

## Entwicklung naiven Wissens über den physikalischen Auftrieb: Warum schwimmen Schiffe?\*

Bertina Janke

Universität Frankfurt\*\*

Es wird über zwei Experimente zum impliziten, naiven Wissen von Kindern und Erwachsenen über Variablen, die das Schwimmen und Sinken bestimmen, berichtet. Vier Altersgruppen (8jährige, 10jährige, 12jährige und Erwachsene) beurteilten die maximale Ladung, die verschiedene Boote, deren Gewicht und Volumen variierte, tragen konnten. In der ersten Bedingung, der Wasserbedingung, sahen die Versuchspersonen, wie weit die Boote ohne Zuladung im Wasser einsanken. In der zweiten Bedingung, der Luftbedingung, mußten sie ihr Urteil allein aufgrund haptischer und visueller Informationen über Gewicht und Volumen abgeben, nachdem sie die Boote hochgehoben hatten. Die Beachtung der relevanten Dimensionen, Gewicht und Volumen, nahm mit dem Alter zu. Die Wasserbedingung erleichterte allen Altersgruppen die Aufgabe, was als Hinweis auf unterschiedliche Zugriffsmöglichkeiten auf vorhandenes Wissen interpretiert werden kann. Als vorherrschende Fehlkonzption zeigte sich in allen Altersgruppen eine Fokussierung (Zentrierung) auf das Gewicht der Boote. Experiment 2 zeigte, daß diese Zentrierungen auch dann auftreten, wenn die Dimension Gewicht weniger betont wurde. Die Ergebnisse offenbaren bei den jüngeren Kindern ein weit größeres implizites Verständnis als aufgrund der Literatur zu erwarten war. Zugleich unterstreichen sie, daß selbst die impliziten Theorien Erwachsener durch stabile Fehlkonzptionen gekennzeichnet sind.

*Schlüsselwörter:* Konzeptentwicklung, Denken, Problemlösen, Wissensentwicklung, physikalisches Wissen

Viele Ereignisse und Handlungen im Alltag enthalten Elemente, die physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgen. Schon sehr junge Kinder üben das Stapeln von Gegenständen oder probieren, ob ein Gegenstand schwimmt oder sinkt. Hierbei verhalten sie sich häufig intuitiv so, als würden sie die zugrundeliegenden physikalischen Gesetze kennen. Da solche Handlungen ausgeführt werden, lange bevor im Schulunterricht die physikalischen Grundlagen erworben werden, und meistens

ohne daß die Kinder die physikalischen Gesetze beschreiben könnten, bezeichnet man diese besondere Form des Wissens auch als *intuitive* oder *naive* Physik (Anderson, 1983; Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986; Wilkening & Anderson, 1991). Inzwischen sind diese naiven physikalischen Konzepte ebenso wie biologische und psychologische Konzepte zu einem bedeutenden Forschungsgegenstand der kognitiven Entwicklungspsychologie geworden (Carey, 1985, 1991; Wellmann & Gelman, 1992; Spelke, 1991, 1994).

Der vorliegende Artikel geht der Frage nach, welches naive Wissen Kinder und Erwachsene über das Schwimmen und Sinken von Gegenständen (Auftrieb) besitzen. Hierbei ist es das Ziel, das Verständnis grundlegender physikalischer Variablen zu prüfen und mögliche Fehlkonzeppte zu beschreiben. 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 & Piaget, 1955/1958; Piaget, 1927/1951). Das Ziel seiner Arbeiten lag jedoch in der Identifikation bereichsübergreifender Strukturen des logisch operativen Denkens. Die Aufgabe in Piagets Untersuchungen bestand darin, verschiedene Gegenstände in schwimmende und nicht schwimmende zu sortieren. Außerdem mußten die Kinder ihre Entscheidung begründen. Das so diagnostizierte Wissen ist als explizites, verbalisierbares Wissen anzusehen.

Norwendige kognitive Voraussetzung zur Lösung dieser Aufgaben war nach Ansicht von Piaget und Inhelder das Erkennen der Invarianz von Gewicht und Volumen, die Existenz eines atomistischen Dichtekonzeptes sowie die Fähigkeit zur Hypothesenbildung und -prüfung. All diese Fähigkeiten besitzen Kinder nach Piaget erst mit dem Eintritt in das formal-operatorische Stadium (Inhelder & Piaget, 1955/1958; Piaget, 1927/1951).

Auch die nachfolgenden Untersuchungen zeichnen kein deutlich anderes Bild der Entwicklung von Auftriebskonzepten (Daumenlang, 1969; Dentici, Grossi, Borghi, DeAmbrosio & Massara, 1984; Huang, 1931; Klewicz, 1989; Laurendeau & Pinard, 1962; Zaporozhets & Lukov, 1941/1979). Selbst die neueste Untersuchung der Auftriebskonzepte von Schülern replizierte die Ergebnisse Piagets (Halford, Brown & McThompson, 1986). Halford et al. ließen 8jährige und 13jährige Schüler verschieden große und schwere Quader in sinkende und schwimmende klassifizieren. Im zweiten von insgesamt drei Versuchsdurchgängen durften die Kinder ausprobieren, ob ihre Vorhersage stimmt. Die Auswertung der Vorhersagen erfolgte über die Einordnung in ein Set von über 30 verschiedenen Regeln. Vor dem Rückmeldungsdialogurteilurteilen beide Altersgruppen allein auf der Basis des Gewichts der Quader. Nach wiederholter negativer Rückmeldung während des zweiten Durchgangs bezogen die 13jährigen sowohl das Gewicht als auch das Volumen in ihre Urteile ein, während die Urteile der 8jährigen nicht klassifizierbar waren. Das Scheitern der jüngeren Kinder wird von den Autoren mit einer nicht vorhandenen Fähigkeit, Proportionen zu bilden, erklärt. In einer Replikation dieser Arbeit fanden wir jedoch schwerwiegende Mängel des von

\* Für die Durchführung dieser Experimente möchte ich mich bei Anja Spindler, Silke Laue und Hermann Böhm bedanken. Diese Untersuchung wurde durch eine Sachmittelbeihilfe (W/ 684/2-1; Antragssteller Prof. Dr. F. Wilkening) der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.

\*\* jetzige Adresse: Lehrstuhl für Psychologie und Forschungsstelle für Pädagogische und Entwicklungspsychologie der Universität Augsburg, Universitätsstraße 10, 86135 Augsburg.

Halford et al. (1986) verwendeten Regelsystems, mit dem keine eindeutige Zuordnung von Urteilen zu Regeln möglich war (Janke, 1990). Startdessen zeigte sich, daß die Urteile meistens verschiedenen Regeln gleichzeitig zugeordnet werden konnten. Letztlich werden die Ergebnisse von Halford et al. durch diese methodischen Mängel uninterpretierbar.

Somit bleibt die Schlussfolgerung, daß die bisherigen Untersuchungen zum Verstehen des Schwimmens Piagets Befunde replizieren, bestehen.<sup>1</sup> Dieses Resümee erscheint allerdings erstauslich, da in der entwicklungspsychologischen Literatur der letzten 20 Jahre immer wieder berichtet wird, daß bereits das Denken von Vorschulkindern in vielen Aspekten dem von Erwachsenen ähnlicher ist, als Piaget angenommen hat (Gelman & Bailargeon, 1983).

Geht man einmal nicht von einem Defizit kognitiver Strukturen aus, entsteht die Frage, welche anderen Gründe für das Scheitern jüngerer Kinder in den Auftriebsaufgaben von Piaget (Piaget, 1927/1952; Inhelder & Piaget, 1955/1958) verantwortlich sein könnten. Ein erstes Problem könnte in einem *konzepiuelen Defizit* der Kinder bei mit dem Auftrieb verwandten Konzepten wie dem des Gewichts, des Volumens und der Dichte vermutet werden. In dieser Richtung argumentiert neuerdings Carey (1991). Ein anderes Problem liegt in einer *instematischen 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 sowohl die Komplexität der Aufgaben als auch der Sinn der Kriterien der Wissensdiagnose kritisiert worden (Snur, 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 Wablaufgaben*, 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.

1 Eine Ausnahme stellt die gerade publizierte Arbeit von Kohn (1993) dar. Da die hier dargestellten Untersuchungen vor dieser geplant und durchgeführt wurden, wird auf die Bedeutung dieser neuen Arbeit erst in der Diskussion eingegangen.

Bislang liegen kaum Untersuchungen zu charakteristischen Fehlkonzepten über das Schwimmen von Gegenständen vor. Deshalb sind neuere Arbeiten zur Entwicklung physikalisch verwandter Konzepte wie Volumen-, Gewichts- und Dichtekonzepten (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 sowohl das Gewicht als auch das Volumen dieser Objekte variierte, konnte festgestellt werden, ob die Kinder ihr Urteil fälschlicherweise auf das Volumen der Gegenstände bezogen. Selbst die Dreijährigen konnten 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 nach wechselnden Kriterien wie Gewicht oder Dichte beurteilen, verwechselten die Kinder Gewicht und Dichte. Im Gegensatz zu den Arbeiten zum Verstehen der Konzepte Größe und Gewicht (von Smith et al., 1986) sind die Aufgaben zum Begriff der Dichte bei Smith et al. (1986) und bei Carey (1991) jedoch weitaus komplexer (siehe hierzu ausführlich Kohn, 1993, S. 1639). Während die Kinder in den Gewichts- und Größenaufgaben jeweils nur eine Dimension systematisch berücksichtigen mußten, trafen sie in den Dichteaufgaben sowohl Entscheidungen über das Gewicht als auch über die Dichte (Art des Materials). Ob jüngere Kinder immer genau verstanden haben, welche Größe sie beurteilen sollten, erscheint zweifelhaft. Carey (1991) interpretiert diese Verwechslungen von Gewicht und Dichte als Ausdruck eines unvollständigen Begriffs von Materie, der nach ihrer Ansicht noch bei 12jährigen, 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. Einen Beleg für diesen völlig anderen Begriff der Materie sieht Carey (1991) in der Tatsache, daß selbst 12jährige noch behaupten, wenn man einen Gegenstand (Quader aus Strypor) in unendlich viele Teile zerschneide, die resultierenden Teilchen nichts (mehr) wiegen. Letztlich sieht Carey diese Beobachtung als weitere Evidenz für ihre These, daß die Wissensentwicklung, nicht wie Spelke (1991) behauptet, als kontinuierlicher Prozeß (des „enrichments“), sondern durch eine völlige Überarbeitung der frühen naiven Theorien gekennzeichnet ist.

Insgesamt wäre nach diesen Ergebnissen zu erwarten, daß bereits jüngere Kinder das Gewicht und die Größe von Objekten als voneinander unabhängige Eigen-

schaffen 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 bestimmen, ob ein Gegenstand schwimmt oder sinkt, ist nach diesen Schlussfolgerungen interessant, inwieweit Kinder auf diese Kompetenzen bei der Lösung von Auftriebsproblemen zurückgreifen können.

In den folgenden Experimenten soll deshalb erstmals systematisch untersucht werden, ob Kinder im Alter von acht bis zwölf Jahren und Erwachsene bei der Bearbeitung einer Auftriebsaufgabe zwei physikalisch bedeutsame Variablen, das Gewicht und das Volumen von Gegenständen, identifizieren und berücksichtigen können. Mit Hilfe einer möglichst alltagsnahen und handlungsrelevanten Aufgabe soll nach naiven physikalischen Konzepten des Schwimmens gesucht werden. Möchte man beurteilen, ob ein Körper in Wasser schwimmt, ist es notwendig, die quantitative Ausprägung seines Gewichts und Volumens zu berücksichtigen. Die Aufgabe wurde so konzipiert, daß auch Fehlkonzptionen über das Schwimmen von Objekten identifiziert werden können. In Experiment 1 wird durch zwei Varianten einer Aufgabe geprüft, inwieweit in Abhängigkeit von der Aufgabenstruktur auch unterschiedliche Wissensebenen angesprochen werden. Im zweiten Experiment wird der Bedeutung von Fehlkonzptionen in diesem Inhaltsgebiet nachgegangen.

### Experiment 1

Im folgenden Experiment mußten Kinder und Erwachsene die Auftriebskraft verschiedener Boote beurteilen, deren Gewicht und Volumen systematisch abgestuft war. Die Boote waren so konstruiert, daß aus den Urteilen zurückgeschlossen werden konnte, ob die Versuchsteilnehmer sich in ihrem Urteil auf beide Dimensionen oder nur auf das Gewicht oder das Volumen bezogen. Die Darbietung der Boote erfolgte in zwei verschiedenen Bedingungen. Die erste Bedingung, die sogenannte *Wasserbedingung*, sollte es den Versuchspersonen ermöglichen, die Wirkung der Variablen Gewicht und Volumen im Wasser zu beobachten. Hierzu wurden die Boote von ihnen hochgehoben und in ein Aquarium gesetzt. In der zweiten Bedingung, der *Luftbedingung*, erhielten die Versuchspersonen nur optische und haptische Informationen über das Gewicht und Volumen der Boote. Die Wirkung der Variablen in Wasser mußten sie sich vorstellen, da die Boote nicht in das Aquarium gesetzt werden durften.

### Methode

Versuchspersonen. Vier Altersgruppen wurden untersucht: 44 8jährige (Durchschnittsalter: 8;1 Jahre; Monate), 44 10jährige (Durchschnittsalter: 10;0 Jahre; Monate), 42 12jährige (Durchschnitts-

alter: 12;6 Jahre; Monate) und 43 Erwachsene im Alter von 19 bis 48 Jahren (Durchschnittsalter: 29 Jahre). Die 8- bis 10jährigen besuchten Frankfurter Grundschulen, die 12jährigen Frankfurter Gymnasien. Die Erwachsenen waren Studenten verschiedener Fachrichtungen der Universität Frankfurt einschließlich Psychologie, 86 Personen wurden der Luftbedingung und 87 Personen der Wasserbedingung zugeweiht. In jeder Altersgruppe befanden sich etwa gleich viele männliche und weibliche Versuchsteilnehmer.

*Material.* Als Versuchsmaterial dienten 9 Boote, deren Konstruktion auf einem zweifaktoriellen Plan mit 3 Gewichtsstufen (50 g, 100 g, 150 g) und 3 Volumenstufen (Länge: 11 cm, 14 cm und 17 cm, Breite bzw. Höhe jeweils 3,5 cm und 5 cm) basierte. Die Boote einer Gewichtsstufe hatten an den Außenseiten die gleiche Farbe (beige = 50 g, gelb = 100 g, grün = 150 g). Außerdem wurden zwei Endanker verwendet (Endanker 1: 9 cm x 5 cm x 3,5 cm); Gewicht 160 g; Endanker 2: 19 cm x 5 cm x 3,5 cm, 38 g). Die Ladefläche (vgl. Abb. 1) der 11 Boote war 6 cm x 5 cm x 3,5 cm groß. Zusätzlich wurden ein Aquarium, eine Plastikfigur (Dagobert Duck), ein Plastikkästchen (3,6 cm x 2,3 cm x 1,8 cm, 11,6 g) sowie silberfarbene Kügelchen aus Stahl (230 g) als Beladungsmasse verwendet.

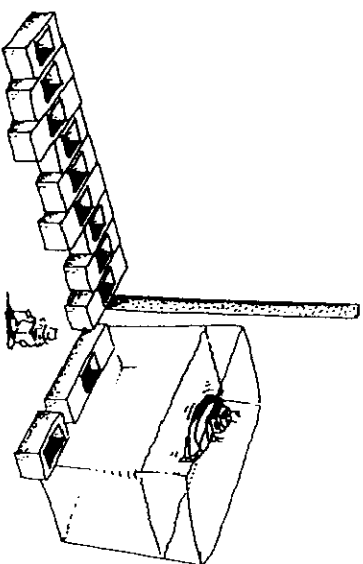


Abb. 1. Versuchsmaterial in Experiment 1 und 2.

*Urteilskala.* Die Antwortskala bestand aus einer 40 cm hohen, durchsichtigen Plastikröhre. Es handelte sich um eine aus der Sicht der Versuchsteilnehmer kontinuierliche Skala, an deren Rückseite für die Versuchsleiter eine Skala von 0–38 cm angebracht war.

*Versuchsdurchführung.* Die Experimente wurden in Einzelsitzungen durchgeführt. Die Abb. 1 zeigt die Versuchsanordnung in beiden Bedingungen. Um die Beurteilung der Auftriebskraft des Versuchsmaterials, besonders für die Kinder, interessanter zu gestalten, wurde sie in eine Rahmehandlung eingebettet. Den Versuchspersonen wurde erzählt, daß Dagobert Duck auf der Flucht vor den Panzerkrackern sei, die ihm seine Silberkugeln stehlen wollen. Um ihnen zu entkommen, müsse er einen Fluß (Aquarium) überqueren, an dessen Ufer er zwei Lastkähne (Endanker) und verschiedene andere Boote (Stimuli) fände. Zur Einführung der Urteilskala wurden die Kinder in beiden Bedingungen aufgefordert, sich die Endanker und die Beladungsmasse genau anzusehen und hochzuheben. In der *Wasserbedingung* durften sie die Endanker außerdem ohne Beladung in das Aquarium setzen. Ihnen wurde mitgeteilt, daß Endanker 1 nur sehr wenige Kügelchen und Endanker 2 alle Kügelchen transportieren könne. Beide Mengen wurden zunächst in dem Plastikkästchen vom Kind hochgehoben und dann in die Skala (Rohr) geschüttet. Wenn sich alle Kügelchen in der Skala befanden, war diese vollständig ausgefüllt.

Nach dieser Verankerungsphase wurden jedes der 9 Boote zweimal in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Jedes Boot mußte hochgehoben und dann die nach Ansicht des Kindes maximal mögliche Beladungsmenge an der Skala angezeigt werden („zeig mir, wie viele von den Kugeln er in diesem Lastkahn mitnehmen kann“). In der *Wasserbedingung* mußten die Versuchspersonen die Boote zuvor in das Aquarium setzen. Der Versuch dauerte 20 Minuten.

**Design.** Dem Experiment liegt ein  $4 \times 2 \times 3$  Mischversuchsplan zugrunde, mit den Faktoren Altersgruppe, Aufgabenbedingung, Gewicht und Volumen, mit Meßwiederholung auf den Faktoren Gewicht und Volumen.

**Auswertung.** 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 pro Altersgruppe bzw. Versuchsperson und eine varianzanalytische Auswertung mit den Faktoren Gewicht und Volumen (Anderson, 1982). Pro Altersgruppe wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (Gewicht  $\times$  Volumen) mit Meßwiederholung auf den Faktoren Gewicht und Volumen berechnet. Weitere Details über die Einzelfallanalysen sind dem Ergebnisstil zu entnehmen.

### Ergebnisse

Zur Verdeutlichung genereller Trends werden zunächst kurz die Ergebnisse der Gruppenanalysen dargestellt.

**Gruppenanalysen.** Die richtige Lösung der Aufgabe besteht in einer Beachtung des Gewichts und Volumens der Boote. Stellt man die optimale Beladung der Boote graphisch dar, resultieren drei parallele, mit zunehmendem Volumen der Boote ansteigende Geraden. Betrachtet man die Darstellungen der *Wasserbedingung*, so entsprechen die Graphen aller vier Altersgruppen dem erwarteten Muster (vgl. Abb. 2). Demgegenüber zeigen in der Luftbedingung nur die Darstellungen der 10jährigen, 12jährigen und Erwachsenen den erwarteten Trend. Dagegen deutet die graphische Darstellung der 8jährigen auf eine alleinige Beachtung des Gewichts der Boote hin. Diese Trends in den graphischen Darstellungen werden bestätigt durch die Ergebnisse der Varianzanalysen. In der *Wasserbedingung* sind in den vier Altersgruppen beide Haupteffekte signifikant [Gewicht: 8jährige:  $F(2,44) = 15,00$ , 10jährige:  $F(2,42) = 30,94$ , 12jährige:  $F(2,42) = 84,34$ , Erwachsene:  $F(2,38) = 145,04$ ; Volumen: 8jährige:  $F(2,44) = 21,97$ , 10jährige:  $F(2,42) = 19,99$ , 12jährige:  $F(2,42) = 62,83$ , Erwachsene:  $F(2,38) = 88,45$ , jeweils  $< ,05$ ]. Demgegenüber zeigt die Varianzanalyse in der *Luftbedingung* bei den 8jährigen nur einen signifikanten Haupteffekt des Volumens ( $F(2,40) = 1,93$ ,  $p$  jeweils  $< ,05$ ). In den übrigen Altersgruppen sind sowohl der Haupteffekt des Gewichts als auch der Haupteffekt des Volumens signifikant [Gewicht: 10jährige:  $F(2,42) = 55,76$ , 12jährige:  $F(2,38) = 54,59$ , Erwachsene:  $F(2,44) = 28,83$ ; Volumen: 10jährige:  $F(2,42) = 10,76$ , 12jährige:  $F(2,38) = 16,09$ , Erwachsene:  $F(2,44) = 34,84$ ], jeweils  $p < 0,05$ . Insgesamt scheinen nach diesen Ergebnissen, bis auf die 8jährigen in der Luftbedingung, alle Altersgruppen sowohl das Gewicht als auch das Volumen der Boote beachtet zu haben.

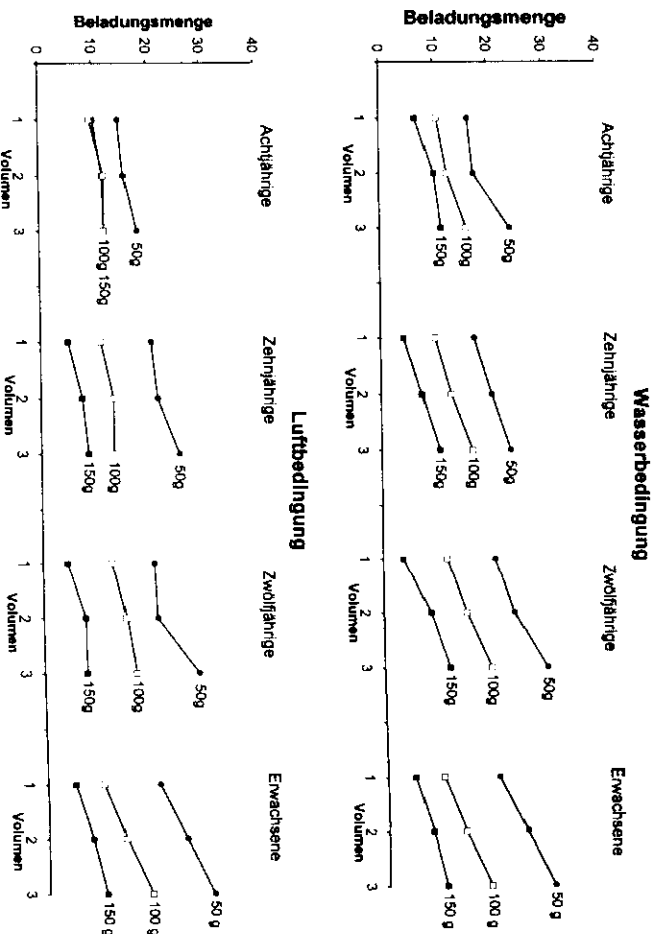


Abb. 2: Geschätzte Beladungsmenge (Ratings) für alle vier Altersgruppen in beiden Bedingungen.

Jeder Punkt der Darstellungen ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel aller Beurteilungen der Reizkombinationen durch eine Altersgruppe. Kurvenparameter ist das Gewicht der Boote.

**Einzelfallanalysen.** Inwieweit die Gruppenergebnisse die Urteile der einzelnen Versuchsteilnehmer widerspiegeln, kann nur durch Einzelfallanalysen festgestellt werden (Anderson, 1982; Gigerenzer, 1983). Das zweite Anliegen der Einzelfallanalysen war die Identifikation naiver Fehlkonzeptionen. Die Auswertung erfolgte in drei Schritten. Zunächst wurde die Stabilität der Urteile aller Versuchsteilnehmer ermittelt, berechnet über die Produkt-Moment-Korrelation zwischen beiden Versuchsdurchgängen. In die weiteren Auswertungsschritte wurden nur Urteile einbezogen, die als ausreichend stabil angesehen wurden ( $r > ,50$ ). Die Urteile aller Versuchspersonen wurden drei verschiedenen Regeln zugeordnet: a) Eine Beachtung 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. Mit Hilfe der Daten aus den jeweils zwei Versuchsdurchgängen wurden die Faktoren Gewicht und Volumen gegen die individuelle Fehlerstreuung getestet (vgl. Anderson, 1982).

Individuelle Urteilsmuster, bei denen beide Haupteffekte signifikant waren ( $p < ,05$ ), aber auch solche, bei denen zusätzlich die Interaktion signifikant war ( $p < ,05$ ), wurden als richtige Lösungen bezeichnet. Als Gewichts- oder Volumen-zentrierung wurden Urteilsmuster mit einem signifikanten Haupteffekt für die entsprechende Dimension klassifiziert ( $p < ,05$ ). Bei Inkongruenz zwischen graphischer Darstellung und varianzanalytischen Resultaten pro Teilnehmer wurden die Urteilsmuster als nicht klassifizierbar bezeichnet (vgl. Janke, 1990). Die Tabelle 1 enthält das Ergebnis der Klassifikation. In beiden Bedingungen zeigte sich eine deutliche Zunahme richtiger Urteile mit dem Alter. Dieser Entwicklungstrend war in den Gruppenanalysen nicht erkennbar. Insgesamt unterschied sich die Verteilung aller Regeln  $\chi^2(4, N = 173) = 10,05, p < ,05$  in beiden Bedingungen signifikant.

Erhielten die Versuchsteilnehmer wie in der *Wasserbedingung* außer dem haptischen Gewichtseindruck Informationen über das Verhalten der Boote im Wasser, profitierten nur die 8jährigen und die Erwachsenen in signifikanter Weise, indem sie häufiger Gewicht und Volumen in ihr Urteil einbezogen als in der *Luftbedingung*.  $\chi^2(1, N = 44) = 3,99, p < ,05$  und  $\chi^2(1, N = 43) = 6,51, p < ,05$ .

Tab. 1. Prozentualer Anteil verschiedener Beladungsstrategien in Experiment 1

Bedingung und Alter	Urteilsstrategien			Nicht klassifizierte Daten		
	Auftrieb	Gewicht	Volumen	NK	$r < 0,50$	
<b>Luftbedingung</b>						
8jährige (n = 21)	10	33	10	19	29	
10jährige (n = 22)	23	55	0	9	14	
12jährige (n = 20)	50	40	5	5	0	
Erwachsene (n = 23)	48	39	0	13	0	
<b>Wasserbedingung</b>						
8jährige (n = 23)	35	30	4	9	22	
10jährige (n = 22)	36	27	5	14	18	
12jährige (n = 22)	59	18	5	14	5	
Erwachsene (n = 20)	85	10	0	0	5	

Anmerkung: NK: Nicht klassifizierbare Urteilsmuster.

Allerdings zeigten die graphischen Darstellungen von drei Teilnehmern, die beide Dimensionen beachteten, systematische Abweichungen vom physikalisch richtigen Muster. Diese versahen größere Boote mit weniger und schwerere Boote mit mehr Ladung (zwei 8jährige) oder berücksichtigten die umgekehrt proportionale Beziehung zwischen Zuladung und Gewicht, nicht aber die proportionale Beziehung zwischen Zuladung und Volumen (ein 12jähriger). Diese drei Teilnehmer beachteten demnach die relevanten Dimensionen, aber benutzten nicht die adäquate Verknüpfungsregel.

Zu den weitaus häufigeren Fehlkonzeptionen zählte in beiden Bedingungen eine Zentrierung auf das Gewicht der Boote. Diese Regel war in allen Altersgruppen beobachtbar. Ihr Anteil lag in der *Luftbedingung* über dem Anteil in der *Wasserbedingung*. Besonders deutlich war dieser Unterschied bei den Erwachsenen (39 % vs. 10 %). Nur in Ausnahmefällen beachteten Versuchsteilnehmer ausschließlich das Volumen der Boote.

## Diskussion

Die Ergebnisse in Experiment 1 machen deutlich, daß das naive Wissen der Kinder weit über das in früheren Untersuchungen identifizierte explizite Wissen hinausgeht. Zugleich zeigen die Ergebnisse, daß die hier vorgestellte Aufgabe selbst Erwachsenen unter bestimmten Bedingungen noch erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Besonders die Kinder, aber auch einige Erwachsene, machen charakteristische Fehler. Die falsche Vorstellung, daß nur das Gewicht eines Gegenstandes bestimmt, ob er schwimmt oder sinkt, fanden auch Rowell und Dawson (1977) bei Schülern der 9. Klasse. Insofern legen auch die Ergebnisse anderer Autoren den Schluß nahe, daß die beobachteten Gewichtszentrierungen eine stabile Fehlkonzeption darstellen.

Zuvor sollte eine andere mögliche Ursache für die häufigen Gewichtszentrierungen ausgeschlossen werden. Um die Dimension Gewicht nach dem Hochheben der Boote ebenso visuell präsent zu halten wie die Dimension Volumen, waren die Boote einer Gewichtsstufe an ihren Außenwänden verschieden; je eine Farbe für ein Gewicht. Möglicherweise führte gerade dieses Hervorstechen (saliency) der Dimension Gewicht zu Zentrierungen. Ansicht sollte im Fall eines richtigen und stabilen Konzepts die Betonung einer Reizdimension keinen Einfluß auf die Urteile haben. Allerdings ist durch die Arbeiten anderer Autoren (z. B. Levin, 1982) bekannt, daß gerade jüngere Kinder bereit sind, besonders hervorstechende Dimensionen in ihr Urteil einzubeziehen, selbst dann, wenn diese irrelevant sind.

## Experiment 2

Experiment 2 ging der Frage nach, inwieweit durch eine optische Veränderung des Versuchsmaterials die Zahl der Zentrierungen auf das Gewicht der Boote reduziert werden kann. Die einfachste Methode zur Prüfung dieser Hypothese bestand in einem Verzicht auf die verschiedenfarbige Gestaltung der Boote für die drei Gewichtsstufen. Die Wirkung dieser Variation wurde nur in der *Luftbedingung* untersucht, da in dieser Bedingung die meisten Gewichtszentrierungen beobachtet wurden.

## Methode

Versuchspersonen. Insgesamt wurden vier Altersgruppen untersucht: 20 8jährige (Durchschnittsalter: 8,2 Jahre; Monate) 22 10jährige (Durchschnittsalter: 10,4 Jahre; Monate), 20 12jährige (Durchschnittsalter: 12,6 Jahre; Monate) und 20 Erwachsene im Alter von 19 bis 35 Jahren.

Versuchsmaterial. Es wurde das gleiche Material verwendet wie in Experiment 1. Auf die farbige Gestaltung der Außenwände von Booten einer Gewichtsstufe wurde verzichtet. Alle Boote waren weiß.

Versuchsdurchführung. Der Versuchsaufbau entsprach dem der Luftbedingung in Experiment 1. *Auswertung.* Ebenso wie in Experiment 1 wurden die Daten auf individueller und auf der Gruppenebene ausgewertet. Im folgenden werden nur die Ergebnisse der Einzelfallanalysen dargestellt, da das Ziel in einem Vergleich der individuellen Urteilsstrategien mit denen des ersten Experimentes bestand.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse in Experiment 2 replizieren die wesentlichen Trends des ersten Experimentes. Vergleichbar ist der in den Einzelfallanalysen demonstrierte deutliche Entwicklungstrend sowie die Qualität der Fehlkonzeppte (vgl. Tabelle 2).

Mit zunehmendem Alter berücksichtigten immer mehr Personen sowohl das Gewicht als auch das Volumen der Boote,  $\chi^2(3, N = 82) = 16,34, p < .01$ . Die Regelverteilung in Experiment 2 unterschied sich jedoch nicht signifikant von der Verteilung in Experiment 1,  $\chi^2(4, N = 168) = 2,57, p > .05$ .

Als robuste Fehlkonzepption erwies sich die Zentrierung auf das Gewicht der Boote, wodurch auch dieser Befund die Ergebnisse in Experiment 1 bestätigt. Auch wenn die Häufigkeit der Gewichtszentrierungen bei den Erwachsenen und 12jährigen geringfügig unter deren Anteil in Experiment 1, und bei den 8jährigen mit 35 % geringfügig über deren Anteil in Experiment 1 lag (33 %), waren diese

Tab. 2. Prozentualer Anteil verschiedener Beladungsstrategien in den vier Altersgruppen in Experiment 2

Bedingung und Alter	Urteilsstrategien			Nicht klassifizierte Daten	
	Auftrieb	Gewicht	Volumen	NK <sub>1</sub>	r < 0,50
8jährige (n = 20)	20	35	0	35	10
10jährige (n = 22)	23	59	5	9	5
12jährige (n = 20)	60	20	5	5	10
Erwachsene (n = 20)	70	30	0	0	0

Anmerkung. NK<sub>1</sub>: Nicht klassifizierbare Urteilmuster.

Unterschiede nicht signifikant,  $\chi^2(1, N = 43) = 0,09, \chi^2(1, N = 40) = 1,07, \chi^2(1, N = 41) = .05$ , jeweils  $p > .05$ . Dementsprechend kann die Hypothese, daß ein Verzicht auf die farbige Kennzeichnung der Boote einer Gewichtsstufe den Anteil der Gewichtszentrierungen reduziert, nicht bestätigt werden.

## Generelle Diskussion

Die Ergebnisse beider Experimente zeigen erstens, daß die naiven Vorstellungen über das Schwimmen von Gegenständen bereits im Grundschulalter differenzierter sind, als selbst neuere Untersuchungen annehmen (Daumenlang, 1969; Dentici, Grossi, Borghi, DeAmbrosio & Massara, 1984; Huang, 1931; Klewitz, 1989; Laurendeau & Pinard, 1962; Zaporozhets & Lukov, 1941/1979). Zweitens ermöglichen die Ergebnisse erstmals eine genauere Beschreibung der Fehlkonzeptionen in diesem Inhaltsbereich. Darüberhinaus zeigen sie drittens, daß die Häufigkeit richtiger und falscher Vorstellungen nicht allein abhängig ist vom Lebensalter und den damit verbundenen kognitiven Strukturen (Klewitz, 1989), sondern vom jeweiligen Kontext, in den eine Aufgabe eingebettet ist.

Wie lassen sich die Ergebnisse theoretisch einordnen? Es erheben sich folgende Fragen, die in dieser Reihenfolge auch diskutiert werden sollen. (1) Wieso gehen die hier gefundenen Kompetenzen so weit über die von anderen Autoren berichteten hinaus? (2) Ist angesichts der Bedingungsabhängigkeit des hier gefundenen naiven Wissens noch eine Entwicklungssequenz vorhersagbar? (3) In welchem Verhältnis stehen die hier gefundenen naiven Konzepte des Schwimmens zu Auseinandersetzungen über die Entwicklung physikalischer Konzepte wie dem der Materie (Carey, 1991; Spelke, 1991)? Kann man davon ausgehen, daß deutliche qualitative Unterschiede zwischen dem naiven Wissen von Kindern und Erwachsenen bestehen?

<sup>2</sup> Bemerkenswert ist, daß im Gegensatz zu Experiment 1 bei den 8jährigen eine Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf den Faktoren Gewicht und Volumen sowohl einen signifikanten Effekt des Gewichts  $F(2, 38) = 23,04$  als auch des Volumens  $F(2, 38) = 7,38$  erbrachte.

*Ad 1.* Eine Erklärung für das insgesamt beeindruckende naive Wissen könnte man in der Anschaulichkeit und Attraktivität der Aufgabe vermuten. Die in allen Altersgruppen beobachteten Fehlkonzptionen zeigen jedoch deutlich, daß trotz des Einsatzes einer attraktiven, alltagsnahen Aufgabe nicht nur richtig geurteilt wird. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen (Daumenlang, 1969; Dentici, Grossi, Borgi, DeAmbrosio & Massa, 1984; Huang, 1931; Kiewitz, 1989; Landreau & Pinard, 1962; Zaporozhets & Lukov, 1941/1979) wurde aus eher spontanen Urteilen der Versuchsteilnehmer und nicht aus Verbalisationen auf vorhandenes naives Wissen zurückgeschlossen. In Gesprächen mit Erwachsenen nach dem Versuch zeigte sich, daß auch sie nur selten in der Lage waren, die Beziehung zwischen den physikalischen Variablen genauer zu beschreiben. Insofern erscheint es plausibel anzunehmen, daß die von anderen Autoren beschriebenen Probleme mit dem Konzept des Schwimmens auch hier beobachtbar wären, würde man nur verbale Aussagen als Kriterium der Wissenszuschreibung zulassen. In dieser Richtung argumentiert auch Kohn (1993), die in der neuesten Untersuchung zum naiven Wissen über das Schwimmen Dreijährige, Fünfjährige und Erwachsene verschiedene Quader, deren Gewicht, Volumen und Dichte variierte, in Sinkende und Schwimmende sortieren ließ. Auch in dieser Aufgabe mußten somit keine expliziten Aussagen über Gewicht, Volumen und Dichte getroffen werden. Insgesamt war die Häufigkeit richtiger Urteile bei den Fünfjährigen und Erwachsenen mit 72 % und 86 % bemerkenswert. Dagegen schienen sich die Dreijährigen nicht systematisch auf die variierten physikalischen Dimensionen zu beziehen. Kritisch anzumerken ist allerdings, daß mit dieser Aufgabe kein quantitatives funktionales Wissen erfaßt werden kann, während die Aufgabe, Boote zu beladen, ein quantitatives Urteil von den Versuchsteilnehmern verlangt.

*Ad 2.* Sowohl die Zunahme richtiger Urteile mit dem Alter als auch die Beobachtung von Gewichtszentrierungen bestätigen die Berichte anderer Autoren (Rowell & Dawson, 1977; Linn, 1986). Im Gegensatz zu diesen Untersuchungen unterstreichen die vorliegenden Ergebnisse jedoch die Bedeutung des Aufgabenkontextes für den Zugriff auf naives Wissen. Erhielten die Versuchspersonen, wie in der Wasserbedingung, Informationen über das Verhalten der Boote in Wasser, bezogen sie sich häufiger auf die richtigen Variablen. Interessanterweise war diese Bedingungsabhängigkeit richtiger und falscher Urteile nicht bei den Kindern, sondern den Erwachsenen besonders groß, die zu 48 % oder 85 % richtig urteilten. Die Beobachtung, daß selbst Erwachsene häufig nur eine physikalische Dimension berücksichtigen, ist mit den stufentheoretischen Konzeptionen früherer Arbeiten nicht vereinbar. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Arbeiten zur naiven Physik (Krist, Fieberg & Wilkening, 1993) und neueren kognitiven Entwicklungstheorien (Fischer, 1991). 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, 1991). In diesem Sinn kann die Luftbedingung als Rahmen zur Erreichung des funktionalen Niveaus, die Wasserbedingung als Rahmen zur Erreichung des optimalen Niveaus verstanden werden.

Trotz der starken Aufgabenabhängigkeit des in dieser Aufgabe gezeigten naiven Wissens lassen die Ergebnisse viel Raum für Entwicklung. Zeigt sich hier doch eine deutliche Überlegenheit der Erwachsenen und 12jährigen bei der Lösung der Aufgabe. Wie es zu dieser Veränderung der Konzepte kommt, ist momentan nicht erklärbar. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Urteile der Kinder, die zwar Gewicht und Volumen systematisch berücksichtigen, aber entweder die umgekehrt proportionale Beziehung zwischen Zuladung und Gewicht oder die proportionale Beziehung zwischen Zuladung und Volumen umkehren. Möglicherweise sind gerade diese Beladungsstrategien als Hinweise auf die Art und Weise, wie der Übergang von der alleinigen Beachtung einer Dimension zur Integration beider Dimensionen verläuft, anzusehen. Zumindest verdeutlichen diese Strategien, daß die richtige Lösung dieser Aufgabe weit mehr verlangt als nur eine weitere physikalische Dimension einzubeziehen. Die Aufgabe ist nur lösbar, wenn man weiß, welches die relevanten Variablen sind und deren quantitative Ausprägung beachtet und die funktionalen Beziehungen zwischen den Variablen berücksichtigt.

*Ad 3.* Betrachtet man die bei Kindern und Erwachsenen gefundene Fehlannahme, daß Boote gleichen Gewichts aber unterschiedlichen Volumens die gleiche Zuladung transportieren können, sind hier keine qualitativen Unterschiede in den Fehlkonzptionen bei Kindern und Erwachsenen zu verzeichnen. Für sie ist das Gewicht der Boote ein guter Indikator für deren Auftriebskraft. Stehen diese Ergebnisse im Widerspruch zu der Behauptung Careys, daß die Konzepte von Grundschulkindern über Materie und damit verbunden des Gewichts, der Dichte und des Volumens — wie sie es nennt — inkommensurabel mit den Konzepten Erwachsener sind? Verstehen Kinder das Gewicht nicht als extensive, kontinuierliche Eigenschaft materieller Gegenstände? Alle Kinder und Erwachsenen, die hier klassifizierbare Urteile abgegeben haben, beziehen sich in ihrem Urteil systematisch auf die Ausprägung des Gewichts der Boote als einem bedeutenden Faktor für deren Auftriebskraft.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Die Vorstellung, daß manche Gegenstände nichts wiegen (Carey, 1991), konnte in einer parallel durchgeführten Untersuchung, in der 7jährige das Gewicht des Bootsmaterials und der von Halford et al. (1986) verwendeten Quader einschätzen sollten, nicht bestätigt werden (Janke, 1990). Der leichteste Quader wog hier übrigens nur 6 g.

Im Unterschied zu den Arbeiten von Carey (1991) und Smith et al. (1986) mußten die Kinder in den Auftragsaufgaben hier das Gewicht und das Volumen und damit indirekt die Dichte der Materialien berücksichtigen, ohne sich jedoch explizit auf die Bedeutung der variierten Dimensionen zu beziehen. Gerade bei den jüngeren Kindern findet sich jedoch auch eine erhebliche Zahl nichtklassifizierbarer Urteile. Ob dies als Hinweis auf andere Konzeptualisierungen der Vorstellungen über das Schwimmen von Gegenständen zu interpretieren ist, kann hier nicht beantwortet werden. Ebenso wenig können bislang die interindividuellen Unterschiede innerhalb der verschiedenen Altersgruppen erklärt werden. Auch Carey (1991) berichtet über bislang nicht erklärbare interindividuelle Unterschiede in ihren Untersuchungen zu Konzepten der Materie. Sie führt diese, ähnlich wie Halford, post hoc auf interindividuelle Unterschiede des Verstehens von Proportionen zurück. Der Frage, ob das Verstehen von Proportionen in Zusammenhang mit den hier gefundenen Konzepten und Mißkonzepten steht, muß in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden. Wichtig erscheint auch die Suche nach naivem Wissen über das Schwimmen von Gegenständen bei Kindern im Vorschulalter. Ob nicht auch diese bereits bestimmte Merkmale von Gegenständen heranziehen können, wenn sie beurteilen müssen, ob etwas schwimmt oder sinkt, bleibt nach wie vor ein interessanter Forschungsgegenstand.

### Summary

#### Development of naive knowledge of floating: why do boats float?

Two experiments on children's and adults' implicit, naive knowledge of variables that determine floating and sinking are reported. Four age groups (8-, 10-, and 12-year-olds, and adults) judged the maximal load that boats varying in weight and volume could carry. In the first condition ("water") the boats were actually placed into water without load; in the second condition ("air"), children had to make their judgment after having lifted the boats. The integration of both relevant dimensions, weight and volume, improved with age. The "water" condition made the task easier for all age groups, which can be interpreted in terms of different access to available knowledge. The predominant misconception, focusing (centration) on the weight dimension was observed in every age group. Experiment 2 demonstrated that this effect was stable even when salience of the dimension was reduced. The results reveal far more implicit understanding than was expected in younger children. At the same time, they reemphasize that even adults' implicit theories can be characterized as stable misconceptions.

**Key words:** Conceptual development Reasoning, Problem-solving, Knowledge development, Physical knowledge

### Literatur

- Anderson, N. A. (1983). Intuitive physics: Understanding and learning physical relations. In T. J. Tighe & B. E. Shepp (Eds.), *Perception, cognition, and development: International analyses* (pp. 231–265). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, N. H. (1982). *Methods of information integration theory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 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.
- Daumenlang, K. (1969). *Physikalische Konzepte junger Erwachsener. Ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation* (Inaugural-Dissertation). Erlangen-Nürnberg: Friedrich Alexander Universität.
- Dentic, O. A., Grossi, M. G., Borghi, A., De Ambrosis, 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.
- Fischer, K. W. (1991). The failure of competence: How context contributes directly to skill. In R. Wozniak & K. Fischer (Eds.), *Specific environments: Thinking in context*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gelman, R. & Ballarçon, R. (1983). A review of some Piagetian concepts. In J. Flavell & E. Markman (Eds.), *Handbook of child psychology*, Vol. 3: Cognitive development (pp. 167–230). New York: Wiley.
- Gigerenzer, G. (1983). Informationsintegration bei Kindern: Eine Erwiderung 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.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E. & Thagard, P. R. (1986). *Induction. Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Huang, I. (1931). Children's explanations of strange phenomena. *Psychologische Forschung*, 14, 63–182.
- Inhelder, B. & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking* (A. Parsons & S. Milgram, Trans.). London: Routledge (Original 1955).
- Janke, B. (1990). *Entwicklung intuitiven Wissens über den physikalischen Auftrieb*. Frankfurt am Main: Unveröffentlichte Dissertation.
- Janke, B. (1994). *Physikalische (Miß)Konzepte bei Kindern und Erwachsenen*. Vortrag auf der 36. TealP, München.
- Klewitz, E. (1989). *Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Unterrichts vor dem Hintergrund der genetischen Erkenntnistheorie Piagets*. Mühlheim: 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*. New York: International University Press.
- Levin, I. (1982). The nature and the development of time concepts in children: The effect of interfering cues. In W. J. Friedman (Ed.), *The developmental psychology of time* (pp. 47–85). New York: Academic Press.



- Linn, M. C. (1986). Science. In R. F. Dillon & R. J. Sternberg (Eds.), *Cognition and instruction* (pp. 155–204). Orlando, FL: Academic Press.
- Piaget, J. (1951). *The child's conception of physical causality* (M. Gabain, Trans.). London: Routledge (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 computer-based modeling approach for teaching students about density. *Paper presented at AERA meetings, Washington, DC.*
- Smith, C., Carey, S. & Wiser, M. (1986). On differentiation: A case study of the development of the concept of size, weight, and density. *Cognition*, 21, 177–237.
- Snir, J. (o. J.). *Sink or float? What do experts think? or: The historical development of explanations for floatation*. University of Haifa.
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 133–169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spelke, E. S. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50, 431–445.
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1992). Cognitive development: Foundational theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337–375.
- 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.
- Wilkening, F. & Anderson, N. H. (1991). Representation and diagnosis of knowledge structures in developmental psychology. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory*. Vol. 3: Developmental (pp. 45–80). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Zaporozhets, A. V. & Lukov, U. D. (1979). The development of reasoning in young children. *Soviet Psychology* (Original 1941), 18, 47–66.

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Betina Janke  
Lehrstuhl für Pädagogische Psychologie  
und Entwicklungspsychologie der Universität Augsburg  
Universitätsstraße 10  
86135 Augsburg