrundeliegende Kompetenz unschärfer. Betrachtet man Leistungsvariationen im Rahmen individueller Unterschiede bzw. Variationen von Aufgabenbedingungen, so präzisiert man damit die jeweilige Fertigkeit des Kindes, zugleich stellt man umfassendere strukturelle Gemeinsamkeiten von Fertigkeitsbereichen zurück. Selbst wenn die Unterscheidung von Performanz und Kompetenz in diesem Bereich eher verwirrend ist (in dem Sinne wie sie Flavell und Wohlwill (1969) eingeführt haben), so liegt der Betonung des Kompetenzaspektes (und schließlich der Frage nach Strukturveränderungen) Piagets Vorstellung zugrunde, kognitive Entwicklungsveränderungen umfaßten übergreifende qualitative Schritte, deren Generalität man durch die Formulierung von Strukturen und deren Konstitution und Verwandlung gerecht werden kann.

Bickhard hat die strengen theoretischen Annahmen diskutiert, die dem Postulat von Aufgabenfähigkeiten zugrundeliegen, die als aufgabennotwendige und aufgabenspezifische Fertigkeiten einer (entwicklungsmäßig höher stehenden) Fähigkeit vorausgehen. Die Annahme gewisser Fähigkeiten, die sowohl notwen-

dig als auch spezifisch für das Entstehen einer bestimmten Leistung in der Evolution oder in der Entwicklung sind, legt der möglichen Herkunft solcher Fähigkeiten enge logische Beschränkungen (logical constraints) auf (Bickhard, 1979, S.218). Daß aufgabenspezifische und aufgabennotwendige Bedingungen sozusagen plötzlich zusammengefügt werden und 'zusammenspringen', scheint ihm zwar logisch möglich, aber im Rahmen einer umfassenderen Theorie der Evolution wenig stichhaltig (op.cit., S.219). Eine anschaulichere Deutung ist die, aufgabenspezifische Fähigkeiten in einem größeren Kontext zu sehen : obwohl sie zum jetzigen Zeitpunkt in der Entwicklung oder der Evolution spezifisch für eine gewisse Aufgabe sind, waren dieselben Fertigkeiten einmal in einen Rahmen allgemeiner Fähigkeiten verwoben. Die Fähigkeiten werden aufgabenspezifisch dadurch, daß andere Aufgabenkontexte an Bedeutung verlieren und 'aussterben' (op.cit., S.219/220) oder in einen neuen Aufgabenkontext eingeordnet werden. Immer wenn eine Aufgabenform in der Entwicklungspsychologie untersucht wird, ist es daher notwendig, die mögliche Bedeutung aufgabenspezifischer und notwendiger Kontexte zu erörtern. Nimmt man etwa eine (angeborene) Fähigkeit des Kindes an, Zahlen zu erfassen (wie sie etwa als Wahrnehmungsschätzen oder 'subitizing' sowie als elementares Zählen beschrieben werden, Klahr und Wallace, 1976) so ist es "vernünftig (solche Grundlagen) nicht nur notwendig, sondern auch als spezifisch für die Zahlentwicklung anzusehen". (op.cit.p.222). Wenn nun Fähigkeiten tatsächlich spezifisch wären, welche Folgerungen sind dann daraus zu ziehen, daß in der Entwicklung solche bereichsspezifischen Fähigkeiten entstanden sind und welches sind ihre möglichen Vorläufer. Andererseits, wenn man solch eine Bereichsspezifität nicht annimmt, in welcher Weise sind dann solche Fähigkeiten allgemeiner gültig und bedeutsam auch für andere Aufgabenformen (op.cit.222).Fähigkeiten - zusammengefaßt - entspringen 'adaptiver Konstruktion' des Organismus, daher müssen sie auf bereits bestehenden Fähigkeiten und Fertigkeiten

des Organismus aufbauen. Solche Vorläufer sollten wir in der Entwicklungspsychologie verstärkt untersuchen.

Bickhards Argumentation führt auf die zentrale Frage bei der Analyse von Entwicklungssequenzen hin : das Problem der inneren zeitlichen Konstitution von kognitiven Fähigkeiten. Die Frage ist einerseits, wie man notwendige und hinreichende kognitive Voraussetzungen und Entwicklungsbedingungen zu definieren sucht, und andererseits, welche (methodischen) Beobachtungsregeln bei der Untersuchung solcher Voraussetzungen wirksam sind.

Die vorausgegangene Diskussion hat die Frage von Entwicklungssequenzen auf relativ allgemeiner Ebene erörtert. Der Rahmen dieser Diskussion waren die vorgestellten Modelle der Invarianzaufgabe und die Suche nach notwendigen Komponenten des Invarianzerwerbs. Ruft man sich einige der Modelle ins Gedächtnis, so sind zwei Grundideen besonders häufig : die eine beschreibt eine (unzuverlässige) Orientierung des Kindes an der Wahrnehmung, die durch den Übergang zu einer 'höheren' kognitiven Struktur aufgehoben wird (z.B. Erwerb der 'Identität', Acredolo, 1981; 'Transformationsklassen', Shultz et al, 1979); die zweite versteht den Erwerb des Invarianzbegriffs gleichsam aus dem Zusammentreten verschiedener Teilfertigkeiten (z.B. Reversibilität und Wahrnehmungskompensation) zu einer komplexeren Einheit. In beiden Ideen begegnet man natürlich Vorstellungen Piagets wieder, zugleich spiegelt diese grobe Unterscheidung der Modellvorstellungen auch eine Differenzierung hinsichtlich der zeitlichen Genese wider, die einige Verwirrung in der Diskussion kognitiver Voraussetzungen stiftet, weil sie wenig beachtet wird : nämlich die Konzentration auf die zeitliche Genese über einen längeren Zeitraum (über einige Jahre) gegenüber der Konzentration auf die Genese der Lösungsprinzipien selbst (als "Aktualgenese" im übertragenen Sinne) im Augenblick des Umgangs mit der Aufgabe. Tritt

die Aktualgenese in den Vordergrund (z.B. bei Pascual-Leone), so ist der Horizont der zeitlichen Genese von Teilkomponenten zwar mitgedacht, er spielt aber in der Konstruktion des Modells und in der Untersuchungstechnik eher eine untergeordnete Rolle. Umgekehrt, widmet sich eine Untersuchungsmethode eher einer zeitlich sehr ausgedehnten Entwicklung (so wie es in den Versuchen angedeutet ist, die Kindern verschiedenartige Fertigkeiten zu vermitteln suchen, um als "Förderungsstudien" (Vuyk) die zeitliche ausgedehnte Genese eines Konzepts zu verkürzen), tritt die logische Konstitution eines einzelnen Begriffs im 'statu nascendi' in den Hintergrund.

Diese Differenzierung ist hilfreich, um die Frage nach notwendigen und hinreichenden Bedingungen des Invarianzerwerbs prägnanter stellen zu können. So findet man etwa bei Siegler (1981) die überraschende Definition, physikalische Information sei weder "notwendig noch hinreichend" für das logische Verständnis der Invarianz. Er meint damit, Wahrnehmungsinformationen (etwa über Länge und Dichte der Steine in einer Zahlinvarianzaufgabe) fließe nicht in das begriffliche Urteil des Kindes ein. Merkwürdig daran ist, daß die Transformationsregeln, die Siegler formuliert, dennoch physikalische Informationen miteinbeziehen, sei es über qualitative Strategien, sei es über Wahrnehmungsschätzung. Seine Differenzierung von Transformationsregeln, die zuerst bei kleinen Mengen entwickelt werden, ehe sie auf die größeren ausgedehnt werden, führt implizit die Wahrnehmung als Informationsquelle wieder ein (Zur Wahrnehmung der "Anzahl" (numerosity) bei Säuglingen, siehe Strauss und Curtis, 1981). Hier gilt also Bickhards Argumentation: die Betrachtung eines Entwicklungsphänomens zu einem bestimmten Zeitpunkt, die Formulierung von Vorläufern eines komplexeren Begriffs, erfordert es auch die 'Vorläufer' dieser Vorläufer zu identifizieren, um ihre Spezifität und/oder Generalität im adaptiven Verlauf der Entwicklung zu verstehen. Es genügt nicht -

um ein Bild von Prof. Weinert zu gebrauchen - sozusagen den "Sockel" notwendiger Fähigkeiten zu formulieren, ohne deren eigene Genese weiter verfolgt zu haben, um dann verschiedene Fertigkeiten bzw. Voraussetzungen zu formulieren, die über den Sockel hinausführen. Dadurch, daß man die zeitliche Genese der Teilkonstituenten aus dem Auge verliert, die selbst wieder ab einem bestimmten Entwicklungsstand das Wechselspiel mit anderen konstituierenden Fertigkeiten ermöglichen, gelangt man zu dem irreführenden Bild, als träten zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Entwicklung "plötzlich" verschiedene Teile zusammen und ermöglichten dem Kind die begriffliche Konstruktion. Piagets Diskussionen haben diese innere Dynamik nie aus den Augen verloren, wofür ihm allerdings oft der Vorwurf gemacht wurde, er spreche in Zirkeln.

Dazu etwa Acredolos Diskussion der Reversibilität und Inversion : "Zu wissen, daß eine Handlung durch ihre Umkehrung negiert wird, bietet keine Garantie, daß die Handlung selbst irrelevant für die Quantität ist ... die Inversionsoperation für sich ist unlogisch und es scheint seltsam, daß Piaget darauf besteht, daß Inversion das Erkennen der Irrelevanz der Transformation fördert und nicht umgekehrt. Wir müssen schließen, daß Piaget im empirischen Sinne spricht." (Acredolo, 1981, S.226) ... "Wir scheinen nur den Zirkel zu bekommen: Erhaltung impliziert Reversibilität und Reversibilität zieht Erhaltung nach sich" (Acredolo, 1981, S.128). Die Interpretation der Reversibilität wurde oben bereits in Pinards Modell erörtert, so daß die Position Piagets hier nicht wiederholt werden muß. Betont werden soll aber noch einmal, daß die Mißverständnisse in Acredolos Diskussion (und sie finden sich ähnlich bei Shultz et al, 1979) durch die Zerlegung sich wechselseitig ergänzender Konstruktionen in einander verursachende Bedingungen entsteht. Die Genese der Reversibilität (bzw. der Inversion) und der konkreten Operationen (und wiederum speziell der Invarianz) ist für

Piaget eng aneinandergeknüpft. Mit den Worten Deanna Kuhns, "es ist die Reversibilität der Operationen und nicht wie üblicherweise fälschlich interpretiert, das Operieren (d.h. das Wirksamwerden, F.V.) der Reversibilität, die die konkreten Operationen konstituiert" (D. Kuhn, 1974, S.597).

Die Analyse von Indikatoren der Invarianzaufgabe wird nicht selten in der amerikanischen Piaget-Forschung mit der Untersuchung der Bedingungen des Invarianzerwerbs vermischt. Das führt dazu, daß z.B. Augenbewegungen des Kindes nicht mehr nur als Indikatoren der qualitativen Charakteristika des Urteils des Kindes betrachtet werden, sondern zu notwendigen Bedingungen für die kognitive Entwicklung des Kindes erklärt werden. In ähnlicher Weise wurden verschiedenartige Reizcharakteristika der Invarianzaufgabe zu notwendigen Bestandteilen für die Meisterung des Invarianzurteils erklärt (vgl. A und B Faktoren bei Murray, 1981). Es wäre voreilig, die Bedeutung solcher Aufgabenvariationen zu übergehen, hat doch Piaget einmal selbst amüsiert bemerkt, alle seine Studien, die er aus der Sicht des Subjekts durchgeführt hätte, müßten noch einmal aus der Perspektive des Objekts nachgeholt werden, nur liegt die Gefahr darin, solche einfachen Variationen und Indikatoren zu zentralen Merkmalen der Invarianzaufgabe zu typisieren. Dieser Gefahr kann man am besten begegnen, wenn man sich bewußt hält, daß Begriffserwerb und Invarianzerwerb sehr komplexe und umfassende kognitive und Erkenntnisleistungen einschließen.

Natürlich gilt es gerade die Vorschläge Piagets (etwa zur Rolle der Reversibilität) zu überprüfen, nur muß man dabei die methodischen Spielregeln beachten, damit sie nicht in der Vereinfachung des begrifflichen Modells eine Kontrolle der Position Piagets ausklammert.

Die Diskussion führt wieder auf einen früher erwähnten Vorschlag zurück : nämlich, daß konstitutive Teilfertigkeiten (etwa die Reversibilität) weitaus präziser in ihrer Genese studiert werden müssen, um den konstruktiven Prozeß, aus der solche Fähigkeiten entstehen, offenzulegen. Trainingsstudien, die diese Mechanismen dem Kind nahezubringen versuchen, ohne das zeitliche Zusammenspiel verschiedenartiger Teilschemata zu beachten, erlauben keine unzweideutige Klärung der Frage nach den wirksamen Entwicklungsbedingungen, weil der Kontext von Handlungsschemata beim Kind oft nur unzulänglich aufgeklärt wird, der andererseits der eigentliche Katalysator des Trainingserfolgs sein kann. Die Konvergenz vieler Ergebnisse aus dem Bereich der Trainingsstudien legt die Frage nahe, weshalb ein größerer Teil der trainierten Kinder nicht auf die intensiven Trainingsprogramme mit einer Verbesserung ihres Verständnisses des Invarianzbegriffs reagiert (1). Natürlich weisen diese Ergebnisse auf innere Grenzen in der kognitiven Entwicklung hin, die die Erfahrungsaufnahme innerhalb der Instruktion beschränken. Siegler (1979) nennt z.B. Begrenzungen der kognitiven Entwicklung auf physiologischer Ebene, auf der Erfahrungsebene (bezogen auf den Erwerb und die Vertrautheit mit Teilfertigkeiten), auf der Ebene der Informationsverarbeitungsfähigkeit (hinsichtlich des Arbeitsgedächtnisses) und schließlich strukturelle Begrenzungen (Stadien) im Sinne Piagets. Trainingsstudien erlauben u.U.

---

(1) "Es besteht nicht länger Zweifel darüber, daß Nichterhalter instruiert werden können, die Erhaltung zu verstehen, obwohl es das etwas pessimistische Resultat gibt, daß das Training, sogar sehr individualisiertes Training, entweder mit der Hälfte der Nichterhalter in der Stichprobe erfolgreich ist oder nur die Hälfte der Verbesserungen in der Invarianz, die möglich sind, von Nichterhaltern erreicht werden, soweit die Verbesserungen die anspruchsvolleren Kriterien der Dauerhaftigkeit, Löschung und spezifischer Transferkriterien des Paradigmas erfüllen" (Murray, 1981, S.170).

die Einbeziehung solcher 'Grenzen' als notwendige Bedingungen der kognitiven Leistung des Kindes (vgl. dazu Case, 1980), ihr Zusammenwirken mit spezifischen Handlungsschemata eines Konzepts wie der Invarianz ist aber noch ein Thema theoretischer Diskussionen (s. Pascual-Leone, 1976, Case, 1980).

Der Vollständigkeit halber enthält Abb. 6 Beispiele für mögliche Begrenzungen des kindlichen Denkens, die beim Invarianzerwerb eine Rolle spielen könnten und auch die Trainierbarkeit von Konzepten beeinflussen könnten.

Abbildung 6

Kognitive Grenzen kindlichen Denkens

+ inhaltlich unzulängliche Strategien (Case)
  z.B. eindimensionale Strategien, Wahrnehmungsstrategien
+ Grenzen der Informationsverarbeitungsfähigkeit
  z.B. Arbeitsgedächtnis für die Konstruktion einer Aufgabenlösung (Pascual-Leone)
+ Substrategien, die noch nicht ausreichend automatisiert oder koordiniert sind
  (sie beanspruchen daher das Arbeitsgedächtnis)
+ Abstraktionsebene der beteiligten Konzepte
  Abstraktion im beteiligten Konzept (vonGlasersfeld);
  Empirische vs. Reflektierende Abstraktion;
  physikalische Abläufe vs. operative Vorgänge

Abschließend soll noch auf die vergessene "Rolle des Subjekts in der Subjekt-Objekt-Interaktion" (Vuyk, 1981, Kapitelüberschrift) hingewiesen werden. Die Eigenart von Lösungsmodellen in der amerikanischen Psychologie ist im Grunde, daß sie Lösungsschritte relativ unabhängig von subjektiven Rekonstruktionen des Kindes zu betrachten suchen. Das mag daran liegen, daß man Problemlösungsaufgaben von relativ großem Neuigkeitswert verwendet, die nicht in die persönliche Lerngeschichte eingebettet sind. Zusammenhänge zwischen Problemstellungen sind eine Funktion der individuellen Lerngeschichte (z.B. das Maß an horizontaler Verschiebung zwischen verschiedenartigen Invarianzaufgaben), wobei Verallgemeinerungen über Individuen dadurch gelingen, daß eine Wechselbeziehung zwischen Aufgaben von der Sicht eines allgemeinen epistemischen Subjekts analysiert werden (vgl. Gillieron, 1980, S.294, Pascual-Leone et al, 1978). Definiert man hingegen Zusammenhänge zwischen Aufgaben über Parallelen in der Lösungsprozedur, ohne die subjektive Rekonstruktion miteinzubeziehen, so erhält man eine relativ isolierte Prolemanalyse, deren Stellenwert in der übergreifenden Entwicklung unklar ist.

Hayes und Simon (1977, S.22) z.B. definieren zwei Probleme als isomorph, "wenn irgendein Lösungsschritt des einen, Schritt für Schritt in einen Lösungsweg eines anderen und umgekehrt übersetzt werden kann" (S.22). Entdeckt man solche isomorphe Probleme, so kann man versuchen, solche Aufgabencharakteristika wie "die Zahl der Schritte, die für eine Lösung erforderlich sind, oder die Zahl der Sackgassen" (als fehlerhafte Lösungsansätze, F.V.) zu kontrollieren. "Systematische Unterschiede zwischen Isomorphen können besonders gute Hinweise, unkonfundiert mit anderen formalen Eigenschaften, auf Determinanten der Problemschwierigkeit, Transfer von Training und Art der Problemformulierung" (op.cit., S.22) ergeben.

Solange man die Ziele der genetischen Psychologie deutlich von jenen der amerikanischen Psychologie abgrenzt, muß diese Interpretation nicht zu Schwierigkeiten führen : "Der Gegen-

stand der genetischen Psychologie ist die langfristige epistemische Umformung der adaptierten Handlung in Erkenntnis, die kognitive Wissenschaft (artifizielle Intelligenz, Simulation und kognitive Psychologie) hat zum Gegenstand die mittelfristige, pragmatische Transformation der Erkenntnis in Handlung" (Céllerier, 1979, S.163).

Es sind die Schlußfolgerungen ("inferences") und Rekonstruktionen des (erkennenden) Subjekts, die in der genetischen Psychologie als Grundlage umfassender struktureller Veränderungen betrachtet werden. Die Genfer Schule beschäftigt sich seit einigen Jahren mit der Frage, in welcher Weise Prozeduren, die das Kind meistert, und zeitlich aufeinanderfolgende Handlungsfolgen, die es aus eigener Intention aufbauen kann, mit dem Erkenntniserwerb in Zusammenhang stehen - d.h. mit der Bildung von Strukturen. Inhelder und Piaget sprechen von einer engen Solidarität beider Aspekte "... jede Struktur ist tatsächlich, das Resultat prozeduraler Konstruktionen, in gleicher Weise wie jede Prozedur diesen oder jenen Aspekt der Strukturen verwendet" (Inhelder und Piaget, 1979, S.174) (siehe Abb.7).

Abbildung 7 Eigenheiten von Strukturen und Prozeduren (nach Inhelder und Piaget, 1979) (aus Vuyk,1981)

| Strukturen (structures): | Prozeduren/Verfahrensweisen (procédures): |
|---|---|
| + zeitlich nicht ausgedehnt ("intemporelle") | + zeitlich ausgedehnt |
| + notwendige Beziehungen innerhalb der Struktur | + auf ein Handlungsziel gerichtet (final) |
| + Strukturen sind ineinander verschachtelt ("l'emboîtement") | + Prozeduren sind aneinander geknüpft oder gekettet ("l'enchaînement") |
| + integrierte Systeme mit hoher Generalität | + unbegrenzte Vielfalt der Prozeduren |

Diese Unterscheidung zwischen Strukturen und Prozeduren belegt zugleich die Schwierigkeit, isoliert definierte Voraussetzungen oder Fertigkeiten für ein komplexes Konzept zu definieren. "... die Dialektik der Strukturen stellt einen grundlegenden und eigentümlichen Charakter der Kognition dar, den man entweder gar nicht oder in viel weniger allgemeinerer Form im Bereich der Prozeduren findet: denn, im Falle der Aufhebung einer Struktur durch eine andere, die von ihr abgeleitet ist, ist die Aufgehobene (depassé) immer in die Übernehmende (dépassant) integriert" (Inhelder und Piaget, 1979, S.172-173). Der zentrale Mechanismus bei der Konstruktion der konkreten Operationen (und natürlich auch anderer logischer Strukturen) und speziell für die Invarianz ist für Piaget die reflektierende Abstraktion, die Handlungszusammenhänge auf eine neue Ebene projiziert und auf dieser Ebene rekonstruiert. Dieser Mechanismus bezieht sich auf eine sehr umfassende Sicht menschlicher Erkenntnis, die einerseits der Konstruktivität des menschlichen Erkennens und andererseits der inneren Notwendigkeit der Konstruktionen des Wissens begegnen will (1).

Zusammengefaßt kann man sagen, daß der Erkenntnisgegenstand, mit dem sich die vorausgegangene Diskussion beschäftigt,

---

(1) Kesselring formuliert die Frage nach der Beziehung zwischen Wissen und Gegenstand des Wissens folgendermaßen

"1. Alle Gegenstände oder Inhalte des Wissens sind epistemologisch als Modelle oder Konstrukte und die Entwicklung des Wissens folglich als eine Entwicklung solcher Konstrukte zu begreifen.

2. Das sich entwickelnde Bewußtsein faßt die Gegenstände seiner Erkenntnis nicht als Konstrukte auf. Die Erkenntnistheorie muß also die Mechanismen erklären, die es dem erkennenden Subjekt erlauben, seine Wissensinhalte statt als Konstrukte als subjekt-unabhängige Gestalten zu begreifen".

(Kesselring, 1981, S.64)

einigen Widerstand bietet, wenn man versucht, ihn in das traditionelle Modell der Bedingungsvariation in der experimentellen Psychologie einzuordnen. Die Formulierung notwendiger als auch hinreichender Bedingungen wird erschwert durch die Wechselbeziehungen zwischen Bedingungen und dem Gegenstand selbst (ist Reversibilität Voraussetzung oder Indikator der Erhaltungsoperation?) wie auch durch die Probleme, die wirksam werdenden kognitiven Voraussetzungen selbst zu formulieren und zu beobachten. Die zentrale These dieses Abschnitts war es, die behaupteten Konstituenten der Invarianz müßten selbst in größerem Detail in ihrer eigenen Genese studiert werden, um aus dem Konstruktionsprozeß der Teilprozesse und -prozeduren ihr Zusammenwirken mit anderen Konstruktionen des Kinds zu verstehen und auch die Möglichkeit ihrer Synthese zu einem komplexeren Begriff.

> Sähst du feiner, so würdest du alles bewegt sehen: wie das brennende Papier sich krümmt, so vergeht alles fortwährend und krümmt sich dabei. (Friedrich Nietzsche, Die Unschuld des Werdens, Nachlaß, Band 2, Kröner 1931, 72)

+++++

Nachfolgend sollen die Handlungsschemata, die Piaget im Zusammenhang mit der Entwicklung der konkreten Operationen herausgestellt hat, in ihrer Beziehung zur Invarianz diskutiert werden, um die empirische Absicherung möglicher notwendiger und/oder hinreichender Bedingungen anzudeuten.

## 4.2. Voraussetzungen und Vorläufer der Invarianzaufgabe

### 4.2.1. Kompensation - mögliche Vorbedingung des Invarianzurteils?

Piaget unterscheidet eindeutig zwischen dem Wissen um die Kovariation von Dimensionen und dem Wissen um Kompensation (Piaget, 1967). Kovariation gründet auf empirischem Wissen, auf der Einsicht in die funktionalen Zusammenhänge zwischen den beteiligten Dimensionen, die zudem vorher isoliert werden mußten (z.B. die Veränderung der Dimensionen 'Länge' und 'Dichte' in entgegengesetzter Richtung; vgl. dazu Fischers (1980) 'mapping'). Piaget ordnet dieses Wissen eher dem figurativen Pol zu, da keine logischen Operationen beteiligt sind. Selbstverständlich konnte man präoperative Begrenzungen annehmen, die sich im Verständnis des Kindes für funktionelle Veränderungen zweier Dimensionen ausdrücken. Das Kind versteht eine qualitative Funktion, nicht aber ihre quantitative Bedeutung (Piaget, Grize, Szeminska, Vinh-Bang, 1977).

Kompensation hingegen impliziert quantitative Konstanz - d.h. Erhaltung (Acredolo, 1981, S.122). Das Kind erkennt den logischen Zusammenhang zwischen den beteiligten Dimensionen (z.B. Länge und Dichte) - die Veränderung in der einen räumlichen Dimension ist proportional der Veränderung der anderen : "diese beiden 'Relationen' heben sich logisch gegenseitig auf" (Acredolo, 1981, op.cit., Unterstreichung vom Verfasser).

Acredolo (1981) belegt ausführlich, wie Piagets Unterscheidung in der amerikanischen Forschung ignoriert wurde. Aufgaben, die das kindliche Wissen um die Kovariation von Dimensionen prüfen, müssen keine direkte Beziehung zum logischen Wissen des Kindes haben. Solche Kovariationsaufgaben wurden in Form von Antizipationsaufgaben verwendet (z.B.

läßt man das Kind vorhersagen, wie hoch die Flüssigkeit nach dem Umgießen in ein anderes Gefäß stehen wird) (vgl. Bruner, 1966, Brainerd, 1977b) und sie finden sich auch in abgeänderter Form in der Wahrnehmungsintegrationsaufgabe von Anderson und Cuneo (1978), die eine multiplikative Kompensationsregel (z.B. Länge x Dichte) als Index für ein logisches Verständnis des Kindes für die Kompensation deuten. Für Piaget ist das Verständnis des Kindes für die Kompensation nicht an solchen Kovariationsvorhersagen ablesbar. Für ihn erschließt sich das Wissen des Kindes aufgrund logischer Evidenz, nicht aufgrund eines Wahrnehmungsurteils. "Es ist die logische Gleichsetzung der beobachteten Veränderungen in den kovariierenden Dimensionen, die die extensive Quantifikation und Kompensation ausmacht" (Acredolo, 1981, S.123). Die (empirische) Vorhersage der Kovariation und das (logische) Wissen um die Kompensation sind unabhängige Entwicklungsprinzipien; Kompensation gründet nicht auf dem Kovariationswissen, obwohl beide ein grundlegendes Verständnis funktioneller Beziehungen zwischen Dimensionen einschließen; die Kovariationsvorhersagen kann das Kind auch dann noch präzisieren, wenn es die (logische) Kompensation bereits begriffen hat (Acredolo, 1981, S.123-125; vgl. dazu auch Sieglers Experiment mit Erwachsenen, 1981, S.48-49).

Das logische Verständnis der Kompensation ist überaus schwer zu erfassen. Traditionell schloß man aus der Erklärung des Kindes, daß es die Kompensation verstanden habe (z.B. Vonèche und Gruber, 1977, S.308 ff., 342-345, 460). Erklärungen sind aber möglicherweise ein sehr konservativer Zugang zum Wissen des Kindes : das Kind könnte eine Invarianzaufgabe aufgrund des Verständnisses der Kompensation und der Inversion (beides unterschiedliche Indizes der Reversibilität, s.u.) lösen (vgl. Acredolo, 1981, S.125),

ohne die in Frage stehende Lösungsregel formulieren zu können. Es ist fraglich, ob Kinder systematischen Zugang zu den beteiligten, relativ 'automatisch' ablaufenden kognitiven Prozessen haben. Eine angemessene Kompensationserklärung kann im Grunde eine Rekonstruktion des Lösungsprozesses implizieren (eingeleitet durch die 'Warum?'Frage), die nicht in eindeutiger Weise mit den tatsächlich ablaufenden kognitiven Prozessen zusammenhängen muß (vgl. zur Veranschaulichung die Ergebnisse von Gelman und Weinberg, 1972). Zudem ist die sprachliche Formulierung nur selten logisch präzise : es ist oft schwer zu unterscheiden, ob das Kind eine (empirische) Kovariation bzw. Korrelation zwischen den Dimensionen oder eine (logische) Kompensation beschreibt. Piaget ging bei der Auswahl von Protokollen oft relativ sorglos vor. "Wir müssen uns fragen, wie häufig eine bloße Erklärung einer Korrelation für den Ausdruck eines logischen Wissens mißdeutet wird" (Acredolo, 1981, S.125). Wie man zu solchem logischen Verständnis des Kindes zuverlässig Zugang finden kann, ist demnach noch weitgehend offen.

Gelman und Weinberg (1972) belegen, wie selten Kinder Hinweise auf Kovariationen der Kompensation als Erklärungen bei der Invarianzaufgabe verwenden, z.B. fanden sie bei jeweils 20 Kindern aus der 1., 2., 3. und 6. Klasse nur o,o,2 und 3 Kinder, die eine vollständige Kompensationserklärung gaben. Bezieht man auch minimale Hinweise auf die Beziehung beider Dimensionen mitein, steigt die Zahl der angemessenen Erklärungen im Sinne einer Kovariation nur unwesentlich an (vgl. Tabelle 1 bei Gelman und Weinberg, 1972). Selbst in einer Aufgabe, in der die Kinder explizit aufgefordert wurden, zu erklären, warum zwei Gläser gleichviel Wasser enthielten, sind vollständige Kompensationserklärungen selten (Kompensationserklärungen erfordern, daß das Kind eine <u>inverse</u> Beziehung zwischen den beteiligten Dimensionen beschreibt, z.B. "it is taller because it's narrower"), z.B. nur bei 20% der 6.Klässler, während die Hinweise auf zwei Dimensionen häufiger sind (ca. 50% bei den beiden älteren Gruppen, Gelman und Weinberg, 1972, S.378-379) (1).

---

(1) "Es ist interessant, festzuhalten, daß nur <u>ein</u> Erhalter ein Kompensationsargument beim Gewichtsinvarianztest verwendete: die Mehrzahl gab Identitäts- oder Reversibilitätsbegründungen" (Heron & Dowel, 1973, S.217, Papua-Kinder).

Die Fähigkeit Kompensation zu erklären, entwickelt sich scheinbar wesentlich nach dem Invarianzkonzept. Ähnlich findet z.B. Hooper (1969) bei Identitäts- und Äquivalenzinvarianzaufgaben Kompensationserklärungen vergleichsweise selten (zwischen 25 und 13 % je nach Aufgabenform), überraschenderweise mit den niedrigsten Erklärungsanteilen beim traditionellen Aufgabenformat Piagets (Flüssigkeitsinvarianz) (Hooper, 1969, Tabelle 2, S.244).

Interessanterweise sind Trainingsstudien mit Kovariationserfahrungen relativ erfolgreich (z.B. Sheppard, 1974), obwohl solche Trainingsuntersuchungen oft fälschlicherweise als Kompensationserfahrungen beschrieben werden. Sheppard findet z.B. relativ gute Wirksamkeit des Kovariationstrainings bei Flüssigkeits- und Substanzinvarianzerfahrungen, bei leichtem Transfer auch auf andere Invarianzaufgaben. Allerdings tauchen in seiner Studie bei den Erklärungen der Kinder keine Beschreibungen der kompensatorischen Beziehungen zwischen den Dimensionen auf, was im Grunde überraschend ist, denkt man daran, wie oft dieser Reizaspekt den Kindern vorgeführt wurde. Erklärungen durch Reversibilität, Inversion und Identität sind typisch (Sheppard, 1974, S.726-727). Da nicht ausgeschlossen werden kann, daß Kinder im Trainingsexperiment auf andere Aufgabenaspekte aufmerksam geworden sind (Inversion, Identität), erlaubt es dieser Forschungsansatz nicht, schlüssig zu beantworten, ob (logisches) Wissen um Kompensation oder empirisches Wissen um Kovariationen als notwendige und/oder hinreichende Bedingungen für Invarianzurteile angesehen werden können.

Studien, die die Beziehung zwischen dem Wissen des Kindes über die Kompensation (erfragt anhand eigens entworfener Aufgaben) und anschließender Wirksamkeit bestimmter Trainingsstrategien verfolgt haben, sind nicht schlüssig, weil die verwendeten "Kompensations"-Aufgaben die Antizipation von Flüssigkeitsniveaus betrafen, also Kovariationsbeziehungen prüften. Im Rahmen solcher Testaufgaben sind (logisch notwendig empfundene) Kompensationsrelationen nicht zum Ver-

ständnis des Aufgabenkontextes erforderlich. Obwohl die Ergebnisse dieser Untersuchungsmethodik widersprüchlich sind, erlauben sie nur den vorsichtigen Schluß (vgl. Curcio et al, 1972, Brainerd, 1976), daß die Trainierbarkeit von Invarianzaufgaben manchmal vom Vorwissen des Kindes zur Kovariation beteiligter Dimensionen abhängt, wiederum in Abhängigkeit von der verwendeten Trainingsprozedur (vgl. dazu Brainerd, 1976, S.4).

### 4.2.2 Inversion - eine weitere logische Vorbedingung der Invarianz?

Acredolo (1981, S.125-127) beschreibt detailliert die Mißverständnisse, die bei der Verwendung der Begriffe 'Inversion' und 'empirische Umkehr' typisch sind. Weiß das Kind, daß durch eine einfache Umkehrung der Transformation der Ausgangszustand wieder hergestellt werden kann, spricht Piaget einschränkend von empirischem Wissen, da das Kind nur die Rückkehr zu einem 'statischen Zustand' des Gegenstandes kennt. "Inversion dagegen umfaßt die Erkenntnis, daß eine spezifische Handlung und ihre Umkehrung einander aufheben, nicht nur in äußerlich sichtbaren Phänomenen, sondern auch in logischer Hinsicht" (Acredolo, 1981, S.126). Versteht das Kind Inversion, gelingt es ihm zugleich auch die Bedeutung der Transformation - z.B. mengenverändernd oder nicht - einzustufen.

Die Verhaltensindizes, die das kindliche Wissen der Inversion erfassen sollen, sind wiederum nicht sehr zwingend : Erklärungen des Kindes, die Hinweise auf die Rückkehr zum anfänglichen Zustand in begrenzter Häufigkeit einschließen, erlauben nicht den Schluß, ob das Wissen um die Reversibilität der Handlungen konstitutiv für das Invarianzkonzept ist. Zuverlässige Prozeduren für die Beobachtung der Reversibili-

tät bzw. der Inversion müssen noch entwickelt werden (vgl. Acredolo, 1981, S.127). Schließlich sind Trainingsstudien, die das Phänomen der Reversibilität (oder zumindest der empirischen Umkehr) zu vermitteln versuchten, relativ erfolgreich (s. dazu Brainerd & Allen, 1971, Brainerd, 1973, Kuhn, 1974, Beilin, 1971, 1978), obwohl wiederum gefragt werden kann, ob Trainingstechnik und vom Kind abgeleitetes Wissen identisch sein müssen.

Seine Skepsis über die Beziehung zwischen intendierter Trainingstechnik und tatsächlich wirksamer Trainingserfahrung drückt Acredolo folgendermaßen aus : "Es ist möglich, daß alle erfolgreichen Trainingsmethoden, einschließlich der verbalen Regelinstruktionstechnik (...), Inversionstraining (...), und Kompensationstraining, teilweise wirken, indem sie Invarianz durch Identität statt Erhaltung mittels Reversibilität ermutigen. ... viele Trainingstechniken wirken in erster Linie dadurch, daß sie Kinder anregen ihr Vertrauen in Wahrnehmungsreize aufzugeben; statt reversible Operationen zu erlernen, könnten Kinder erhalten in Abhängigkeit von ihrem Erkennen, daß keine Addition oder Subtraktion vorgenommen wurde" (Acredolo, 1981, S.133).

Piagets Unterscheidung wird von einigen Autoren nicht nachvollzogen, obwohl ihr Piaget großes Gewicht beimißt. So kritisiert er auch an der Arbeit Bruners (1966), daß empirische Umkehrung ('renversabilité') ein physikalisches Konzept sei (so wie ein Gummiband, das verformt wird und dann wieder zu seinem Ausgangszustand zurückkehrt), wohingegen Reversibilität ein 'logisch-räumliches' oder operatives Konzept sei.

Murray und Johnson (1969, 1975) kritisieren Piaget, daß er keine Verhaltenskriterien benannt hat, die seine beiden Begriffe unterscheiden lassen, so daß sie die Last des Beweises der Genfer Schule zuweisen (Murray und Johnson, 1969, S.286). Logisch scheint ihnen Reversibilität unnötig, da die bloße Umkehrung der Transformation keine Information über die zu erhaltende Eigenschaft liefere, und psychologisch sei sie vermutlich ohne Bedeutung, da ja schon Vorschulkinder und in jedem Fall auch Kinder, die die Invarianz noch nicht verstehen, 'Reversibilität' in ihrem Verhalten zeigen (Murray und Johnson, 1969, S.285).

Sie versuchen diese Thesen mit Untersuchungen mit der Gewichtsinvarianzaufgabe zu belegen, wobei sie eine größere Zahl von Transformationen vornehmen. Dazu gehören nicht nur Formveränderungen in Piagets klassischer Aufgabe, sondern auch Veränderungen in der Kontinuität (Aufteilen in mehrere Teile), räumliche Verschiebungen (verschiedene räumliche Positionen), Änderungen des Kontexts (z.B. nahe einem kleinen oder großen Ball liegend) und Temperaturveränderungen (Erwärmen einer Kugel). Die Ergebnisse deuten an, daß Kinder mit acht Jahren (in der Studie von 1975 nahmen 120 Kinder aus der zweiten Klasse teil) das Gewicht eines Gegenstandes als Funktion sehr verschiedenartiger Variablen erleben, nämlich Masse, Form, Kontinuität, Kontext und Temperatur. Die Klassen von Transformationen führt also weit über das hinaus, was Piaget in seinen traditionellen Invarianzaufgaben durchgeführt hat.

Allerdings zeigt diese Studie, wie verwirrend die Diskussionen um Piagets Konzepte geführt werden können. Teilt man die von Murray durchgeführten Transformationen in logisch relevante und logisch irrelevante Transformationen, so sind für das Gewicht nur Massenänderungen des Objekts (also Addition und Subtraktion) bedeutsam und: Distanzänderung zwischen der Erde und dem Massenobjekt (wie bei einem Gedankenversuch, wenn man einen Tunnel in die Erde graben würde, s.Aufgabe 16 bei Murray und Johnson (1975, S.707-708)).

Welche Bedeutung haben nun empirische Inversionen (d.h. Rückgängigmachen der Transformationen) bei den aufgezählten für das Gewichtskonzept logisch irrelevanten Transformationen? Welcher Unterschied besteht überhaupt zwischen der empirischen Umkehrbarkeit und der 'wahren' Reversibilität (vgl.

Murray und Johnson, 1969, S.286). Mißverständlich bleibt, daß die Autoren nicht die Mehrdeutigkeit eines Vorgangs anerkennen. Dieselbe Transformation läßt sich in Piagets Schema einem empirischen Vorgang oder einer logisch-räumlichen Ebene zuordnen (s. Piaget, 1967, S.533). "Die wesentliche Unterscheidung, wenn man wirklich zwischen Revertibilität (renversabilité) und Reversibilität unterscheiden will, ist die zwischen einer Handlung, die physikalisch ausgeführt wurde und der gleichen Handlung, die geistig ausgeführt wurde. Die erstere ist niemals reversibel, auch wenn Handlungen wie Addieren-Subtrahieren beteiligt sind" (Pinard, 1981, S.30).

Gladstone und Palazzo suchen empirisch zu zeigen, daß Vorschulkinder beginnend mit drei Jahren über die Umkehrbarkeitsurteile verfügen: dabei geht es darum, daß die Kinder die Flüssigkeitshöhe in einem Becher vorhersagen, den man zuvor in einen anderen geleert hat und der nun mit dieser Flüssigkeit wieder gefüllt werden soll. Die Urteile der Kinder, wie hoch die Flüssigkeit steht, gehen relativ gut in die erwartete Richtung, aber die Urteile verbessern sich zugleich mit der Sequenz, die vom Kind durchgeführt werden muß. Das Kind interpretiert diese Umkehrung also als Schätzvorgang und wird durch physikalische Erfahrungen zunehmend genauer. Es bleibt unklar, weshalb die Autoren diese Umkehrung der Höhenbeziehungen als "empirical reversibility of height" (S.547) mit Piagets Deutung der Reversibilität in Verbindung bringen wollen. Sie vergessen auch, daß das Reversibilitätskonzept für Piaget im Rahmen der Invarianzaufgabe seine Bedeutung gewinnt, wo das Kind eine notwendige Beziehung zwischen den beteiligten Dimensionen oder der durchführten Transformationen erkennt.

Kurz, für Piaget ist "Reversibilität in ein System von geistigen Operationen integriert, die eine abgeschlossene atemporale Struktur konstituieren, während Umkehrung sequentielle Handlungen impliziert, die voneinander unabhängig sind: man kann erhitzen ohne abzukühlen, man kann mischen ohne (anschließend zu sortieren), aber man kann nicht denken A+B=C, ohne auch implizit zu denken C-A=B, C-B=A etc" (Pinard, 1981, S.30). "... Die Konsitenz im Verhalten von nichterhaltenden Kindern spiegelt nicht eine frühe Form von

Reversibilität wieder, sondern nur eine Art von Konsistenzcharakteristik von präoperationalen Kindern in der Manipulation physikalischer Handlungen (beobachteten oder vorgestellten)" (Pinard, 1981, S.31-32).

4.2.3. Identität - logische Vorläufer der Invarianz?

Die Identitätstheorie der Invarianz wurde schon früher vorgestellt, so daß die Bedeutung der quantitativen Identität - im Sinne des Prinzips der Abwesenheit von Addition oder Subtraktion - hier nur kurz erwähnt werden braucht (Acredolo, 1981, S.129-133). In dieser Theorie wird die quantitative Identität mit der Konzentration des Kindes auf quantitative Reize identifiziert, so daß das Urteil gleichzeitig von Wahrnehmungsreizen abgelöst ist. Diese Umorientierung der Aufmerksamkeit des Kindes war in Trainingsstudien relativ erfolgreich (vgl. Gelman, 1969). Interessant ist auch, daß die Erklärungen eines Kindes durch Identität (Addition/Subtraktion: "du hast nichts weggenommen" etc.) sowohl bei Studien häufig beobachtet wurde, die die Entwicklungssequenzen verschiedenartiger Invarianzaufgaben untersucht haben, als auch bei Trainingsstudien relativ häufig ist, selbst dann, wenn eine ganz anders geartete Trainingstechnik durchgeführt wurde (z.B. Sheppard, 1974, Hooper, 1969).

Ähnlich wie bei den zuvor diskutierten Konzepten unterscheidet die amerikanische Forschung nicht zwischen physikalischen bzw. empirischen Regeln der Identitätserhaltung und logischem Wissen des Kindes über die Identität (vgl. Pinard, 1981). Selbst Acredolo (1981), der diese Unterscheidung bei den anderen Konzepten unterstreicht, ist in seiner Verwendung des Begriffs der 'quantitativen Identität' relativ unpräzise. Piaget nimmt sie sehr wichtig : Regeln zum Vergleichen der

Zustände vor und nach der Transformation bewältigt das Kind schon im späten Vorschulalter (ab etwa fünf Jahren), so auch beim Vergleich durch Zählen; diese Vergleichsstrategien müssen aber noch kein operatives Verständnis dieser Aufgabenform einschließen. Piagets neue Formulierung der Invarianz beruft sich ausdrücklich auf die Korrespondenzen zwischen den Zuständen (die sich in den quantitativen Vergleichsregeln widerspiegeln), die das Wissen über Transformationen vorbereiten, und später dem Transformationsvorgang und dem Wissen über die Wirkungen der Transformation untergeordnet werden (Vuyk, 1981, S.136-140).

Überraschenderweise geht Acredolo (1981) nicht auf die Kontroverse ein, in welcher Reihenfolge Identitätsinvarianz und Äquivalenzinvarianz erworben werden. Dieses Forschungsprogramm, das auf die Anregungen Elkinds zurückgeht (Elkind, 1967), hat nur begrenzt schlüssige Ergebnisse geliefert, in erster Linie wohl, weil komplexe Zusammenhänge und Interaktionen zwischen untersuchter Altersstufe, Aufgabenkriterien, Aufgabenmaterialien und beobachteter Reihenfolge der beiden Aufgabenformen zu beobachten sind (vgl. Miller, S.A., 1978, Brainerd & Hooper, 1978). Manche Invarianzmodelle betrachten die Identitätsinvarianz als notwendige Vorbedingung der Äquivalenzinvarianz, und letztere Aufgabe in jedem Fall als schwerer, da sie einen zusätzlichen Vergleich erfordert. In der Sicht Piagets ist diese Unterscheidung nicht so bedeutungsvoll, und in einer Reihe von Modellen sind die Mechanismen, die die beiden Aufgaben erfolgreich lössen lassen, relativ identisch (z.B. bei den Kompensationsmodellen). Man findet hier also ein ähnliches Dilemma, wie in anderen Forschungsprogrammen, die zuvor diskutiert wurden : unzureichende begriffliche Abklärung des Konzeptbereichs wird ergänzt von empirischen Bedingungsvariationen, deren Ergebnisse bislang aber nicht schlüssig sind. Ob ein bedeutsamer zeitlicher Unterschied in dem Entstehen der Identitätsinvarianz und der

Äquivalenzinvarianz besteht, ist nicht klar, wobei Millers These, die Aufgaben entständen innerhalb einiger Monate in einem 'ähnlichen' Entwicklungsabschnitt, die empirischen Ergebnisse am besten abzudecken scheint, zugleich aber unklar ist, was ein solch enger zeitlicher Zusammenhang für die Konstruktion der notwendigen Handlungsschemata in beiden Aufgabenformen bedeutet.

## 4.3. Zusammenfassung

Piagets Theorie wird in der gegenwärtigen empirischen Forschung oft nur unvollständig wiedergegeben und überprüft. Das lag z.T. an Piagets eigener 'Entwicklungsdynamik", seine Positionen wurden von ihm kontinuierlich weiterentwickelt. Seine neuen Gedanken zur Invarianz, die er seit der "Äquilibrationstheorie" (Piaget, 1976) immer wieder aufgegriffen hatte, haben in die amerikanische Forschung, die in der empirischen Forschung eine führende Stellung einnimmt, kaum Eingang gefunden. Dadurch gewinnen manche Diskussionen einen scheinbar veralteten Bezug : etwa in Acredolos Versuch, den Erwerb der Invarianz neu zu formulieren, wobei er sich ausschließlich auf die orthodoxe Position Piagets beruft und weder Piagets Gedanken zur qualitativen Identität erwähnt (die auf seinen Studien des Verständnisses funktioneller Beziehungen im Kindesalter zurückgehen, siehe Piaget, Grize, Szeminska und Vinh Bang, 1977), in der Piaget eine zeitlang eine veränderte Sicht der Invarianz suchte, noch auf das neue Modell der Invarianz eingeht, in der die Prinzipien der Kommutativität und der Vikarianz gleichberechtigt neben die (operationale) Kompensation gestellt werden und Piaget die Entwicklungsfortschritte aus dem Zusammenwirken von Wissen über Korrespondenzen und Transformationen herzuleiten sucht (Piaget, 1976, 1977).

Begriffliche Unterscheidungen, die Piaget eingeführt hat, so vor allem seine Abgrenzung logischen Wissens von empirischem Wissen, werden nur selten zum Gegenstand theoretischer Diskussionen gemacht. In der empirischen Forschung werden diese Unterscheidungen sehr verschwommen gehandhabt, die methodischen Beobachtungsregeln gestatten keine Unterscheidungen innerhalb der Aufgabenformen, die sowohl als diagnostische Aufgaben als auch als Trainingskriterien Verwendung finden. Die Folgerung daraus ist, daß nur eine konstruktive Verbesserung des methodischen Inventars uns dem Erkenntnisgegenstand, dem Erwerb der Invarianzaufgabe, nahebringen kann.

## 5. Wege zu einer Neuorientierung von Trainingsstudien

### 5.1. Zur Abstimmung zwischen Modellbildung und Trainingsmethodik

Der Vielfalt und Vieldeutigkeit von Trainingsansätzen müßte auf zwei sich ergänzende Weisen begegnet werden. Einerseits, müssen formalere Modelle des Invarianzerwerbs aufgestellt werden, die beobachtbarem kindlichem Verhalten nachgebildet sind. Begriffliche (und erkenntnistheoretische) Analysen eines Aufgabenbereiches müssen ergänzt werden durch "theoretische Konstrukte", die "identifizierten Verhaltensregelhaftigkeiten" nachzugehen versuchen (Cobb & Steffe, 1980, S.2). Es ist dieses implizite Verständnis theoretischer Modelle, das Deanna Kuhn dazu geführt hat anzuregen, Trainingsstudien müßten eingebettet werden in eine umfangreiche Studie, in der (im Längsschnitt) der natürliche Entwicklungsverlauf von Konzepten bei Kindern beobachtet wird (Kuhn, 1974, S.598-599). Denn aus diesen Beobachtungen lassen sich nicht nur Hypothesen über die Analogie zwischen (induziertem) Trainingseffekt und dem natürlichen Entwicklungsprozeß ableiten, es gelingt möglicherweise auch, überzeugendere Kriterien zu gewinnen, ob ein Kind eine bestimmte kognitive Struktur tatsächlich erworben hat, und es lassen sich auch Zwischenstufen im Wissen des Kindes auf seinem Weg zum 'reifen' Konzept aufsuchen (vgl. D. Kuhn, 1978, S.110, Siegler, 1981). Solche Formulierungen von Zwischenstufen sollten sich aus dem umfassenderen Entwicklungsmodell der Invarianzaufgabe ableiten lassen. Beispiele für solche Invarianzmodelle wurden früher vorgestellt. Eine Einschränkung gegenüber der üblichen Arbeitsweise ist dabei zwingend : genauso wie bestimmte Lösungsmodelle nur vorläufige und damit implizit unvollständige Annäherungen an (angenommene) Konzepte und Strukturen sind, genauso sind bestimmte Aufgabenformen nur Annäherungen an das Verständnis des Kindes in verschiedenen Erfahrungskontexten. Stärker als bisher müssen die traditionellen Aufgaben Piagets auch in ihrer Beschränkung gesehen

werden : gleich einer bestimmten physikalischen Meßanordnung, die auch idealisierende Annahmen trifft, um bestimmte physikalische Phänomene zu isolieren, greift eine bestimmte Aufgabenform selegierend und prägend in die begriffliche Welt des Kindes ein, und verdeckt dem Beobachter damit "Flexibilität oder Begrenztheit" (Cobb & Steffe, 1980), Originalität oder Undurchschaubarkeit der Lösungsvorschläge des Kindes, und damit seiner kognitiven Sicht (betrachtet vom idealen Beobachter). Über einzelne Aufgaben hinaus (etwa den traditionellen Invarianzaufgaben) muß es deshalb zunehmend gelingen, begriffliche Aufgabenstellungen zu entwerfen, die sich der angenommenen Variabilität und Flexibilität des kindlichen Denkens annähern, seine Beschränkungen aufdecken, seine Ebene der Abstraktion treffen (vgl. vonGlasersfeld, 1981). Dieses Vorgehen führt u.U. dazu, daß die Gemeinsamkeiten zwischen Aufgabenformen im Bereich der konkreten Operationen, speziell der Invarianzaufgaben, eher zurückgestellt werden, um formale Beschränkungen und Eigenheiten eines ausgewählten inhaltlich umschriebenen begrifflichen Bereichs herauszuarbeiten. Vermutlich ist die Zahlbegriffsentwicklung für dieses Umdenken besonders geeignet, weil eine Vielzahl von Aufgabenvarianten in diesem Bereich vorliegen.

Deanna Kuhns Vorschläge zur Durchführung von Längsschnittanalysen der spontanen Entwicklung in einem bestimmten begrifflichen Bereich wurden kaum aufgegriffen, und wenn sie verwirklicht wurden, so bewegten sich die Längsschnittmethoden nur in der Begrenzung traditioneller Aufgabenformate (z.B. Hooper et al, 1978; Tomlinson-Keasey et al, 1979; B. Stephens, 1974). Deanna Kuhns Kritik an der Trainingsmethodik ging aber wesentlich tiefer : ausgehend von der Problematik der Kriterien für den Erwerb der Invarianz ging sie davon aus, daß Beobachtungen der spontanen Entwicklung Kriterien liefern, die eindeutiger die Wirksamkeit von Trai-

ningsmethoden bewerten lassen (D. Kuhn, 1974, S.599). Trainings, die wirksam sein sollen, müssen sich nämlich der Frage nach der "Authentizität" der erworbenen begrifflichen Leistungen stellen (vgl. Pinard, 1981, S.152 ff.).

Darüber hinaus war es die These Kuhns, auch die Trainingsmethode in den Längsschnitt einzubetten : experimentelle Variationen und Manipulationen sollten über eine umgrenzte, aber sich zeitlich auch weiter ausdehnende Periode der Entwicklung verteilen. Kuhn hat diese Forschungsmethodik zum erstenmal zum Studium formaler Operationen eingesetzt (vgl. Kuhn, 1979, S.355 f., Kuhn, Ho und Adams, 1980). Pinard (1981) faßt diese Vorschläge besonders treffend zusammen : "die vertretene Forschungsstrategie zielt nicht darauf ab, herauszufinden, in welchem Maß die Entwicklung beschleunigt werden kann, sondern vielmehr wie sie in 'Zeitlupe' studiert werden kann" (Pinard, 1981, S.153).

Allerdings bergen auch diese Ideen eine Reihe von ungelösten Schwierigkeiten, von denen die bedeutendste die Bewertungskriterien für Aufgabenstellungen nach Piaget sein dürften (Brainerd, 1973). Nicht nur im Rahmen der traditionellen Invarianzaufgaben sind die Kriterien für die "logische Authentizität" umstritten; die Vielfalt von Aufgabenvariationen in der amerikanischen Forschung zu Vorläufern von Konzepten der konkreten Operationen stellt immer wieder aufs neue die Frage, welche kognitive Leistung in einer Aufgabe beobachtet wird, wie bedeutungsvoll die 'empirische' oder 'logische' Erklärung des Kindes ist und in welcher Schwierigkeitsbeziehung oder sogar konstitutiven Beziehung die jeweilige Aufgabenform zu einer komplexeren - etwa einer Invarianzaufgabe - steht.

Pinards Thesen gehen davon aus, daß normative Studien der spontanen Entwicklung im Längsschnitt unabdingbar für die Aufklärung der wirksamen Entwicklungsmechanismen sind,

wobei er aber in zweierlei Hinsicht über Kuhn hinausgeht. Einmal ist die übliche Arbeitsweise dadurch begrenzt, daß Konzeptbereiche über "extensionale Generalisierungen" erschlossen werden : so wird die Entwicklung von Invarianzaufgaben anhand verwandter Invarianzkonzepte studiert. Hier bleibt nach Pinard (1981) die Problematik, wie wir Lösungsverhalten und Erklärungen des Kindes interpretieren dürfen. Stattdessen denkt er daran, daß man Entwicklungsprozesse kognitiver Phänomene untersucht, die man als konstitutiv für das Konzept - etwa der Invarianz - ansieht : "zum Beispiel eine systematische Analyse der Entwicklung der Vorstellung logischer Notwendigkeit beim Kind, oder der Vorstellung der Invarianz oder der Kommutabilität von Teilen, die ein Ganzes ergeben" (Pinard, 1981, S.155). Zweitens ist die Überbetonung einzelner traditionell üblicher Aufgaben ungünstig : nicht nur ist der Problembereich einzelner Begriffsbildungen weitaus differenzierter als es in einer einzelnen Aufgabe vor Augen geführt werden könnte. So ist der Begriff der Erhaltung weitaus umgreifender als es die Kenntnis der traditionellen "Vier" (Zahl, Substanz, Gewicht, Volumen) sichtbar macht (1). Die begründbare methodische Strenge bei der Aufgabenstellung, die immer mehr von den explorativen Arbeiten Piagets weggeführt hat, kann nicht ignorieren, daß die "ökologische Relevanz solcher Aufgaben und die wahre Bedeutung der beobachteten Verhaltensweisen" am Ende wichtiger ist als methodischer Rigorismus (Pinard, op.cit.).

Kuhn und Pinard sprechen nur implizit vom theoretischen Hintergrund der verbesserten Arbeitsweise : aber nur in der Einordnung und konvergierenden Deutung von systematischen Beobachtungen und experimentellen Manipulationen (seien sie

---

(1) Zur Verdeutlichung findet sich im Anhang eine Tabelle der Erscheinungsformen der Invarianz (nach Pinard, 1981).

zeitlich begrenzt oder verteilt über einen größeren Zeitraum) in eine umfassendere theoretische Struktur, gewinnt diese veränderte Sicht der Trainingsmethodik an Bedeutung.

Da schon angedeutet wurde, daß systematische Beobachtungen im Rahmen von "ausgedehnten normativen Studien" (Pinard) als notwendige Ergänzung der Trainingsstrategie angesehen wird, soll die Verwirklichung solcher Beobachtungsmethoden kurz anhand der Arbeit von Annette Karmiloff-Smith (1981) und der ethologischen Sichtweise (Charlesworth, 1979) erörtert werden. Diese Darstellung leitet auch zum zweiten Punkt über.

Karmiloff-Smith (1981) nennt einige Charakteristika ihrer Arbeitsweise, die der zunehmenden 'Verwässerung' der Piaget-Forschung entgegenwirken sollten und dazu beitragen können, neue Frage aufzuwerfen, statt nur zu prüfen, ob Piaget mit seinen Interpretationen recht hat oder nicht. Karmiloff-Smith hat sich zunächst weniger auf den Erwerb neuer linguistischer oder begrifflicher Regeln konzentriert und stattdessen die sich verändernden Funktionen von Verhaltensweisen betrachtet, die vom Kind prinzipiell schon gemeistert werden. Piagets Arbeitsweise entsprechend bevorzugt sie Beobachtungsdaten und explorative Techniken, z.T. Entwürfe neuartiger Prolemstellungen, die die empirische Kontrolle einer Hypothese gestatten (1981, S.152). Dabei scheint ihr wichtig, eine enge Verbindung zwischen Beobachtungsweisen und methodischen Fragen und den jeweiligen Hypothesen zu suchen, und von gesammelten Ergebnissen zunächst zu den Beobachtungsdaten und neuen Explorationstechniken zurückzukehren, ehe man komplexere Studien entwirft.

Ein Problem, das sie damit andeutet, ist die Wahl der Beobachtungs- oder Analyseeinheiten des Verhaltens und deren Beziehung zur untersuchten kognitiven Leistung. Beobachtungen

liefern ihrer Ansicht nach sehr umfassende Informationen : "alle Verhaltensmanifestationen sind potentiell bedeutsam für den Beobachter und sollten häufig ausgebeutet werden" (Karmiloff-Smith, 1981, S.153). Anstatt 'reine' Repräsentationen einer Aufgabe zu gewinnen, betrachtet sie das Verhalten in komplexeren Aufgabenzusammenhängen. Um funktionellen Veränderungen des kindlichen Verhaltens auf die Spur zu kommen, achtet sie deshalb mehr auf feine Veränderungen im mikroanalytischen Verhalten ("spontane Korrekturen, Zögern, Ablenkungen"), die sich im Aufgabenprotokoll widerspiegeln (op.cit., S.153). (1)

Der ethologische Ansatz zum Studium der Intelligenz wird am prägnantesten von William R. Charlesworth vertreten (1976, 1978, 1979). Neben dem psychometrischen Verständnis der Intelligenz weist er auf einen 'anderen Teil' der Intelligenz hin : "intelligentes Verhalten, wie es in alltäglichen - und nicht in Testsituationen erfolgt" (Charlesworth, 1979, S.212). Im Rahmen dieses ethologischen Ansatzes wird versucht, ein umfassendes Bild adaptiven Verhaltens zu entwerfen, um seine "verschiedenartigen phylogenetischen, ontogenetischen und ökologischen Determinanten und Funktionen in ein umfassendes, zusammenhängendes und logisch konsistentes Bild" einordnen zu können (op.cit., p.212). Die Betonung der individuellen Anpassungsfunktion (menschlichen) Verhaltens führt zwingend zum "Studium der Individuum/Umwelt-Interaktion unter Verwendung systematischer Beobachtungsforschungsmethoden" (op.cit., 212). Charlesworth nennt weitere Kriterien dieses theoretischen Ansatzes : Alltagsverhalten wird unter den jeweiligen Umweltbedingungen, unter denen es zustande kommt oder eine Funktion gewinnt, beobachtet. Um Wechselbeziehungen zu verstehen, gilt es sowohl

---

(1) Die Arbeit von A. Karmiloff-Smith ist exemplarisch für die Genfer Schule. In den 'Archives de Psychologie', Genf, finden sich in den letzten Jahren eine Reihe von Untersuchungen, die ihrer Arbeitsweise entsprechen.

ontogenetische Veränderungen des Verhaltens als auch parallele Veränderungen in der Umwelt sichtbar zu machen. Damit ist das Ziel gesetzt, "die Rolle, die dieses Verhalten spielt, wenn es zu der kurzzeitigen und längerwährenden Anpassung des Individuums beiträgt", anhand "multipler psychologischer, soziologischer und biologischer Kriterien" zu bewerten. Schließlich bildet den Rahmen dieses Interaktionsmodells eine umfassendere (synthetische) Theorie der Evolution (vgl. Prämissen (a) bis (d), S.212).

Charlesworth stellt sich die Forschungsaufgabe, diese theoretische Perspektive in der empirischen Untersuchung intelligenten Verhaltens zu verwirklichen. Dazu wählt er grundsätzlich einen Ansatz, der sich der Beobachtung adaptiven Verhaltens in dem alltäglichen Verhalten in der materiellen und sozialen Umgebung eines Kindes verpflichtet. Detaillierte (narrative und kodierend gewonnene) Aufzeichnungen von Verhalten und Umwelteinflüssen über einen längeren Zeitraum bei einer begrenzten Zahl von Kindern dienen als Datenbasis. Dabei ergeben sich natürlich unmittelbar Fragen nach der begrifflichen oder konzeptuellen Grundlage solcher Beobachtungen und deren Übersetzungen in spezifische Methoden der Datenkollektion und -auswertung.

Eine ausführliche Diskussion der Arbeiten von Charlesworth muß hier zurückgestellt werden. Ein Beispiel seiner Beobachtungsmethodik sind Untersuchungen des Lösungsverhaltens von Vorschulkindern auf Unterbrechungen ('everyday interruptions') ihres ablaufenden Verhaltens. Ziel dieses Verfahrens (eine sogenannte 'Problem-Verhalten Analyse') ist es, deskriptive Daten zu sammeln, die bei einer günstigen Stichprobenwahl aus der Population möglicher Alltagssituationen "einen ziemlich umfassenden Tatsachenbericht (factual account) der Subjekt/Umwelt-Interaktion liefern" (Charles-

worth, 1979, S.214). Sieht man von den praktischen Problemen ab, die Charlesworth erörtert (Erlaubnis, Beobachtungen über einen längeren Zeitraum im Alltagsleben vornehmen zu dürfen; Komplexität der Beobachtertrainings; hoher Kostenaufwand für relativ begrenzte deskriptive Datensammlungen), so löst der ethologische Ansatz das schwierigste Problem noch nicht, nämlich es gelingt ihm nicht, innerlich ("kognitiv vermitteltes") ablaufendes Lösungsverhalten zugänglich zu machen. "Vielleicht das schwierigste (Problem, F.V.) für diejenigen, die an kognitiv vermitteltem Verhalten interessiert sind, ist der Mangel in Beobachtungsprozeduren, keinen 'unmittelbaren Zugang' zu den entscheidenden (crucial) kognitiven Prozessen, die im Problemlösen beteiligt sind, zu haben" (Charlesworth, 1979, S.215). Obwohl der Autor ergänzt, man könne das beobachtete Kind nach dem Beobachten über sein Problemlösungsverhalten interviewen, so ist ihm zugleich die geringe Reliabilität solcher Daten bewußt, und darüber hinaus sind die Beziehungen zwischen dem Problemlösungs- oder adaptiven Verhalten eines Kindes und seinen sprachlichen Interpretationen, Deutungen und Berichten kaum untersucht worden.

Die Grenzen, die die ethologische Methode hier findet, liegt in ihrem Verzicht begründet, präzisere Modelle adaptiven intelligenten Verhaltens aufzustellen. Der Versuch, adaptives Verhalten in ein schematisches Modell einzuordnen, das Verhaltensmuster aus ihrer Assoziation zu antezedenten und konsequenten Bedingungen (und somit ihrer Anpassungsfunktion) begreift, schließt explizit die Frage aus, in welcher Weise die Verhaltensmuster und -kombinationen "für die Versuchspersonen selbst bedeutsam sind" (Blurton Jones & Woodson, 1979, S.105). Damit soll nicht der Wert der ethologischen Vorgehensweise in Frage gestellt werden, insbesondere für das Studium sozialer Entwicklungsprozesse; nur läßt die

ethologische Sichtweise dort eine freie Stelle, wo der subjektiv konstituierte Konstruktionsprozeß des kindlichen Wissens nach Ansicht Piagets abläuft. Systematische Beobachtungen kindlicher Lösungsprozesse, deren Ziel es ist, auch innerlich ablaufende kognitive Prozesse zugänglich zu machen, müssen demnach einen Weg finden, der über das bloße Sammeln des 'Sichtbaren' und damit der 'empirischen Abstraktion' und der induktiven Generalisierung zugänglicher hinausführen. So deutet der Begriff '<u>Funktionsraum</u>' von Annette Karmiloff-Smith an, daß die kognitiven Prozesse und Strategien, eingeordnet in den subjektiven Handlungsraum des Kindes, in Auseinandersetzung mit der Objektwelt gesehen werden. Es sind Formulierungen dieses Handlungs- und Funktionsraumes, die notwendiges Gerüst und Leitmotiv des Beobachtens kindlichen Lösungsverhaltens sein müßten. Eine Reihe der dargestellten Modelle der Invarianz ließe sich in diesem Sinne weiter verarbeiten.

## 5.2 <u>Zur Bedeutung von Einzelfallstudien in der Trainingsmethodik</u>

Der zweite Gesichtspunkt leitet sich aus dem oben dargestellten veränderten Bild der kognitiven Entwicklung ab: um den Prozessen nahezukommen, die der kindlichen Entwicklung zugrundeliegen, muß eine <u>mikrogenetische</u> Strategie betont werden (Kuhn, 1979, S.354) : das Trainingsexperiment sollte stärker gelöst gesehen werden von der Beobachtung der Veränderungen zwischen Vor- und Nachtest, und der Blick sollte sich wieder mehr auf die Intervention selbst richten, um den vom Kind selbst eingeleiteten und konstruierten Wissensänderungen nahezukommen. Ohne Zweifel

ist die Genfer Schule in den letzten Jahren selbst dieser mikrogenetischen Arbeitsweise immer näher gekommen (Karmiloff-Smith, 1979; Inhelder, 1978; Cromer, 1981; Duckworth, 1979); (zum Bereich der formalen Operationen Kuhn, 1979, S.355 f., Kuhn, Ho & Adams, 1980).

Obwohl sich unmittelbar eine Reihe von anschaulichen Belegen anführen ließen, soll diese Sicht der Trainingsstudie zunächst auf abstrakterer Ebene besprochen werden. Dazu bietet sich die Diskussion des "konstruktivistischen Lehrexperiments" (constructivist teaching experiment) bei Steffe und seinen Mitarbeitern an (Cobb & Steffe, 1980, Steffe & Richards, 1980). Für sie zeichnet sich das Lehrexperiment durch drei Charakteristika aus : Erstens, bemüht sich der Entwicklungspsychologe ein begriffliches Modell der Verhaltensinvarianzen (d.h. Regelhaftigkeiten) beim Kind aufzustellen und das Trainingsexperiment so zu variieren, daß eine zunehmende Annäherung zwischen Modell und kognitiven Prozessen beim Kind möglich wird (vgl. Cobb & Steffe, 1980, S.3).

Zweitens, in der Lehrepisode (teaching episode) zwischen Erwachsenem und Kind wird die Grenze und die Beschränkung eines Modells geprüft ("testing the limits") und zugleich können "verschiedenartige Komponenten des Modells ... unter dem Einfluß gezielter Eingriffe" auf ihre Beeinflußbarkeit und damit Veränderbarkeit untersucht werden. So wie man sich die Denkentwicklung als Spirale vorstellen kann, alte Strategien aufgegeben und neue allmählich gemeistert werden (D. Kuhn, 1979, S.356, Kesselring, 1981), müßte die Lehrepisode 'spiralförmig' vom Lehrer gestellt werden : um dem "Wissenszustand" (Siegler) des Kindes nahe zu kommen, werden Aufgaben entworfen, die es erlauben, formulierte Hypothesen zu überprüfen. Möchte er das Kind bei der

beobachteten Lösung besser verstehen, revidiert der Lehrer seine Hypothesen oder sein Verhaltensmodell (Cobb & Steffe, 1980, S.8). Fortschritte beim Kind im Rahmen der Instruktion zu beobachten bedeutet jedoch keinesfalls, daß eine "mechanistische Ursache und Wirkungsbeziehung ... zwischen den Handlungen des Lehrers und dem Erwerb von Wissen beim Kind (angenommen)" wird (Cobb & Steffe, 1980, S.13). Vygotsky's Arbeiten liegen diesem Verständnis des Instruktionsexperiments zugrunde : Unterrichten als Aufstellen, Revidieren, Rekonstruieren von (Verhaltens-)Modellen, Bildern dessen, was "im Kopf des Kindes" vor sich geht (Steffe & Richards, 1980).

Drittens, ergibt sich damit zugleich, daß das Instruktionsexperiment als "individuelles Interview" mit dem Kind gestaltet wird, mit der Einschränkung, daß der Erwachsene an bestimmten Stellen im Gespräch gezielt eingreift. Schließlich steht im Vordergrund, wie das Kind die angebotenen Aufgaben "konstruiert und löst" und nicht wie der Erwachsene das (z.B. mathematische) Wissen in der Aufgabe erklärt (Steffe und Richards, 1980, S.3). "Individuelle Interviews erlauben Querschnittanalysen zwischen Individuen und auch Analysen über die Zeit bei einem Individuum" (op.cit.,S.4). Es sei abschließend zu diesen drei Punkten noch einmal betont, daß dieses experimentelle Vorgehen zur Analyse des "genetischen Prozesses der Begriffsbildung" (El'Konin) auf Vygotsky's Arbeiten zurückgeht.

Wer sich die Mühe gemacht hat, einmal fünfzig Trainingsstudien zu konkret-operationalen Konzepten durchzuarbeiten, wird sich schwer dem Eindruck entziehen können, Gruppenuntersuchungen verschleierten mehr als sie aufdeckten. Das liegt nicht nur daran, wie die Ergebnisse berichtet werden, z.B. wird oft darauf verzichtet, anzugeben, wieviele Kinder

nach strengeren Kriterien das Konzept verstanden haben könnten; statt dessen werden Gruppenmittelwerte dargestellt, deren Zustandekommen nicht gedeutet werden kann (z.B. Denney, et al, 1977). Sind die Verbesserungen zum Vortest eine Folge leichter Verbesserungen beim größten Teil der Gruppe von Kindern, oder spiegeln sie starke Wissensunterschiede bei einigen Kindern wider, bei unveränderten Nachtestergebnissen bei der verbleibenden Gruppe von Kindern (als Gegenbeispiel Halford, 1970). Die Uniformität des Trainingsprozesses hindert u.U. sogar konstruktive Änderungen beim Kind, da sie die Wissensebene des Kindes nicht treffen. Kurz, die Suche nach mikrogenetischen Strategien, um den Trainingsprozeß selbst wieder mehr ins Blickfeld zu rücken, führt auch zur Rückbesinnung auf die Frage, wie Einzelfallstudien erfolgversprechend in die kognitive Entwicklungspsychologie wiedereingeführt werden könnten.

Um diese Möglichkeit zu veranschaulichen, sollen zwei Beispiele vorgeführt werden, deren Teilergebnisse sich unmittelbar in Trainingsexperimente übersetzen ließen.

Das erste Beispiel wurde aus neueren Arbeiten der Genfer Schule ausgewählt. Ziel dieser Arbeiten ist es, das Entstehen neuen Wissens und konstruktiven und planmäßigen Verhaltens des Kindes zu verfolgen - im Sinne der Frage: "Was bringt uns dazu ... über Teile der Welt in neuartiger Weise nachdenken" (zu müssen) ? (Duckworth, 1979, S.304). Dazu muß die experimentelle Situation für das Kind so entworfen werden, daß es einerseits verschiedenartige Pläne aufstellen und verfolgen kann, um ein übergreifendes Ziel zu erreichen, andererseits muß die Aufgabenstellung so variabel sein, daß das Kind seinen Lösungsweg selbst wählen und finden kann, selbst Korrekturen und Widerstände beobachten und miteinbeziehen kann (dazu: Blanchet, 1977).

In einem unveröffentlichten Bericht analysierten einige Genfer Mitarbeiter eine Videoaufnahme eines sechsjährigen Jungen, der mit einer Anordnung Russischer Puppen spielte (Blanchet, Ackermann-Valladao & Karmiloff-Smith, 1977; die folgende Darstellung orientiert sich an Duckworth, 1979, S.306-309). Die Beobachtungen verfolgen in großer Sorgfalt die Versuche des Kindes, die getrennt aufgestellten Puppen ineinander zu fügen. "Jede Geste, Ausdrucksweise, Zögern, schnelle Handlung und Blick wurde als Indikator des Denkens (beim Kind) in Betracht gezogen ..." (Duckworth, 1979, S.306). Dabei ist das Zusammenarbeiten mehrerer Beobachter, die verschiedenartige Interpretationen der Indikatoren kritisch diskutieren, besonders wichtig.

Lösungsstrategien des Kindes, in diesem Beispiel die Bildung von Serien vom kleinsten zum größten Kopf der Puppen und umgekehrt, oder die räumliche Anordnung der Öffnung nach oben oder unten - sind an solchen Aufnahmen besonders gut sichtbar. Ohne daß die Einzelergebnisse hier erörtert werden sollen, genügt es, zwei übergreifende Themen festzuhalten :

Einmal wechseln sich Versuche des Kindes, ein bestimmtes Resultat zu erreichen und Versuche, die Lösungssituation zu verstehen, kontinuierlich im Verhalten des Kindes ab. Daran kann man sehr anschaulich die subjektive Bedeutsamkeit der Aufgabe für das Kind ablesen : zu Beginn versteht das Kind nur Teilziele und kann sie in seine Handlungssequenz umsetzen (z.B. die verschiedenen 'Köpfe' ineinanderschachteln); erst die erfolgreiche Bewältigung einer Reihe von Teilzielen erschließt dem Kind auch das Gesamtziel, indem es die Teilhandlungen angemessen zusammensetzt. Das enge Zusammenspiel von Erfolg in einer Aufgabe und Verständnis, was in der Aufgabe geschieht, veranschaulicht

nach Ansicht von Inhelder und ihren Mitarbeitern die Prozesse der konstruktiven Entwicklung des Wissens - diese Thematik hat Piaget später wieder aufgegriffen (Piaget, 1974 bzw. 1978).

Zum anderen ordnen die Autoren dem Wissen drei Zugangsformen zu : der Wahrnehmung, der Handlung und den Begriffen. Das Zusammenwirken der verschiedenen Wissenselemente fügt sich zum Problemlösungsvorgang des Kindes zusammen. Hier konvergieren die Perspektiven von Beobachter und Kind : der Beobachter sucht sich selbst die Wissenselemente, die das Kind neu erkennt, die Handlungszusammenhänge, die das Kind versteht, verständlich zu machen.

Leitend für die Interpretation der Beobachtungen ist Piagets Modell der Konstruktion logischer Relationen, wobei sich das Kind zuerst an paarweisen Vergleichen bzw. Gruppen von Vergleichsobjekten orientiert, sich bei Konstruktion einer Gesamtseriation an den positiv definierten Aspekten der Wahrnehmungsrelationen ausrichtet, ehe es im schwierigsten Schritt auch die Bedeutung von Negationen erkennt : und damit die Umkehrung logisch aufgebauter Relationen. Es ist diese logisch als notwendig verstandene Sequenz ("entwicklungslogisch"), die bei der Deutung der gesammelten Daten eine zentrale Rolle einnimmt (vgl. Piaget, 1976).

Ein Beispiel aus dem Bereich der Zahlbegriffsentwicklung findet sich in der Arbeit von Steffe, Firth und Cobb (1981). Als Teil eines umfassenderen Forschungsprogramms, das sich mit dem Erwerb des Begriffs der natürlichen Zahl beschäftigt, untersuchten die Autoren an einer kleinen Gruppe von sechs Kindern die Natur und die Funktion der Zähltätigkeit des

Kindes in verschiedenen Aufgabenkontexten. Ziel dieser Arbeit ist es zugleich, die funktionellen Charakteristika des Zählverhaltens der Inder im Rahmen eines Lehrexperiments wirksam und erfolgversprechend einzusetzen. Durch die Beobachtung verschiedenartiger Aufgabenkontexte lassen sich sehr anschauliche formale Beschränkungen des Zählverhaltens aufzeigen. Um rhythmische Aspekte des Zählens (der Koordination von Zahlwortsequenz und rhythmischer motorischer Handlung) aufzuklären, durfte das Kind Schläge eines Pendels zählen, Trommelschläge auf einer Trommel und schließlich Objekte (aus einer größeren Gruppe von vorgelegten Gegenständen), die ein bestimmtes Merkmal trugen (z.B. rot waren). Die Ergebnisse, die wieder nur angedeutet werden, führen die feinen Differenzierungen und Veränderungen im Verhalten des Kindes vor, Differenzierungen, die die erfolgreiche Bewältigung einer Zählsequenz betreffen, Wissen des Kindes über Ordnungsbeziehungen innerhalb der Zählsequenz (vor- und rückwärts), Einflüsse des Aufgabenkontexts auf den Erfolg des Kindes in der Konstruktion einer Repräsentation der Zählsequenz z.T. beeinflußbar durch zusätzliche (auch rhythmische Strategien des Kindes, wie motorische Handlungen) Methoden. Kurz, die Beobachtung einer kleinen Zahl von Kindern macht eine Vielzahl von feineren Differenzierungen im Lösungsverhalten des Kindes sichtbar, die - eingeordnet in eine umfassendere Theorie der Entwicklung des Zahlbegriffs (z.B. bei von Glasersfeld, 1981) - erlauben, ein komplexeres Modell der Begriffsentwicklung zu entwerfen. Schließlich gewinnen diese Beobachtungen eine überaus wichtige ergänzende Funktion, wenn sie sowohl als Kriterien als auch als Trainingstechniken im traditionellen Trainingsexperiment eingeordnet werden.

## 6. Schlußbemerkung

Die Thematik der Trainingsstudie wurde in verschiedenen Zusammenhängen aufgegriffen. Einen "Nachruf" auf die Trainingsmethodologie zu schreiben, rechtfertigen die Ergebnisse der Forschung der letzten zwanzig Jahre nicht. Man beobachtet hier eine Eigenart der psychologischen Forschung (die nicht nur für die Piaget-Forschung gültig sein dürfte): eine rigide und wahrscheinlich auch von außerhalb der Forschung liegenden Beschränkungen geprägte Konzentration auf eine bestimmte methodische Arbeitsweise, die ihre Eigendynamik außerhalb der theoretischen Konstruktionen entwickelt, aus denen sie zuallererst abgeleitet wurde. Die Psychologie hängt zudem einer ihr eigenen Form des "Operationismus" an, dessen wissenschaftstheoretischer Hintergrund gemeinsam mit dem kritischen Rationalismus seine eigenen erkenntnistheoretischen Rahmenbedingungen setzt. Obwohl diese wissenschaftstheoretische Position hier nicht ausführlich diskutiert werden kann, sprengt die Problemstellung und der Erkenntnisgegenstand, der in dieser Arbeit thematisiert wurde, diese Position auf : denn die Definition des Gegenstands der Forschungsarbeit (der Invarianz), die methodischen Kriterien seiner Zugänglichkeit und die Zugänglichkeit für den Beobachter stehen in einer komplexen Spannung zueinander, die in vielen empirischen Arbeiten oft durch Begrenzung der methodischen Kriterien "kurzgeschlossen" wird. Smedslund hat besonders deutlich auf die zirkuläre Beziehung zwischen Logik(die wir im Verhalten des Kindes sehen) und Verstehen (auf Seiten des Kindes, ebenfalls vom Beobachter interpretiert), die sich wechselseitig bedingen, hingewiesen (Smedslund, 1969), nur ist sein Lösungsvorschlag nicht überzeugend. Seine Beobachtungen über die Frage, was 'logisches Verhalten' beim Kind darstellt, übergeht die enge Wechselbeziehung der Definition der "Logik" beim Kind mit der

Perspektive des Beobachters selbst (Smedslund, 1977), und seiner eigenen logischen Konstruktion des Wissens beim Kind.

Die Begrenzung der Trainingsstudie liegt letztlich darin, daß sie Trainingseffekte rein empirisch zu deuten versucht, ausgerichtet an der verwirklichten Trainingsstrategie und den angenommenen Trainingsmechanismen, also eingeordnet in das Schema antezedenter und konsequenter Bedingungen. Erschließt dieses Schema, in welcher Weise ein Kind die angebotenen Erfahrungen konstruktiv verarbeitet? Wie entsteht kindliches Wissen? Die Antwort auf diese Frage findet sich wahrscheinlich am ehesten im Studium dieses adaptiven, konstruktiven Prozesses selbst, orientiert an extensiven Beobachtungen der kindlichen Lösungsprozesse, denen der Beobachter mit eigenen konstruktiven Modellen begegnen muß, um sie verstehen zu können.

Anhang

Erscheinungsformen der Invarianz
(nach Pinard, 1981)

1. Erhaltungen logisch-mathematischer Aspekte

   Klassen — Erhaltung einer Klasse B trotz ihrer Aufteilung in die Unterklassen A und A' (cf. Klasseninklusion)

   Relationen — Erhaltung einer asymmetrischen Ordnungsbeziehung trotz Veränderungen, die bei den Elementen einer geordneten Serie vorgenommen wurden (z.B. Ungleichheit in den Unterschieden in Größe und räumlicher Verteilung; Reduktion der Zahl an Elementen)

   Zahl — Erhaltung der Zahl der Elemente in einer Kollektion trotz Veränderungen in der räumlichen Anordnung innerhalb der Kollektion (Zahlinvarianz)

2. Erhaltung infralogischer Aspekte

   Räumliche Eigenschaften:

   Erhaltung der geometrischen Eigenschaften von Objekten (mathematischer Raum)

   + Erhaltung topologischer Eigenschaften
     (z.B. Erhaltung einer Linie trotz ihrer Zerlegung in benachbarte Teile)
   + Erhaltung projektiver Anordnungen
     (z.B. Erhaltung des Ganzen einer Figur, wenn ihr Schatten auf eine Leinwand projiziert wird, trotz des offensichtlichen Verschwindens einiger ihrer Teile)
   + Erhaltung euklidischer Objekte
     (z.B. Erhaltung einer Oberfläche trotz variabler Anordnungen ihrer Teile)
   + Erhaltung topologischer Relationen
     (z.B. Erhaltung von Nachbarkeits- und Ordnungsbeziehungen innerhalb einer Serie trotz variabler Anordnungen wie lineare oder kreisförmige Anordnungen etc.)
   + Erhaltung projektiver Relationen
     (z.B. Erhaltung relativer Lokationen innerhalb einer Landschaft, trotz perspektivischer Unterschiede)
   + Erhaltung euklidischer Relationen
     (z.B. Erhaltung der Distanzen zwischen Elementen einer Stadt, die auf verschiedenen Größenskalen rekonstruiert wird)
   + Erhaltung der metrischen Eigenschaften eines Objektes
     (z.B. Erhaltung des geometrischen Volumens)

Erhaltung der physikalischen Eigenschaften von Objekten
(physikalischer Raum)

+ Erhaltung der Substanz, des Gewichts, des Volumens
+ Erhaltung der Form eines lebenden Organismus trotz Entwicklungsveränderungen
+ Erhaltung von Aspekten der physikalischen Kausalität

Zeitliche Eigenschaften von Objekten:
(die eine best. Kompensation zwischen zwei komplementären Aspekten nichtzeitlicher Natur einschließt wie Raum und Geschwindigkeit)

+ Erhaltung der physikalischen Dauer
  (Erhaltung einer gesamten Zeitspanne, obwohl sie in eine Sequenz von Teilzeiträumen aufgeteilt wurden; Erhaltung von Altersunterschieden, trotz Veränderungen in Größenunterschieden oder Beendigung von Größenwachstum)
+ Erhaltung der psychologischen Dauer
  (Erhaltung der Zeit für eine Handlung trotz Unterschieden in Geschwindigkeit, Schwierigkeit, Interesse, Produktivität etc.)
+ Erhaltung der physikalischen Zeitrelationen
  (Erhaltung der zeitlichen Ordnung von Ereignissen im Falle von bewegten Gegenständen die unterschiedliche Distanzen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durchlaufen)
+ Erhaltung psychologischer Zeitrelationen
  (Erhaltung der Ordnung in der Aufeinanderfolge von Lebensereignissen trotz Interferenzen durch die Diversifikation des Inhalts)
+ Erhaltung der metrischen Zeit
  (Erhaltung der Zeit, die von einem Chronometer gemessen wird, trotz Unterschieden in Geschwindigkeit und Arbeitsergebnis)

Zeitliche und räumliche Eigenschaften von Objekten:

+ Erhaltung der Geschwindigkeit von bewegten Gegenständen trotz Unterschieden in der Distanz und der Zeit
+ Erhaltung der zurückgelegten Distanz trotz Unterschieden in Geschwindigkeit, Zeit oder der räumlichen Anlage von Teildistanzen etc.
+ Erhaltung der Ordnungsrelationen zwischen verschiedenen bewegten Gegenständen (z.B. Erhaltung der Ordnung von Murmeln, die in einen Tunnel hineinfahren trotz Rotationen, die im Gesamtsystem vorgenommen werden)
+ Erhaltung der kinetischen Quantität je Zeiteinheit (z.B. Erhaltung des Fließens, etwa wenn eine Menge Wasser in einer geschlossenen Anordnung zirkuliert und die Reduktion im Durchmesser durch eine Zunahme in der Beschleunigung kompensiert wird)

Literatur :

Abramson, M. , Cooney, J. & Vincent, C. Induction , emergence and generalization of logical operations in retarded children: a training to criterion procedure, Journal of Special Education, 1980, 14(2), 189- 198

Acredolo, C. Acquisition of conservation: a clarification of Piagetian terminology, some recent findings, and an alternative formulation, Human Development, 1981, 24, 12o-137

Anderson, H.H. & Cuneo, D.O. The height+width rule in children's judgment of quantity, Journal of Experimental Psychology, 1978, 1o7 , 335-378

Anderson, J.R. Concepts, propositions and schemata : what are the cognitive units ? in Flower, J.H. Ed. Nebraska Symposium on Motivation, University of Nebraska Press, 1981, S. 121- 162

Arlin, P. in Piaget and the Helping Professions, Annual Conference , 1976

Beilin, H. The training and acquisition of logical operations, in Rosskopf,M.,Steffe, L. & Taback, S. Eds. Piagetian cognitive development research and mathematical education, Washington D.C. National Council of Teachers of Mathematics, 1971, S. 81-124

Beilin, H. Constructing cognitive operations linguistically, in Reese, W.H. Ed. Advances in Research in Child Development and Behavior, New York, Academic Press, 1976, S. 67-106

Beilin, H. Invarianztraining bei physikalischen Mengenbegriffen, in G.Steiner Hrsg. Psychologie des 2o. Jahrhunderts, Band 7 :Piaget und die Folgen, München, Kindler, 1978, S. 260-289

Beilin, H. Piaget's theory: refinement, revision or rejection ? in Kluwe, R. & Spada, H. Eds. Developmental models of thinking, New York, Academic Press, 1980

Bickhard, M.H. On necessary and specific capabilities in evolution and development, Human Development, 1979, 22, 217-224

Bingham-Newman, A.M. & Hooper, F.H. The search for the Woozle circa 1975: commentary on Brainerd's observation, American Educational Research Journal, 1975, 12, 379-387

Blanchet, A. La construction et l'équilibre du mobile: problèmes méthodologiques, Archives de Psychologie, 1977, 45, 29-52

Blanchet, A. et al, Présentation des termes et de hypothèses directions, Unpublished manuscript, University of Geneva, 1976

Blurton-Jones, N.G. & Woodson, R.H. Describing behavior: the ethologists' perspective , in Lamb, M.E. ,Suomi,S.J., Stephenson, G.R. Eds. Social interaction analysis: methodological issues, Madison, University of Wisconsin Press, 1979, S. 97-118

Brainerd, C.J. Neopiagetian experiments revisited: is there any support for the cognitive-developmental stage hypothesis, Cognition, 1973,2, 349-37o

Brainerd, C.J. Judgments and explanation as criteria for the presence of cognitive structures, Psychological Bulletin, 1973, 79, 172- 179

Brainerd, C.J. Does prior knowledge of the compensation rule increase susceptibility to conservation training? Developmental Psychology, 1976, 12(1), 1-5

Brainerd, C.J. Cognitive development and concept learning: an interpretative review, Psychological Bulletin, 1977, 84, 919-939

Brainerd, C.J. Feedback, rule knowledge and conservation learning, Child Development, 1977b, 48, 4o4-411

Brainerd, C.J. Learning research and Piagetian theory, in Siegel, L.S. & Brainerd, C.J. Eds. Alternatives to Piaget: critical essays on the theory, New York, Academic Press, 1978

Brainerd, C.J. Piaget's theory of intelligence, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1978

Brainerd, C.J. Markovian interpretation of conservation learning, Psychological Review, 1979, 86(3),181-213

Brainerd, C.J. & Allen, F.W. Experimental inductions of the conservation of "first order" quantitative invariants, Psychological Bulletin, 1971, 75(2), 128-144

Brainerd, C.J. & Hooper, F.H. More on the identity-equivalence sequence: an update and some replies to Miller, Psychological Bulletin, 1978, 35(1), 7o-75

Brown, G. & Desforges, C. Piagetian psychology and education, time for revision, British Journal of Educational Psychology, 1977, 47, 7-17

Bruner, J. On the conservation of liquids , in Bruner, J. et al, 1966

Bruner, J. et al, Studies in cognitive growth, New York Wiley, 1966

Boersma & Wilton, siehe Wilton & Boersma, 1974

Bucher, B. & Schneider, P.E. Acquisition and generalization of conservation by preschoolers , using operant training, Journal of Experimental Child Psychology, 1973, 16, 187-2o4

Case, R. Implications of developmental psychology for the design of effective instruction, in Lesgold, A.M., Pellegrino, J.W., Foelham, S,& Glaser, R. Eds. Cognitive psychology and instruction, New York,Plenum Press, 1978

Case, R. The underlying mechanisms of intellectual development , in Kirby, J.R. & Biggs, J.B. Eds. Cognition, development and instruction, New York, Academic Press, 1980, 5- 37

Céllerier, G. Structures cognitives et schemes d'action, Archives de Psychologie, 1979, XLVII,180, 87-106

Charlesworth, W.R. Human intelligence as adaptation: an ethological approach, in Resnick, L.B. Ed. The nature of intelligence, Hillsdale, N.J. Lawrence Erlbaum, 1976, S. 147-168

Charlesworth, W.R. Ethology: its relevance for the observational studies of human adaptation, in Sackett,G.P. Ed. Observing behavior: theory and application in mental retardation, University Park Press, Baltimore, 1978, S. 7-32

Charlesworth, W.R. An ethological approach to studying intelligence, Human Development, 1979, 22, 212-216

Cobb, P. & Steffe, L.P. The constructivist teaching experiment, Unpublished paper, Athens, University of Georgia, 1980

Cowan, R. A reappraisal of the relation between performances of quantitative identity and quantitative equivalence conservation tasks, Journal of Experimental Child Psychology, 1979, 28, 68-80

Cromer, R.F. Reconceptualizing language acquisition and cognitive development, in Schiefelbusch, R.L. & Bricker, D.B. Eds. Early language, acquisition and intervention, Baltimore, University Park Press, 1981, S. 51-137

Curcio, F., Kattef, E. , Levine, D. & Robbins, O. Compensation and susceptibility to conservation training, Developmental Psychology, 1972, 7, 259- 265

Dasen, R.P. & Heron, A. Cross-cultural tests of Piaget's theory, in Triandis, H.C. & Heron, A. Eds. Handbook of cross-cultural psychology, Volume 4.Developmental Psychology, Boston, Allyn &Bacon, 1981, S. 295-341

Denney, N.W., Zeytinoglu, S. & Selzer, S.C. Conservation training in four-yearold children,, Journal of Experimental Child Psychology, 1977, 24, 129-146

Duckworth, E. Either we're too early and they can't learn it or we're too late and they know it already: the dilemma of "applying Piaget", Harvard Educational Review, 1979, 49(3), 257- 312

Elkind, D. Piaget's conservation problems, Child Development, 1967, 38, 15-27

Field, D. Can preschool children really learn to conserve? Child Development, 1981, 52, 326- 334

Fischer, K.W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills, Psychological Review, 1980, 87, 477-531

Flavell, J.H. An analysis of cognitive-developmental sequences, Genetic Psychology Monographs, 1972, 86, 279-350

Flavell, J.H. & Wohlwill, J.F. Formal and functional aspects of cognitive development, in Elkind, D. & Flavell, J.H. Eds. Studies in cognitive development: essays in honor of Jean Piaget, New York, Oxford University Press, 1969, S. 67-120

Froman, T. & Hubert, L.J. Application of prediction analysis to developmental priority, Psychological Bulletin, 1980, 87(1), 136- 146

Gelman, R. Conservation acquisition: a problem of learning to attend to relevant attributes, Journal of Experimental Child Psychology, 1969, 7, 167-187

Gelman, R. Cognitive development, Annual Review of Psychology, 1978, 29, 297-332

Gelman, R. & Gallistel, C.R. The child's understanding of number, Cambridge,Harvard University Press, 1978

Gelman, R. & Weinberg, D.J. The relationship between liquid conservation and compensation, Child Development, 1972, 43, 371- 383

Gillieron, C. Réflexions sur le problème des décalage: àpropos de l'article de Montangero, Archives de Psychologie, 198o, XLVIII, 187, 283-3o2

Gladstone, R. & Palazzo, R. Empirical evidence for reversibility by inversion, Developmental Psychology, 1974, 1o, 942-945

Glasersfeld, von E. siehe von Glasersfeld, E.

Halford, G.S. & Fullerton, T.J. A discrimination task which induces conservation of number , Child Development, 197o, 41, 2o5-214

Hall, V.C. & Kingsley, R. Conservation and equilibration theory, Journal of Genetic Psychology, 1968, 113, 195-213

Hall, V.C. & Simpson, G.J. Factors influencing extinction of weight conservation, Merrill-Palmer Quarterly, 1968, 14, 197-21o

Heron, A. & Dowel, W. Weight conservation and matrix solving ability in Papuan children, Journal of Cross Cultural Psychology, 1973, 4, 207-219

Hooper, F.H. Piaget's conservation tasks, the logical and developmental priority of identity operations, Journal of Experimental Child Psychology, 1969, 8, 234-249

Hooper, F.H. , Toniolo, T.A. & Sipple, T.S. A longitudinal analysis of logical reasoning relationships: conservation and transitive inference, Developmental Psychology, 1978, 14(6), 674-682

Inhelder, B. New currents in genetic epistemology and developmental psychology, in Bruner, J.S. & Garton, A. Eds. Human Growth and Development, London, 1978, S. 121-138

Inhelder, B. et al. On cognitive development, American Psychologist, 1966, 21, 16o-164

Inhelder, B., Bovet, H. & Sinclair, M. Learning and the development of cognition, Cambridge, Harvard University Press , 1974

Inhelder, B. & Piaget, J. Procédures et structures, Archives de Psychologie, 1979, XLVII, 181, 165-176

Jenkins, J.J. Can we have a fruitful cognitive psychology, Howe, H.E. Jr. Ed Nebraska Symposium on Motivation, Cognitive Processes Vol.28, University of Nebraska Press, 1981, S. 211-237

Karmiloff-Smith, A. Problem-solving procedures in children's construction and representation of closed railway circuits, Archives de Psychologie, 1979, 47, 37-59

Karmiloff-Smith, A. Getting developmental differences or studying child development, Cognition, 1981, 10, 151-158

Kesselring, T. Entwicklung und Widerspruch, Ein Vergleich zwischen Piagets genetischer Erkenntnistheorie mit Hegels Dialektik, Frankfurt, Suhrkamp, 1981

Kingsley, R.C. & Hall, V.C. Training conservation through the use of learning sets, Child Development, 1967, 38, 1111-1126

Klahr, D. & Siegler, R.S. Representation of children's knowledge, in Reese, H.W. &Lipsitt, C.P. Advances in Child Development and Behavior, Vol,12. New York, Academic Press, 1978

Klahr, D. & Wallace, J.G. Cognitive development, an information processing view, Hillsdale, N.J. Erlbaum, 1976

Kuhn, D. Inducing development experimentally: comments on a research paradigm, Developmental Psychology, 1974, 10, 590-600

Kuhn, D. Mechanisms of cognitive and social development: one psychology or two? Human Development, 1978, 21, 92-118

Kuhn, D. The application of Piaget's theory of cognitive development to education, Harvard Educational Review, 1979, 49(5), 340-360

Kuhn, D., Ho, V. & Adams, C. Formal reasoning among pre- and late adolescents, Child Development, 1979, 50, 1128-1135

May, R.B. & Norton, J.M. Training task orders and transfer in conservation, Child Development, 1981,52, 904-913

McKay, C.K. Vom voroperatorischen zum konkret-operatorischen Denken, in Steiner, G. Hrsg. Psychologie des 20. Jahrhunderts, Band 7:Piaget und die Folgen ,München, Kinlder, 1978, S. 121-154

Miller, P. Stimulus variables in conservation : an alternative approach to assessment, Merrill-Palmer Quarterly, 1978, 24, 141-160

Miller, P. Stimulus dimensions, problem solving and Piaget, in Hale, G. & Lewis, M. Eds. Attention and the development of cognitive skills, New York, Plenum, 1979

Miller, S.A. Extinction and conservation : a methodolo gical and theoretical analysis, Merrill-Palmer Quarterly, 1971, 17, 319-334

Miller, S.A. Identity conservation and equivalence conservation , a critique of Brainerd's and Hooper's analysis, Psychological Bulletin, 1978, 85, 58-69

Miller, S.A. Assessment of conservation of number: an attempt to enhance ecological validity and diagnostic sensitivity, Genetic Psychology Monographs, 1980, 101, 271-289

Miller, S.A. , Brownell, C.A. & Zukier, H. Cognitive certainty in children, effects of concept, developmental level and method of assessment, Developmental Psychology, 1977, 13, 236-245

Miller, S.A. & Lipps, L. Extinction of conservation and transitivity of weight, Journal of Experimental Child Psychology, 1973,16, 388-402

Miller, S.A., Schwartz, L.C. & Stewart,C. An attempt to extinguish conservation of weight in college students, Developmental Psychology, 1973, 8, 316

Murray, F.B. Teaching strategies and conservation training, in Lesgold, A.M., Pellgrino, J.W., Foelham, S. & Glaser, R. , Eds. Cognitive Psychology and Instruction, New York, Plenum, 1978

Murray, F.B. The conservation paradigm: the conservation of conservation research, in Sigel, J.E., Brodzinsky, B.M., Golinkoff, R.M. Eds. New directions in Piagetian theory and practice, Hillsdale, N.J. Erlbaum, 1981, S. 143-175

Murray, F.B. & Johnson, P.E. Reversibility in nonconservation of weight, Psychonomic Science, 1969, 16, 285-287

Murray, F.B. & Johnson, P.E. Relevant and some irrelevant factors in the child's concept of weight, Journal of Educational Psychology, 67(5), 705-711

Pascual-Leone, J. Metasubjective problems of construcctive forms of knowing and their psychological mechanisms, Canadian Psychological Review, 1976, 17, 111-125

Pascual-Leone, J. et al, Piagetian theory and neopiagetian analysis as psychological guides in education, in Gallagher, J.McC. & Easley,JE Jr. Eds. Knowledge and Development, Vol.2 Piaget and Education, New York, Academic Press, 1978, S. 249- 289

Peill, E.J. Invention and discovery of reality: the acquisition of conservation of amount, New York, Wiley, 1975

Perret-Clermont, A.-N. Social interaction and cognitive development in children, London, Academic Press, 1980

Piaget, J. Cognitions and conservations , two views, Contemporary Psychology, 1967, 12, 532-533

Piaget, J. Quantification, conservation and nativism, Science, 1968, 162, (3657), 976-979

Piaget, J. Réussir et comprendre, Paris, Presses Universitaires de France, 1974 ( Success and understanding, London, Routledge and Kegan Paul, 1978)

Piaget, J. Die Äquilibration kognitiver Strukturen, Stuttgart, Klett. 1976

Piaget, J. Some recent research and its link with a new theory of grouping and conservations based on commutability, Annals of the New York Academy of Sciences, 1977, 291, 350-358

Piaget, J. Les formes élémentaires de la dialectique,Paris, Gallimard, 1980

Piaget, J. & Inhelder, B. Images and thought : the role of images in the preparation and function of operations, in Fraisse, P. & Piaget, J. Eds. Experimental Psychology: its scope and method, Vol.7 Intelligence, Basic Books, New York, 1969

Piaget, J., Grize, J.B.. Szeminska, A. & Vinh Bang, Epistemologie und Psychologie der Funktion, Stuttgart, Klett, 1977 (Franz. Original, 1968)

Pinard, A. The conservation of conservation : the child's acquisition of a fundamental concept. Chicago, Chicago University Press, 1981

Rosenthal, T.L. & Zimmermann, B.J. Social learning and cognition, New York, Academic Press, 1978

Rothenberg, G.B. & Orost, J.H. The training of conservation of number in young children, Child Development, 1969, 40, 707-726

Scandura, J.M. Discussion of selected issues relevant to structural learning theory, in Scandura, J.M. , Brainerd, C.J. Eds. Structural/ process models of complex human behavior, Leyden, Sijthoff & Noordhoft,1978

Scandura, J.M. & Scandura, A.B. Structural learning and concrete operations : an approach to Piagetian conservation, New York, Praeger, 1980

Schaeffer, B., Egglestone, V.H., Scott. J.L. Number development in young children, Cognitive Psychology, 1974, 6, 357-379

Shultz , T.R., Dover, A. & Amsel, E. The logical and empirical bases of conservation judgments, Cognition, 1979, 7, 99-123

Seiler, T.B. Bemerkungen zum Verhältnis von Theorie und empirischer Methodik in der entwicklungspsychologischen Forschung: einige allgemeine Überlegungen und eine Kritik der Thesen und Experimente von Bryant, Archives de Psychologie, 1980, XLVIII, 187, 239-258

Sheppard, J.L. Compensation and combinatorial systems in the acquisition and generalization of conservation, Child Development, 1974, 45, 717- 730

Siegler, R.S. Children's thinking : the search for limits, in Whitehurst, G.J. & Zimmermann, B.J. Eds. The functions of language and cognition, New York, Academic Press, 1979, S. 83-119

Siegler, R.S. Developmental sequences within and between concepts, Monographs of the Society for Research in Child Development, 1981, Serial No. 189. 46(2),84 pp.

Sigel, J.E., Roeper, A. & Hooper, F.H. A training procedure for acquisition of Piaget's conservation of quantity: a pilot study and its replication, British Journalof Educational Psychology, 1966, 36, 301-311

Silverman, J.W. & Briga, J. By what process do young children solve small number conservation problems ? Journal of Experimental Child Psychology, 1981, 32, 115-126

Slobin, D.I. Universal and particulars in the acquisition of language, Workshop report, (zitiert nach Cromer, 1981)

Smedslund, J. Extinction of conservation of weight acquired "normally" and by means of empirical control on a balance, III., Scandinavian Journal of Psychology,1961, 1, 153-155

Smedslund, B.J. Circular relations between understanding and logics, Scandinavian Journal of Psychology, 1969, 11, 217-219

Smedslund, B.J. Piaget's psychology in practice , British Journal of Educational Psychology, 1977, 47, 1-6

Steffe, L.P. , Firth, D. & Cobb, P. On the nature of counting activity : perceptual unit items, For The Learning of Mathematics, 1981, 2(1), 13-21

Steffe, L.P. , & Richards, J. The teaching experiment methodology in a constructivist research program, Unpublished manuscript, Athens, University of Georgia, 1980

Stephens, B. Symposium : developmental gains in the reasoning , moral judgment and moral conduct of retarded and nonretarded persons, American Journal of Mental Deficiency, 1974, 79, 113- 126

Strauss, S. Inducing cogntive development and training a review of review of short term training experiments: I. the organismic developmental appraisal, Cognition, 1972,1, 329-357

Strauss, M.S. & Curtis, L.E. Infant perception of numero. sity, Child Development, 1981, 52, 1146-1152

Thomas, H. Evaluating the stage learning hypothesis, Journal of Experimental Child Psychology, 1980, 29, 507-517

Tomlinson-Keasey, C. et al. The structure of concrete operational thought, Child Development, 1979, 50, 1153- 1163

Vonèche, J.J. & Gruber, H. E. Eds. The essential Piaget, Basic Books, New York, 1977

Von Glasersfeld, E. An attentional model for the cònstruction of units and number, Journal for Research in Mathematics Education, 1981, 12, 83- 94

Vuyk, R. Overview and critique pf Piaget's genetic epistemology, 1965-1980, London, Academic Press, Volume 1 and Volume 2 , 1981

Wilton, K.N. & Boersma, F.J. Conservation research with the mentally retarded, in Ellis, N.R. Ed. International Review of Research in Mental Retardation, Volume 7, New York, Academic Press, 1974

Winer, G.A. Conservation of different quantities among preschool children, Child Development, 1974, 45, 839-842

Wohlwill, J. The study of behavioral development, New York, Academic Press, 1973

‡‡‡‡‡‡‡‡‡‡‡‡‡‡

Nachtrag :

Dasen, P.R. Concrete operational development in three cultures, Journal of Cross Cultural Psychology, 1975, 6(2), 156-172

Dasen, P.R. Are cognitive processes universal ? a contribution to cross-cultural psychology, , in Warren,N. Ed. Studies in cross-cultural psychology, Volume 1, London, Academic Press, 1977, S. 155-201

Hayes, J.R. & Simon, H.A. Psychological differences among problem isomorphs, in Castellan, N.R. Jr. et al , Eds. Cognitive theory, Volume 2, Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum, 1977, S. 21-41

Pinard, A., Morin, C. &Lefebvre, M. Apprentissage de le conservation des quantités liquides chez des enfants rwandais et canadien-français, Journal International de Psychologie, 1973, 8(1), 15-24