

WARUM SCHWIMMEN SCHIFFE?

ZUR ENTWICKLUNG NAIVEN WISSENS ÜBER DEN AUFTRIEB

Bettino Janke

Vor dem Hintergrund der Informationsintegrationstheorie wird über zwei Experimente zur Entwicklung von naivem Wissen von Kindern und Erwachsenen über den Auftrieb berichtet. Im ersten Experiment beurteilten vier Altersgruppen (Achtjährige, Zehnjährige, Zwölfjährige und Erwachsene) die maximale Ladung, die verschiedene Boote mit variiertem Gewicht und Volumen tragen konnten. Im zweiten Experiment beurteilten Achtjährige und Erwachsene, wieviel Ladung auf verschiedene Quader geladen werden muß, um diese vollständig in einem Aquarium zu versenken. Die Beachtung der relevanten Dimensionen nahm mit dem Alter deutlich zu. In allen Altersgruppen zeigten sich jedoch auch bestimmte Fehlkonzeppte, wie z.B. die Fokussierung auf das Gewicht der Boote. In beiden Experimenten führte jeweils eine Versuchsbedingung bei fast der Hälfte der jüngeren Kinder zu richtigen Lösungen, während in einer physikalisch vergleichbaren Bedingung nur wenige Kinder richtig urteilten. Diese Ergebnisse weisen auf unterschiedliche Zugriffsmöglichkeiten auf das vorhandene Wissen hin. Insgesamt offenbaren die Ergebnisse der jüngeren Kinder ein weit größeres implizites Verständnis als aufgrund der Literatur zu erwarten war. Zugleich unterstreichen sie, daß selbst die impliziten Theorien Erwachsener durch stabile Fehlkonzeptionen gekennzeichnet sind.

Schlüsselwörter: Intuitive Physik, Wissensentwicklung, Kinder, Problemlösen, Auftrieb

Zur A. Rümmler, S. Pauer, J. Schwarzer,
(1992) Kognitive Entwicklungspsychologie
Aktuelle Forschungsergebnisse, Langen: Klett.

WHY DO SHIPS SWIM? ON THE DEVELOPMENT OF NAIVE KNOWLEDGE CONCERNING FLOATING

Based on the information integration theory, two experiments on children's and adults' implicit, naive knowledge of variables that determine floating and sinking are reported. During the first experiment, four age groups (children aged 8, 10, 12 and adults) judged the maximal load that boats varying in weight and volume can carry. In a second experiment, 8-year-olds and adults had to judge the minimal amount of load that is necessary to press blocks varying in height and weight under the water-level of a water basin. The design of both tasks allowed for the identification of physically correct solutions as well as systematic misconceptions. Integration of both relevant dimensions, weight and volume, improved with age. However, in every age group characteristic misconceptions were observed, for example, a focusing on the weight dimension in the first experiment. In both experiments there was one condition in which even half of the 8-year-olds was able to solve the task, while in a second, physically comparable condition, only a minority of the youngest children solved the task correctly. These results can be interpreted in terms of different access to available knowledge. Overall, the results reveal for more implicit understanding than was expected in younger children. At the same time, they re-emphasize that even adults' implicit theories can be characterized as stable misconceptions.

Key words: intuitive physics, development of knowledge, children, problem solving, floatation

EINLEITUNG

Viele Ereignisse und Handlungen im Alltag enthalten Elemente, die physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgen. Schon sehr junge Kinder probieren, ob ein Gegenstand schwimmt oder sinkt, stapeln Bauklötze oder werfen Bälle auf ein Ziel. Beachten sie in solchen Alltagssituationen alle bedeutsamen Faktoren und ignorieren unwichtige Informationen? Können sie die funktionalen Beziehungen zwischen verschiedenen physikalischen Variablen antizipieren und bei ihren Handlungen berücksichtigen? Letztlich stellen diese Fragen nach dem Erwerb und der Repräsentation komplexen Wissens ein zentrales Anliegen der Kognitiven Entwicklungspsychologie dar (vgl. Weirert & Waldmann, 1988).

Gerade in jüngster Zeit wurde die Bedeutsamkeit dieser Fragen noch einmal un-
terstrichen durch eine Debatte über den Verlauf der Entwicklung solcher naiven
physikalischen Konzepte. Während einige Autoren annehmen, daß naive physikali-
sche Konzepte im Lauf der ontogenetischen Entwicklung mehrfach überarbeitet
werden müssen, bis sie mit dem naiven physikalischen Wissen Erwachsener ver-
gleichbar sind (Carey, 1991), gehen andere Autoren davon aus, daß fundamen-
tale Konzepte wie das der Schwerkraft, bereits im Säuglingsalter vorhanden sind, sich
somit im Lauf der Ontogenese nicht verändern, sondern nur erweitert werden
müssen (Spelke et al., 1995, 1997).

Der vorliegende Artikel geht der Frage nach, welches naive Wissen Kinder und
Erwachsene über das Schwimmen und Sinken von Gegenständen (Auftrieb) besit-
zen. Hierbei ist es das Ziel, das Verständnis grundlegender physikalischer Varia-
blen zu prüfen und mögliche Fehlkonzepte zu beschreiben. Theoretischer Rahmen
für die Untersuchung war die Informations-Integrations-Theorie (Anderson, 1981;
Anderson & Wilkening, 1991).

WIE VERLÄUFT DIE ENTWICKLUNG VON KONZEPTEN DES SCHWIMMENS?

Bereits Jean Piaget hat sich intensiv mit den kindlichen Erklärungen physikalischer,
biologischer und psychologischer Sachverhalte und so auch mit den Erklärungen
des Schwimmens und Sinkens befaßt (Inhelder und Piaget, 1955/1958; Piaget,
1927/1951). Das Ziel seiner Arbeit lag in der Identifikation bereichsübergrei-
fender Strukturen des logisch operativen Denkens. In Piagets Untersuchungen
mußten Kinder das Schwimmverhalten verschiedener Gebrauchsgegenstände
(unter anderem auch von Booten) vorhersehen und erklären (Piaget, 1927). Die
Erklärungen des Schwimmens ordnete Piaget vier Stufen zu. In Stufe I (bis 5 Jahre)
wird das Schwimmen mit animistischen Prinzipien oder einer moralischen Notwen-
digkeit begründet. In der Stufe II (5-6 Jahre) behaupten die Kinder, daß Boote
schwimmen, da sie durch eine dynamische Kraft über Wasser gehalten werden.
Auch in der Stufe III (6-8 Jahre) enthalten ihre Erklärungen Überreste der dynami-
schen Konzeptionen (Boote schwimmen, weil sie leicht sind und sich bewegen). In
Stufe IVa (9 Jahre) ist eine der häufigsten Erklärungen, daß Boote schwimmen, weil
sie Luft enthalten. In Stufe IVb können die Kinder die Volumina bereits in Beziehung
zu deren Gewicht setzen, aber sie verwechseln z. T. noch das relative Gewicht
(=Dichte) mit dem absoluten Gewicht. In Stufe IVc (um 9 Jahre) beginnen sie, die
wirklichen Relationen zu verstehen. Noch diesen Ergebnissen sind frühestens bei
Neunjährigen richtige Erklärungen des Schwimmens zu erwarten. In ihrer Arbeit zur

Entwicklung der Stufe der formalen Operationen griffen Inhelder und Piaget (1955)
das Schwimmen von Objekten als physikalisches Problem wieder auf und kamen
nun zu dem Ergebnis, daß ein korrekter Begriff des Auftriebs erst in der Stufe der
formalen Operationen vorhanden ist. Notwendige kognitive Voraussetzung zur
Lösung dieser Aufgaben war jetzt das Erkennen der Invarianz von Gewicht und
Volumen, die Existenz eines atomistischen Dichtekonzeptes sowie die Fähigkeit zur
Hypothesenbildung und -prüfung.

Auch die nachfolgenden Untersuchungen zeichneten kein deutlich anderes Bild der
Entwicklung von Auftriebskonzepten (Daumenlang, 1969; Dentici, Grossi, Borghi,
DeAmbrosis & Mossaro, 1984; Huang, 1931; Kewitz, 1989; Laurendeau und
Pinard, 1962; Zaporozhets und Lukov, 1941/1979). Selbst die neueste Untersu-
chung der Auftriebskonzepte von Schülern replizierte die Ergebnisse Piagets
(Halford, Brown & McThompson, 1986). Halford et al. ließen acht- und dreizehn-
jährige Schüler verschieden große und schwere Quader in sinkende und schwim-
mende Klassifizieren. Im zweiten von insgesamt drei Versuchsdurchgängen durften
die Kinder ausprobieren, ob ihre Vorhersage stimmt. Die Auswertung der Vorher-
sagen erfolgte über die Einordnung in ein Set von über 30 verschiedenen Regeln.
Vor dem Rückmeldungs-durchgang urteilten beide Altersgruppen allein auf der
Basis des Gewichts der Quader. Noch wiederholter negativer Rückmeldung wäh-
rend des zweiten Durchgangs bezogen die Dreizehnjährigen sowohl das Gewicht
als auch das Volumen in ihre Urteile ein, während die Urteile der Achtjährigen
nicht klassifizierbar waren. Das Scheitern der jüngeren Kinder wird von den Auto-
ren mit einer nicht vorhandenen Fähigkeit, Proportionen zu bilden, erklärt. In einer
Replikation dieser Arbeit fanden wir jedoch schwerwiegende Mängel des verwen-
deten Regelsystems, mit dem keine eindeutige Zuordnungen von Urteilen zu Regeln
möglich war (Janke, 1990). Stattdessen zeigte sich, daß die Urteile meistens ver-
schiedensten Regeln gleichzeitig zugeordnet werden konnten. Letztlich werden die
Ergebnisse von Halford et al. durch diese methodischen Mängel uninterpretierbar.

WARUM SCHEITERN DIE KINDER IN PIAGETS UNTERSUCHUNGEN?

Geht man einmal nicht von einem Defizit kognitiver Strukturen aus, entsteht die
Frage, welche anderen Gründe für das Scheitern jüngerer Kinder in den Auftriebs-
aufgaben von Piaget verantwortlich sein könnten. Ein erstes Problem könnte in
einem konzeptuellen Defizit der Kinder bei mit dem Auftrieb verwandten Konzepten
wie dem des Gewichts, des Volumens und der Dichte vermutet werden. In dieser
Richtung argumentiert beispielsweise Carey (1991). Ein anderes Problem liegt in
einer unsystematischen Materialauswahl: Manche der verwendeten Gegenstände
schwammen aufgrund ihrer Dichte (z. B. Holz), andere aufgrund ihrer "Form" oder

"mittleren Dichte" (Hohlkörper wie z.B. Boote), andere wiederum aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers (Aluminiummünzen), einer Variablen, die nichts mit dem Auftrieb zu tun hat. Von Physikern ist deshalb inzwischen die Komplexität der Aufgaben kritisiert worden (Snir, ohne Jahr; Wiesner, 1991). Ein weiteres methodisches Problem der Arbeiten Piagets liegt in der ausschließlichen Verwendung verbaler Verfahren zur Wissensdiagnose. Dieses Vorgehen ermöglicht nur die Identifikation expliziten, verbalisierbaren Wissens und könnte zu einer Unterschätzung des naiven Wissens geführt haben. Ein viertes Problem liegt in der Verwendung von binären *Wahlaufgaben*, in denen nur vorhergesagt werden mußte, ob ein Gegenstand schwimmt oder sinkt. Diese ermöglichen nicht die Erfassung des quantitativen Verständnisses der physikalischen Variablen. Ebenso fehlen Informationen über die Art der Fehlkonzeptionen in diesem Bereich. Selbst neuere Arbeiten berichten nur über die Häufigkeit richtiger und falscher Urteile, ohne diese zu beschreiben (Smith, 1987). Da naive physikalische Konzeptionen häufig von den physikalischen Gesetzmäßigkeiten abweichen, ist ihre Identifikation sowie eine Analyse der Bedingungen, unter denen Fehlkonzeptionen auftreten, besonders wichtig.

WELCHE FEHLKONZEPTE HABEN KINDER ÜBER DAS GEWICHT, VOLUMEN UND DIE DICHT E VON GEGENSTÄNDEN?

Da Untersuchungen zu charakteristischen Fehlkonzeptionen über das Schwimmen von Gegenständen bislang nicht vorliegen, sind neuere Arbeiten zur Entwicklung physikalisch verwandter Konzepte wie Volumen-, Gewichts- und Dichtekonzeptionen (Carey, 1991; Smith, Carey & Wiser, 1986) besonders interessant. Smith, Carey und Wiser (1986) zeigten in einer Untersuchung mit Kindern im Alter von drei bis neun Jahren, daß bereits Dreijährige die Größe eines Gegenstandes von seinem Gewicht unterscheiden können. Die Aufgaben waren so konstruiert, daß neben der relevanten physikalischen Dimension (z.B. Gewicht) eine weitere physikalische Dimension (z.B. Volumen) variiert wurde. Beispielsweise mußten die Kinder in Gewichtsaufgaben entscheiden, durch welche Objekte eine Spielzeugbrücke zum Einsturz gebracht werden konnte. Da außer dem Gewicht auch das Volumen dieser Objekte variierte, konnte festgestellt werden, ob die Kinder ihr Urteil fälschlicherweise auf das Volumen der Gegenstände bezogen. Selbst die Dreijährigen konnte diese Aufgabe lösen, ohne sich durch die Größe der Gegenstände irritieren zu lassen. Größere Schwierigkeiten bereiteten den Kindern die Aufgaben zum Verständnis der Dichte, deren Diagnose unter anderem über das Sortieren in leichte und schwere Materialfamilien (Stahl, Aluminium, Lehm, Wachs) erfolgte. Mußten die Kinder die gleichen Objekte nacheinander noch wechselnden Kriterien

wie Gewicht oder Dichte beurteilen, verwechselten die Kinder Gewicht und Dichte. Ob jüngere Kinder immer genau verstanden haben, welche Größe sie beurteilen sollten, erscheint zweifelhaft (siehe hierzu ausführlich Kohn, 1993, S. 1639). Dennoch interpretiert Carey (1991) diese Verwechslungen von Gewicht und Dichte als Ausdruck eines unvollständigen Begriffs von Materie, der noch ihrer Ansicht nach bei Zwölfjährigen, möglicherweise sogar bei Erwachsenen besteht. Danach wird das Gewicht zunächst nicht als notwendige Eigenschaft von Materie, sondern als „zufällige“ Eigenschaft mancher materieller Gegenstände angesehen. Nur durch „fundamentale Restrukturierungsprozesse“ wird das Gewicht von Gegenständen als Eigenschaft von Materie angesehen.

Insgesamt wäre noch diesen Ergebnissen zu erwarten, daß bereits jüngere Kinder das Gewicht und die Größe von Objekten als voneinander abhängige Eigenschaften repräsentieren. Demgegenüber wird die Dichte als von Gewicht und Volumen unabhängige Eigenschaft von Materie frühestens ab dem 9. Lebensjahr verstanden (Smith et al., 1986). Da die Dichte, als Quotient aus dem Gewicht und Volumen eines Gegenstandes, zu den physikalischen Variablen gehört, die bestimmt, ob ein Gegenstand schwimmt oder sinkt, ist nach diesen Schlussfolgerungen interessant, inwieweit Kinder auf diese Kompetenzen bei der Lösung von Auftriebsproblemen zurückgreifen können.

UNTERSUCHUNGEN ZUM NAIVEN WISSEN ÜBER DAS SCHWIMMEN

Das Ziel der folgenden Untersuchung lag in einer Erfassung von implizitem, intuitivem Wissen über den physikalischen Auftrieb. Entsprechend der Theorie des operativen Denkens ist davon auszugehen, daß existierende Wissenssysteme von der handelnden Person an neue Situationen angepaßt werden. Wie bereits im Kapitel *Intuitives Wissen* beschrieben, bestimmen die Charakteristika einer Aufgabe ebenso wie das Lebensalter, welches Wissen bei der Lösung einer Aufgabe herangezogen wird. Für die Konstruktion von Versuchssituationen bedeuten diese Überlegungen, daß (1) intuitives Wissen nur durch die Verwendung verschiedener Aufgaben identifiziert werden kann, (2) die Aufgaben möglichst alltagsnah sein und an bestehende Kompetenzen anknüpfen und (3) die kognitiven Anforderungen systematisch variiert werden sollten, indem sowohl vereinfachende als auch erschwerende Variablen in die Aufgaben eingeführt werden. Insgesamt wurde mit drei verschiedenen Typen von Aufgaben gearbeitet (vgl. Janke, 1990). Im Folgenden wird über zwei der drei Aufgabentypen berichtet.

Aufgabentyp 1: Das Schwimmen von Booten

Im ersten Experiment sollte systematisch untersucht werden, ob Kinder im Alter von 8 bis 12 Jahren und Erwachsene bei der Bearbeitung einer Auftriebsaufgabe zwei physikalisch bedeutsame Variablen, nämlich das Gewicht und das Volumen von Gegenständen, identifizieren und berücksichtigen können. Zunächst wurde untersucht, inwieweit Kinder und Erwachsene das Gewicht und das Volumen von Gegenständen für solche Vorhersagen nutzen können. Die Versuchspersonen mußten die Auftriebskraft verschiedener Boote beurteilen, deren Gewicht und Volumen (unabhängige Variablen) systematisch variiert wurde. Die Konstruktion der Boote basierte auf einem 3 x 3 Plan mit den Gewichtsstufen (50g, 100g, 150g) und den Volumenstufen (Länge: 11cm, 14cm und 17cm, Breite bzw. Höhe jeweils 3,5 und 5cm). Die Boote einer Gewichtsstufe waren an den Außenseiten gleichfarbig (beige, gelb, grün). Alle 9 Boote besaßen eine gleich große Ladefläche (vgl. Abb. 1).

Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die maximale Zulademenge (abhängige Variable), die jedes der 9 Boote transportieren kann, ohne unterzugehen, auf einer Schätzskala zu beurteilen. Diese Aufgabe war in eine Geschichte eingebettet, in der Dagobert Duck ein geeignetes Boot sucht, mit dem er sein Vermögen („Zulademenge“) über einen Fluß transportieren kann (vgl. Abb. 1).

Zusätzlich wurden zwei verschiedene Bedingungen eingeführt. Die sogenannte *Wasserbedingung* sollte es den Versuchspersonen ermöglichen, die Wirkung der Variablen Gewicht und Volumen, im Wasser zu beobachten. Hierzu wurden die Boote hochgehoben und in ein Aquarium gesetzt. Danach mußten die Teilnehmer an der Schätzskala anzeigen, wieviel Ladung das jeweilige Boot transportieren kann, ohne unterzugehen. In der zweiten Bedingung, der *Luftbedingung*, erhielten die Versuchspersonen nur optische und haptische Informationen über das Gewicht und Volumen der Boote, indem sie die Boote vor dem Urteil hochheben durften. Die Wirkung der Variablen, Gewicht und Volumen, im Wasser mußten sie sich vorstellen, da die Boote nicht in das Aquarium gesetzt werden durften. An beiden Untersuchungen nahmen jeweils ca. 20 Acht-, Zehn-, Zwölfjährige und Erwachsene teil.

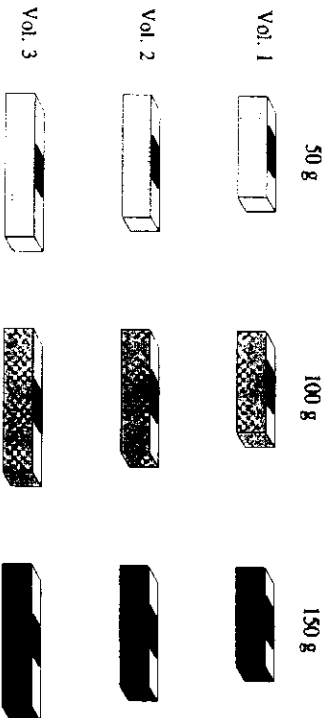
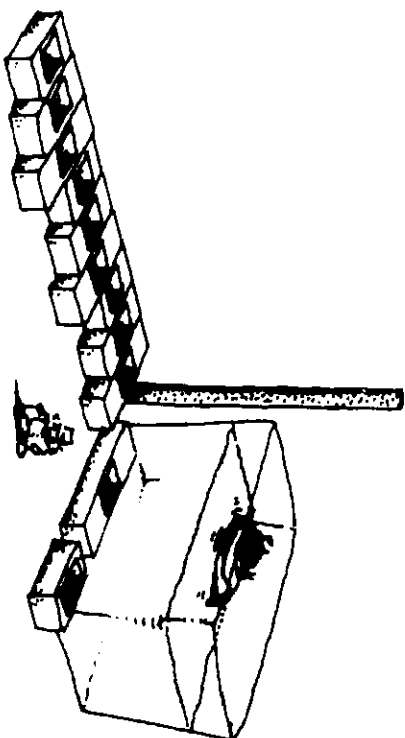


Abb. 1: Versuchsmaterial in den Bootsversuchen

WIE SIEHT DIE KORREKTE LÖSUNG DIESER AUFGABE AUS?

Zur richtigen Lösung dieser Aufgabe ist es notwendig, sowohl das Gewicht als auch das Volumen der Boote zu berücksichtigen. Mit zunehmendem Volumen können die Boote mehr Ladung transportieren, während sie bei gleichzeitig zunehmendem Gewicht weniger Ladung transportieren können. Somit besteht zw-

schen Zuladung und Gewicht ein umgekehrt proportionaler und zwischen Zuladung und Volumen ein proportionaler Zusammenhang: Ob Kinder und Erwachsene wirklich beide oder nur eine Dimension beachten, kann man aus den Belastungsurteilen rückschließen. Beachten sie nur das Volumen der Boote, müßen Boote gleichen Volumens trotz unterschiedlichen Gewichts mit der gleichen Menge beladen werden, beachten sie nur das Gewicht, müßen Boote gleichen Gewichts trotz unterschiedlichen Volumens mit der gleichen Beladungsmenge versehen werden (Janke, 1995). Die Daten wurden sowohl auf der Ebene der Gesamtgruppe als auch auf individueller Ebene analysiert. Die Auswertung umfaßte jeweils eine Inspektion der graphischen Darstellung der gemittelten Rohdaten jeder Versuchsperson und eine varianzanalytische Auswertung (Anderson, 1982). Im Folgenden werden nur die Ergebnisse der Analysen der individuellen Urteilmuster dargestellt, da erst diese die Identifikation vorhandener Konzepte und Fehlkonzepte in den verschiedenen Altersgruppen ermöglichen (Anderson, 1982; Gigerenzer, 1983; Surber, 1984). Die Urteile aller Versuchspersonen wurden drei verschiedenen Beladungsweisen zugeordnet: a) Eine Beladung beider Dimensionen (Auftrieb) sowie Strategien, nach denen Boote allein aufgrund ihres b) Gewichts oder ihres c) Volumens beladen wurden (Zentrierung auf eine Dimension). Die Zuordnung erfolgte auf der Basis der varianzanalytischen Ergebnisse und der graphischen Darstellungen (weitere Details siehe Janke, 1990, 1995).

WELCHE BEDEUTUNG HAT DAS ALTER FÜR DIE RICHTIGE LÖSUNG DER AUFGABE?

Abbildung 2 zeigt die Häufigkeit richtiger Urteile in beiden Altersgruppen und Bedingungen. Die Zahl physikalisch richtiger Urteile unterlag einem deutlichen Entwicklungstrend: Mit zunehmendem Alter beachteten immer mehr Personen sowohl das Gewicht als auch das Volumen der Boote. Selbst einige Achtjährige im Vergleich zu früheren Untersuchungen erstaunlich (Daumenlang, 1969; Dentici, Grossi, Borghi, DeAmbrosio & Massaro, 1984; Halford, Brown & McThompson, 1986; Huang, 1931; Klewitz, 1989; Laurendaun und Pinard, 1962; Zaporozhets und Lukov, 1941/1979).

Auch wenn die Versuchspersonen in der Wasserbedingung häufiger richtig urteilen als in der Luftbedingung, ist der Unterschied zwischen beiden Bedingungen nur bei den Achtjährigen und Erwachsenen signifikant.

WELCHE FEHLKONZEPTIONEN ZEIGEN SICH IN DIESER AUFGABE?

Unabhängig vom Alter zeigte sich in allen Altersgruppen die Annahme, daß Boote gleichen Gewichts trotz unterschiedlichen Volumens auch gleich viel fragen können. Diese Zentrierung auf das Gewicht der Boote nahm mit dem Alter ab, wurde aber in der Luftbedingung, wenn die Versuchsteilnehmer nicht die unbeladenen Boote im Wasser sehen konnten, selbst von 39% der Erwachsenen angewandt. Im Gegensatz dazu zeigte sich eine Zentrierung auf das Volumen der Boote nur in Ausnahmefällen. Die Vorstellung, daß nur das Gewicht eines Gegenstandes bestimmt, ob er schwimmt oder sinkt, fanden auch Rowell und Dawson (1977) und Halford, Brown und McThompson (1986) bei Schülern der 9. Klasse. Insofern legen auch die Ergebnisse anderer Autoren den Schluß nahe, daß die beobachteten Gewichtszentrierungen eine stabile Fehlkonzeption darstellen.

Häufigkeit richtiger Urteile in Luft- und Wasserbedingung

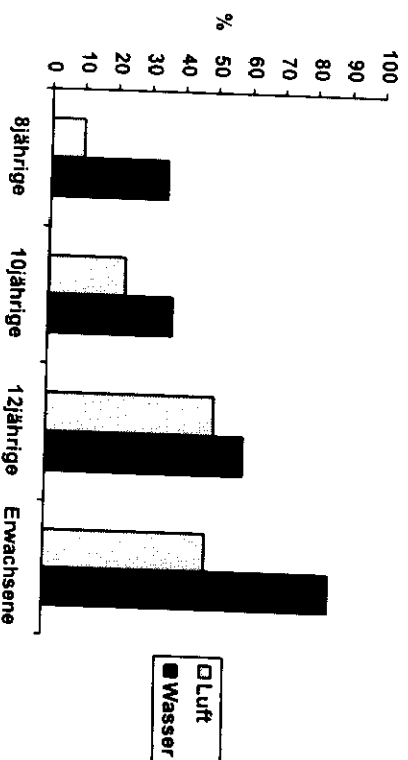


Abb. 2: Prozentuale Häufigkeit richtiger Urteile in den Bootsversuchen

Die Analyse der graphischen Darstellungen führte neben den erwarteten Zentrierungen zur Identifikation einer anderen interessanten Strategie. Drei Kinder vertauschten bei der Beladung der Boote die umgekehrt proportionale Beziehung zwischen Zuladung und Volumen und die direkt proportionale Beziehung zwischen Zuladung und Volumen, indem sie schwerere Boote mit mehr Ladung und größere Boote mit weniger Ladung versahen (zwei Achtjährige) oder berücksichtigten die umgekehrt proportionale Beziehung zwischen Zuladung und Gewicht, nicht aber die proportionale Beziehung zwischen Ladung und Volumen (ein Zwölfjähriger). Diese Kinder beachteten demnach die relevanten Dimensionen, aber benutzten nicht die adäquate Verknüpfungsregel. Ähnliche Inversionen der physikalischen Relationen zwischen Variablen fanden auch Krist, Fieberg und Wilkening (1993) in einer Aufgabe zum horizontalen Wurf.

Insgesamt ist die Fehlkonzeption, daß Boote unabhängig von ihrem Volumen bei gleichem Gewicht auch gleich viel tragen können, die in allen Altersgruppen dominante Strategie. Man könnte hier einwenden, daß diese Zentrierung auf das Gewicht der Boote durch die gleichfarbige Gestaltung der Boote einer Gewichtsstufe nahegelegt wird. Dieser Frage wurde deshalb in einem Folgeexperiment nachgegangen, in dem die Boote in einer einheitlichen Farbe dargebildet wurden. Auch hier zeigten sich die gleichen Trends: Mit zunehmendem Alter beachteten immer mehr Probanden beide relevanten Dimensionen. Zugleich zeigte sich altersunabhängig als Fehlkonzeption die Annahme, daß gleich schwere Boote auch gleich viel tragen können. Auch ein Verzicht auf die gleichfarbige Gestaltung der Boote reduzierte den Anteil an Gewichtszentrierungen nicht. Während die in den Bootsexperimenten beobachteten Entwicklungstrends mit den Ergebnissen Piogets durchaus kompatibel wären, ist die Beobachtung vergleichbarer Fehlkonzepte bei Kindern und Erwachsenen nicht mit diesen vereinbar.

Aufgabentyp 2: Zum Einsatz von Komplizierungsstrategien

Es stellt sich nun die Frage, wie sich Kinder und Erwachsene verhalten, wenn ihnen außer physikalisch relevanten auch irrelevante Dimensionen dargeboten werden. Dieses Vorgehen entspricht der Forderung von Anderson und Wilkening (1991), neben der "Vereinfachungsstrategie" auch eine "Komplizierungsstrategie" einzusetzen. Zu diesem Zweck wurde ein zweiter Aufgabentyp entwickelt, dessen richtige Lösung in einer Zentrierung auf eine Dimension bestand. Da Zentrierungen allgemein als die einfacheren Strategien anzusehen sind, bestand die Hoffnung, daß jüngere Kinder dieses Problem besser lösen können als die Bootsaufgabe.

Die Untersuchungen sollten zur Beantwortung der folgenden Fragen beitragen: (1) Wie verhalten sich Kinder und Erwachsene in einer Aufgabe zum Schwimmen von Gegenständen, in der außer physikalisch relevanten, auch irrelevante Dimensionen dargeboten werden (Komplizierungsstrategie)? (2) Kann man die Aufmerksamkeit der Versuchsteilnehmer durch verschiedene Bedingungen auf die physikalisch bedeutsamen Dimensionen lenken bzw. von diesen ablenken? (3) Verbessert sich die Häufigkeit richtiger Urteile bei jüngeren Kindern, wenn sie nur eine der variierten Dimensionen berücksichtigen müssen?

Jeweils 40 Achtjährige und Erwachsene erhielten die Aufgabe, verschiedene Quader im Wasser zu versenken. Die Quader unterschieden sich in ihrem Außen- und Eintauchvolumen (jeweils 4 Stufen) und davon abhängig ihrem Gesamtvolumen (vgl. Abb. 3). Kinder und Erwachsene sollten sich vorstellen, sie seien Wissenschaftler, die mit Hilfe verschiedener Säckchen (angeordnet als Schrittskal) diese Quader genau unter den Wasserspiegel drücken (oder ziehen) wollten. Zusätzlich wurden zwei Bedingungen eingeführt, die die Aufmerksamkeit der Versuchsteilnehmer auf das Außenvolumen bzw. Eintauchvolumen lenken sollten. In der Druckbedingung sollten sich die Versuchsteilnehmer vorstellen, daß die Säckchen auf der Oberseite der aufgestapelt würden, um sie unter Wasser zu drücken. In der Zugbedingung sollten sich die Versuchsteilnehmer vorstellen, daß die Quader durch Säckchen, die in ein Netz unter dem Quader gehängt würden, nach unten gezogen werden. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel. Physikalisch besteht zwischen beiden Bedingungen kein Unterschied!

INTUITIVE STRATEGIEN IN DER QUADERAUFGABE

Die entscheidende Dimension in dieser Aufgabe ist das Außenvolumen. Je weiter ein Quader aus dem Wasser ragt, desto mehr Ladung muß verwendet werden. Um die Aufgaben richtig zu lösen, mußten aus drei variierten Dimensionen (Außenvolumen, Eintauchvolumen, Gesamtvolumen), die richtige ausgewählt werden und nicht wie in den Bootsaufgaben zwei Dimension integriert werden. Betrochter man die hierzu notwendige Fähigkeit zu zentrieren, stellt die Lösungsstrategie eine Vereinfachung dar. Jedoch führt die geplante Änderung der Aufgabenstruktur zu einer "Verkomplizierung", da aus verschiedenen Informationen die richtige ausgewählt werden muß. Dieses Vorgehen soll es ermöglichen, die Grenzen intuitiver Konzepte zu untersuchen (Anderson & Wilkening, 1991).

¹ Allerdings ist in der Zugbedingung eine größere Zahl von Säckchen erforderlich, da ihr Auftrieb im Wasser berücksichtigt werden muß.

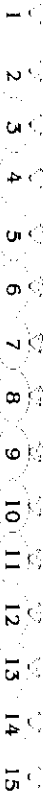
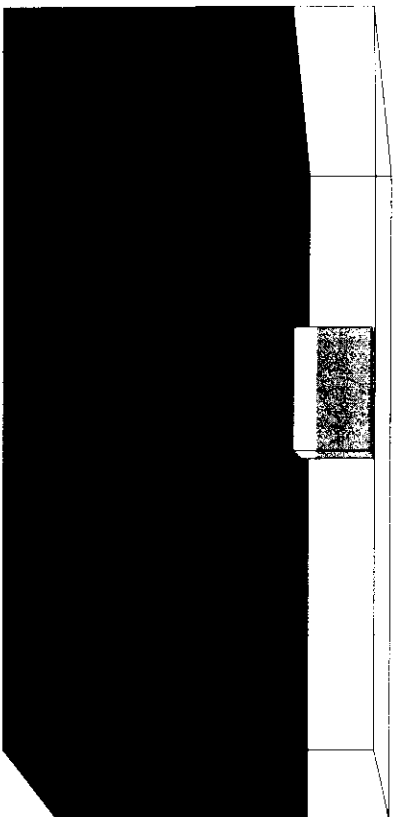


Abb. 3: Schematische Darstellung der Versuchssituation in der Zugbedingung

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Urteilsverteilung in beiden Versuchsbedingungen und Altersgruppen. In der Druckbedingung beachteten fast die Hälfte der Achtjährigen und Erwachsenen bei der Beladung der Quader die richtige Dimension, das Außenvolumen. Positiv formuliert bedeutet dieses Ergebnis, daß diese Achtjährigen, sogar wenn sie in einer Aufgabe mit relevanten und irrelevanten Variablen konfrontiert werden, richtig urteilen. Mit 45% ist diese Leistung jedoch keineswegs perfekt. Als Fehlkonzepkt finden wir in der Druckbedingung bei den Kindern die Vorstellung, daß voluminösere Quader mit mehr Ladung versehen werden. Demgegenüber zeigten 30% der Erwachsenen eine interessante und nicht erwartete Strategie, bei der Eintauchvolumen und Außenvolumen in Beziehung zueinander gesetzt werden. Diese Probanden luden bei zunehmendem Außenvolumen zwar mehr, jedoch bei gleichzeitig zunehmendem Eintauchvolumen weniger zu (AV-EV)?

² Inzwischen wurde diese Strategie mehrfach in Untersuchungen mit Erwachsenen gefunden (Janke, 1994).

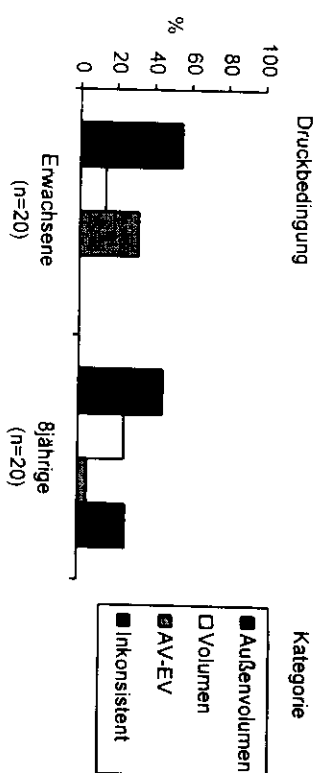


Abb. 4: Häufigkeiten der Urteilmuster in der Druckbedingung

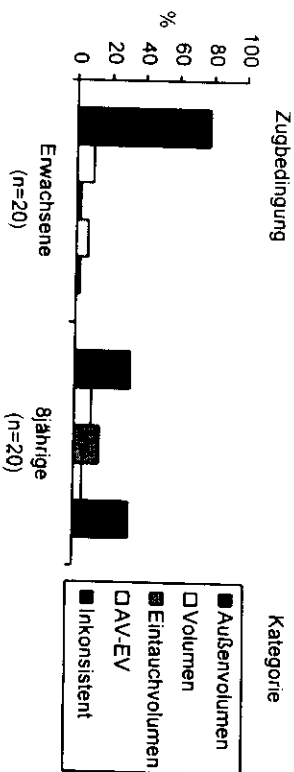


Abb. 5: Häufigkeiten der Urteilmuster in der Zugbedingung

In der Zugbedingung findet sich im Gegensatz zur Druckbedingung eine deutliche Überlegenheit der Erwachsenen im Vergleich zu den Achtjährigen. Offensichtlich aktiviert die Vorstellung, daß die Quader nach unten gezogen werden sollen, bei den Erwachsenen implizite Wissensstrukturen, an die sie in der Druckbedingung nicht anknüpfen können. Demgegenüber bereitet den Achtjährigen gerade diese Bedingung Schwierigkeiten. Dies wird auch deutlich durch die große Zahl inkonsistent urteilender Achtjähriger. Insgesamt also finden wir einen deutlichen Effekt der

Bedingungen. Dieser Effekt ist besonders erstaunlich, da aus physikalischer Sicht kein Unterschied zwischen den beiden Bedingungen besteht.

VERGLEICH DER ERGEBNISSE IN DEN BOOTS-AUFGABEN MIT DENEN DER QUADERAUFGABE

In beiden Aufgaben zeigten sich Effekte der eingeführten Versuchsbedingungen. In den Boots-aufgaben führte die Wasserbedingung in allen Altersgruppen zu einer Erhöhung des Anteils richtiger Urteile. Bedingungsunabhängig zeigten sich bei Kindern und Erwachsenen die gleichen Fehlkonzeppte. Ganz anders wirkten die Bedingungen in den Quaderaufgaben. Diejenige Bedingung, die bei den Erwachsenen zur höchsten Rate richtiger Urteile führte, bereitete den Kindern größere Schwierigkeiten (Zugbedingung), während die Bedingung, in der die Kinder häufig richtig urteilten, bei den Erwachsenen zu einer Verringerung des Anteils richtiger Urteile führte. Auch die Qualität der Fehlkonzeppte von Kindern und Erwachsenen war in der Quaderaufgabe nicht vergleichbar.

Folgt man diese Beobachtungen zusammen, so wirken die Versuchsbedingungen in zwei Aufgaben zum Schwimmen sehr unterschiedlich. In den Boots-aufgaben führt eine Bedingung sowohl bei Kindern und Erwachsenen zu einem Anstieg richtiger Urteile bei vergleichbaren Fehlkonzeppten. In den Quaderaufgaben hingegen führen die Bedingungen zu deutlichen qualitativen Unterschieden im Urteilsverhalten der beiden Altersgruppen. Trotz dieser Unterschiede in der Wirkungsweise der Versuchsbedingungen finden sich jedoch auch Übereinstimmungen. In jeweils einer Bedingung der beiden Aufgabentypen (Wasserbedingung und Druckbedingung (bei den Kindern) bzw. Zugbedingung (bei den Erwachsenen)) löst fast die Hälfte der Achteitjährigen und die Mehrheit der Erwachsenen die Aufgabe richtig. Umgekehrt finden wir je eine Bedingung, in der maximal die Hälfte der Erwachsenen und nur ein Bruchteil der Kinder die Aufgabe richtig löst. Damit ist in den Boots-aufgaben und den Quaderexperimenten die Spanne richtiger und falscher Urteile innerhalb und zwischen den beiden Altersgruppen stabil.

SIND DIE BEFUNDE VEREINBAR MIT DEN ANNAHMEN PIAGETS ÜBER DEN ENTWICKLUNGSVERLAUF?

Die Ergebnisse scheinen mit stufenheoretischen Konzeptionen früherer Arbeiten zum Auftrieb nicht vereinbar. Sie stehen jedoch im Einklang mit anderen Arbeiten zur intuitiven Physik (Krisi, Fieberg, & Wilkening, 1993) und neueren Theorien

kognitiver Entwicklung (Fischer, 1993). Sie stützen die Behauptung, daß die Leistung in einer Aufgabe eine Funktion des Kontextes und der jeweiligen Entwicklungsvoraussetzung einer Person ist. Danach ist selbst in einem spezifischen Inhaltsbereich nicht ein Entwicklungsniveau zu erwarten, sondern es wird zwischen einem optimalen und einem funktionalen Niveau unterschieden. Hierbei entspricht das optimale Niveau dem Niveau, das in vertrauter Umgebung mit großer Unterstützung von außen erreicht werden kann. Das funktionale Niveau entspricht dem Niveau, zu dem die Person außerhalb dieses Kontextes fähig ist (Fischer, 1993). In diesem Sinn stellen beispielsweise für die Erwachsenen die Luftbedingung und die Druckbedingung den Rahmen zur Erreichung des funktionalen Niveaus dar. Die Wasserbedingung und die Zugbedingung können als Rahmen zur Erreichung des optimalen Niveaus verstanden werden. Fischer verwendet diese Unterscheidung allerdings nur in seinen entwicklungspsychologischen Arbeiten. Unsere Ergebnisse belegen jedoch, daß analoge Beobachtungen sogar bei Erwachsenen möglich sind.

SCHLUSSEFOLGERUNGEN

Die bislang dargestellten Befunde könnten den Eindruck erwecken, daß wie Piaget schon gezeigt hat, das naive Wissen der Kinder keineswegs perfekt ist. Dieses wäre jedoch eine voreilige Schlußfolgerung, denn insgesamt zeigen beide Untersuchungen, daß die naiven Vorstellungen über das Schwimmen von Gegenständen bereits im Grundschulalter differenzierter sind, als selbst neuere Untersuchungen zum expliziten Wissen annehmen (Daumenlang, 1969; Dentici, Grossi, Borghi, DeAmbrosio & Massaro, 1984; Huang, 1931; Klewitz, 1989; Laurendeau und Pinard, 1962; Zaporozhets und Lukov, 1941/1979). Dies ist besonders erstaunlich, da beide Aufgaben nur lösbar sind, wenn man weiß, welches die richtigen physikalischen Dimensionen sind und deren quantitative Ausprägung beachtet und die funktionalen Beziehungen zwischen den Variablen berücksichtigt. Neuere Untersuchungen mit den Boots-aufgaben, die auch Fünftjährige miteinbezogen, fanden sogar in dieser Altersgruppe einige Kinder, die diese Aufgabe richtig lösten (Janke, 1993). Keine der früheren Untersuchungen konnte Kompetenzen dieser Art nachweisen. Eine Erklärung für das insgesamt beeindruckende naive Wissen könnte man in der Anschaulichkeit und Attraktivität der Aufgabe vermuten. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen wurde aus eher spontanen Urteilen der Versuchsteilnehmer und nicht aus Verbalisierungen auf vorhandenes naives Wissen zurückgeschlossen. Die in allen Altersgruppen beobachteten Fehlkonzeptionen zeigen jedoch deutlich, daß trotz des Einsatzes einer attraktiven, alltagsnahen Aufgabe nicht nur richtig geurteilt wird. Die in den Boots-aufgaben gefundenen Fehlkonzeppte

erwiesen sich auch gegenüber ersten Versuchen, diese Konzepte zu ändern als relativ stabil (Janke, 1993). Insgesamt zeigen die Ergebnisse, daß die Häufigkeit richtiger und falscher Vorstellungen nicht allein abhängig ist vom Lebensalter und den damit verbundenen kognitiven Strukturen, sondern vom jeweiligen Kontext, in den eine Aufgabe eingebettet ist. Dies wird durch die beschriebenen Bedingungsfehler in der Zug- und Druckbedingung ebenso deutlich wie durch den Anstieg richtiger Urteile in der Wasserbedingung gegenüber der Luftbedingung. Das naive Wissen von Kindern und Erwachsenen zu einem bestimmten Sachverhalt kann somit nur durch die Verwendung verschiedener Aufgaben erfaßt werden.

LITERATUR

- Anderson, N. H. (1981). *Foundations of information integration*. New York, NJ: Academic Press.
- Anderson, N. H. (1982). *Methods of information integration theory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, N. H. & Wilkening, F. (1991). Adaptive thinking in intuitive physics. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory* Vol. 3 (pp. 1-42). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 257-291). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Daumenlong, K. (1969). Physikalische Konzepte junger Erwachsener. Ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation. Unveröffentlichte Dissertation. Erlangen-Nürnberg: Friedrich Alexander Universität.
- Denicci, O. A., Grossi, M. G., Borghi, A., De Ambrosio, A. & Massara, C. I. (1984). *Understanding floating: A study of children aged between six and eight years*. European Journal of Science Education, 6, 235-243.
- Drake, S. (1981). *Course, experiment, and science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Fischer, K. W., Rotenberg, E. J., Bullock, D. H. & Royo, P. (1983). The dynamics of competence: How context contributes directly to skill. In R. H. Wozniak, K. W. Fischer (Eds.), *Development in context: Acting and thinking in specific environments*. The Jean Piaget symposium series (pp. 93-117). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gigenzer, G. (1983). Informationsintegration bei Kindern: Eine Widerlegung auf Wilkening. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 15, 216-221.
- Halford, G. S., Brown, C. A. & McThompson, R. L. (1986). *Children's concepts of volume and floatation*. *Developmental Psychology*, 22, 218-222.
- Huang, I. (1931). *Children's explanations of strange phenomena*. *Psychologische Forschung*, 14, 63-182.
- Inhelder, B. & Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Janke, B. (1990). *Entwicklung intuitiven Wissens über den physikalischen Auftrieb*. Frankfurt am Main: Unveröffentlichte Dissertation.
- Janke, B. (1993). *Analogen beim Problemlösen: Neuere Ergebnisse der kognitiven Entwicklungspsychologie zum Einsatz von Analogien zur Veränderung naiver Fehlkonzepte über das Schwimmen*. Augsburg: Berichte zur Entwicklungspsychologie und Pädagogischen Psychologie. Augsburg: Forschungsstelle für Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie.
- Janke, B. (1994). *Physikalische (Miß-)Konzepte bei Kindern und Erwachsenen*. Vortrag, gehalten auf der 36. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, München.
- Janke, B. (1995). *Entwicklung intuitiven Wissens über den physikalischen Auftrieb: Warum schwimmen Schiffe? Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 27, 122-138.
- Klewitz, E. (1989). *Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Unterrichts vor dem Hintergrund der genetischen Erkenntnistheorie* Piagets. Mülheim: Westarp.
- Kohn, A. S. (1993). *Preschoolers' reasoning about density: Will it float? Child Development*, 64, 1637-1650.
- Krist, H., Fieberg, E. L. & Wilkening, F. (1993). *Intuitive physics in action and judgment: The development of knowledge about projectile motion*. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 952-966.
- Laurendeau, M. & Pinard, A. (1962). *Causal thinking in the child: A genetic and experimental approach*. New York: International University Press.
- Piaget, J. (1951). *The child's conception of physical causality* (M. Gaboin, Trans.). London: Routledge & Kegan Paul. (Original 1927).
- Rowell, J. A. & Dawson, C. J. (1977). *Teaching about floating and sinking: An attempt to link cognitive psychology with classroom practice*. *Science Education*, 61, 245-253.
- Smith, C. (1987). *The effectiveness of a computerbased modeling approach for teaching students about density*. Paper presented at AERA meetings, Washington, DC.
- Smith, C., Carey, S. & Wisner, M. (1986). *On differentiation: A case study of the development of the concept of size, weight, and density*. *Cognition*, 21, 177-237.

- Spelke, E. S. (1997, April). Nativism, empiricism, and the origins of knowledge. Paper presented at the meeting of the Society for Research in Child Development, Washington, DC.
- Spelke, E. S., Vishnoff, P. & von Holsten, C. (1995). Object perception, object-directed action, and physical knowledge in infancy. In M. S. Gazzaniga (Hrsg.), *The cognitive neurosciences* (pp. 165-181). Cambridge, MA: MIT Press.
- Snir, J. (o.J.). Sink or float? What do experts think? or: The historical development of explanations for floatation. University of Haifa.
- Surber, C. F. (1984). Issues in using quantitative rating scales in developmental research. *Psychological Bulletin*, 95, 226-246.
- Weinert, F. E. & Waldmann, M. R. (1988). *Wissensentwicklung und Wissenserwerb*. In H. Mandl, H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie*. Ein Lehrbuch (S. 161-199). München: Urban und Schwarzenberg.
- Wiesner, H. (1991). Schwimmen und Sinken: Ist Piagets Theorie noch immer eine geeignete Interpretationshilfe für Lernvorgänge? *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 19, 2-6.
- Zaporozhets, A. V. & Lukov, U. D. (1979). The development of reasoning in young children. *Soviet Psychology*, 18, 47-66.

ENTWICKLUNG DES REGELERWERBS BEI DER INTEGRATION INTENSIVER GRÖßEN

Stephan Jäger

Ausgehend von Studien zur Informationsintegration extensiver Größen wurden die Verknüpfungsregeln bei intensiven Größen am Beispiel der Mischung von Farbtintensitäten untersucht. Es zeigte sich, daß die meisten Acht- und Zehnjährigen die dargebotenen Farbtintensitäten additiv verknüpfen. Sie verbalisierten entsprechend, daß die Intensität der Mischung die Intensitäten der beiden Komponenten übersteigen müsse. Erst die Zwölfjährigen verwendeten wie die Erwachsenen überwiegend die physikalisch korrekte Durchschnittsregel. Im zweiten Experiment wurden neben den Farbtintensitäten auch die Flüssigkeitsvolumina variiert. In der zu bearbeitenden Mischungsaufgabe zeigte sich, daß die meisten Acht- und Zehnjährigen dachten, daß mit der Zunahme des Flüssigkeitsvolumens auch die Farbtintensität der Mischung ansteigen würde. Sie behandelten die Farbtintensität wie eine extensive Größe. Erst die Erwachsenen konnten den Einfluß des Flüssigkeitsvolumens auf die Intensität der Mischung richtig einschätzen. Die Lösungsfindung der Kinder wird auf dem Hintergrund der Theorie des adaptiven Denkens als konstruktiver Prozeß angesehen.

Schlusselwörter: Informationsintegration, adaptives Denken, intensive Größe, Regelerwerb