

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, Band 4

Im Rahmen der Schriftenreihe „Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ werden regelmäßig wissenschaftliche Beiträge von renommierten Expertinnen und Experten aus dem Bereich der frühkindlichen Bildung veröffentlicht. Diese Schriftenreihe dient einem intensiven Dialog zwischen Stiftung, Wissenschaft und Praxis, mit dem Ziel, allen Kitas, Horten und Grundschulen in Deutschland weitreichende Unterstützung für ihren frühkindlichen Bildungsauftrag zu geben.

Im vorliegenden Band werden vier Expertisen vorgestellt, die basierend auf neusten entwicklungspsychologischen Erkenntnissen Empfehlungen für die Entwicklung weiterer naturwissenschaftlicher, technischer und mathematischer Themenschwerpunkte der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ aussprechen, auf mögliche Stolpersteine hinweisen und Vorschläge für die Praxis aufzeigen.

Die Expertise von Janna Pahnke und Sabina Pauen gibt einen Überblick über die Entwicklung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Denkens und Wissens in der frühen Kindheit und zieht Schlussfolgerungen für eine darauf aufbauende frühe Bildung in diesen Bereichen. Susanna Jeschoneks Expertisen behandeln die Entwicklung des kindlichen Verständnisses der Bereiche ‚Magnetismus‘ und ‚Akustik‘ und geben Empfehlungen für die Aufbereitung von Bildungsangeboten zu diesen Themenschwerpunkten in der Praxis. In der Expertise von Salman Ansari stehen Prozesse des Lehrens und Lernens aus der Sicht der kognitiven Wissenschaften im Mittelpunkt. Ansari geht auf verschiedene Konzepte und Angebote der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ ein, spricht Empfehlungen für die Weiterentwicklung dieser Themen aus und verdeutlicht dies anhand von konkreten Beispielen für die praktische Umsetzung.

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Salman Ansari
Susanna Jeschonek
Janna Pahnke
Sabina Pauen

Band 4

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“



schubi schubi schubi

Bildung von
Anfang an

© 2012 SCHUBI Lernmedien AG
CH-8207 Schaffhausen
service@schubi.com
www.schubi.com
1. Auflage 2012

BV 507 78

ISBN 978-3-86723-485-6



Band 4

Hrsg.: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“



Salman Ansari, Susanna Jeschonek, Janna Pahnke, Sabina Pauen

Herausgeber: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Band 4

Haben Sie Anregungen oder Kritikpunkte zu diesem Produkt?
Dann senden Sie eine E-Mail an service@schubi.com
Autoren und Verlag freuen sich auf Ihre Rückmeldung.

Sie finden uns im Internet unter:
www.schubi.com
www.bildung-von-anfang-an.de

Alle Rechte vorbehalten.

© 2012 SCHUBI Lernmedien AG
CH-8207 Schaffhausen
service@schubi.com
www.schubi.com

1. Auflage 2012

ISBN 978-3-86723-485-6

No BV 50778

© 2012: Stiftung Haus der kleinen Forscher
Herausgeber: Stiftung Haus der kleinen Forscher
Projektleitung: Dr. Janna Pahnke
Konzeption und Redaktion: Dr. Karen Bartling
Redaktionelle Mitarbeit: Henrike Barthel, Dana Schumacher

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
Informationen über die Autorinnen und Autoren	8
Einleitung	10
Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse der Expertisen	13
A Entwicklung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit <i>von Janna Pahnke und Sabina Pauen</i>	17
1. Einleitung	18
2. Entwicklung mathematischer Kompetenzen in der frühen Kindheit	19
2.1 Theoretische Einführung	19
2.2 Mathematische Kompetenzen im Säuglingsalter (0 – 1 Jahre)	20
2.3 Mathematische Kompetenzen im Kleinkindalter (2 – 3 Jahre)	31
2.4 Mathematische Kompetenzen im Vorschulalter (4 – 6 Jahre)	35
3. Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit	40
3.1 Theoretische Einführung	40
3.2 Naturwissenschaftliche Kompetenzen im Säuglingsalter (0 – 1 Jahre)	46
3.3 Naturwissenschaftliche Kompetenzen im Kleinkindalter (2 – 3 Jahre)	50
3.4 Naturwissenschaftliche Kompetenzen im Vorschulalter (4 – 6 Jahre)	53
4. Implikationen für die frühe mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung	60
4.1 Bedeutung früher mathematisch-naturwissenschaftlicher Bildung	60
4.2 Zentrale Befunde der Entwicklungsforschung	62
4.3 Schlussfolgerungen für die frühkindliche Bildung	64
4.4 Bewertungskriterien für Bildungsprogramme aus entwicklungspsychologischer Sicht	65
B Entwicklung des Verständnisses des Phänomens Magnetismus bei Kindern im Alter von 3 bis 6 Jahren <i>von Susanna Jeschonek</i>	69
1. Darstellung des aktuellen Forschungsstandes	70
1.1 Definition von Magnetismus	70
1.2 Bisherige Befunde zu Wissen und Vorstellungen von Kindern über den Themenbereich Magnetismus	71

1.3	Voraussetzungen für eine erfolgreiche Beschäftigung mit dem Thema Magnetismus im Vorschulalter aus entwicklungspsychologischer Sicht	76
2.	Empfehlungen für die Umsetzung des Themas Magnetismus im Kindergarten.	79
2.1	Alltagserfahrungen von Vorschulkindern mit unterschiedlichen Aspekten von Magnetismus	79
2.2	Naturwissenschaftliches Denken bei Vorschulkindern im Zusammenhang mit dem Phänomen des Magnetismus	80
2.3	Der Zusammenhang mit dem Konzept ‚Material‘.	82
2.4	Zusammenfassung.	83
C	Entwicklung des Verständnisses zum Thema Akustik bei Kindern im Alter von 3 bis 10 Jahren <i>von Susanna Jeschonek</i>	84
1.	Darstellung des aktuellen Forschungsstandes	85
1.1	Akustik: Schall und Schallwahrnehmung	85
1.2	Wissen und Vorstellungen über den Themenbereich Schall bei Jugendlichen und Erwachsenen	87
1.3	Bisherige Befunde zu Wissen und Vorstellungen über den Themenbereich Schall bei Kindern im Alter von 6 bis 10 Jahren	90
1.4	Bisherige Befunde zu Wissen und Vorstellungen bei Kindern im Alter von 3 bis 6 Jahren	96
1.5	Voraussetzungen für eine erfolgreiche Beschäftigung mit dem Themengebiet Schall im Vorschul- und Grundschulalter aus entwicklungspsychologischer Sicht	98
2.	Empfehlungen für die Umsetzung des Themas Schall mit Kindergarten- und Grundschulkindern.	101
2.1	Alltagserfahrungen von Kindern mit unterschiedlichen Aspekten von Schall	101
2.2	Wichtige Aspekte bei der Auseinandersetzung mit dem Themengebiet Schall bei Kindern im Vorschul- und Grundschulalter.	103
2.3	Zusammenfassung.	107
D	Bemerkungen zu den Konzepten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ <i>von Salman Ansari</i>	109
1.	Prozesse des Lehrens und Lernens aus der Sicht der kognitiven Wissenschaften	110
1.1	Wissen wird nicht passiv erworben.	110
1.2	Wissen: Ein Prozess aus Erfinden und Gestalten	111
1.3	Kinder haben ein Repertoire von Strategien, um Wissen zu konstruieren	111
1.4	Verstehen braucht Kommunikation	112

2.	Kindern dabei helfen, Wissen zu konstruieren	112
2.1	Gegenüberstellung von Wirklichkeitsbildern.	113
2.2	Vergegenwärtigung von eigenen Erfahrungen als Hilfe zur Bildung von neuen Konzepten	114
2.3	Experimentelle Erkundungen zur Entwicklung von neuen Fragestellungen und Revision von manifesten Vorstellungen	114
2.4	Interpretationen der Beobachtungen	116
2.5	Reorganisation von Wissen.	116
2.6	Resümee Wissenskonstruktion	117
3.	Fehlvorstellungen und Bewusstwerdung von Weltwissen	120
3.1	Wie Experimente Fehlvorstellungen begünstigen	120
3.2	Wie Kinder daran gehindert werden, die Bewusstwerdung ihres Weltwissens zu erlangen	132
4.	Empfehlungen zu Angeboten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“	133
4.1	Bemerkungen zu den Versuchen zum Themenschwerpunkt „Luft“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“	133
4.2	Alternative zum Phänomen „Luft bewegt“	135
4.3	Alternative zum Phänomen „Luft ist nicht nichts“	144
4.4	Bemerkungen zu den Versuchen zum Themenschwerpunkt „Wasser“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“	148
4.5	Alternativen zum Themenschwerpunkt „Wasser“	149
4.6	Bemerkungen zum Workshop „Luft“ für Trainerinnen und Trainer der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“	154
4.7	Resümee des pädagogischen Konzepts der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“	156
5.	Schlussfolgerungen und Ausblick	157
6.	Grundlagen der vorliegenden Expertise	161
	Fazit und Ausblick – Wie das „Haus der kleinen Forscher“ mit diesen Erkenntnissen umgeht	162
	Literatur	176
	Über die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“	195
	Bildquellenverzeichnis	195



Vorwort

Es freut mich, Ihnen den vierten Band der wissenschaftlichen Schriftenreihe zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ vorstellen zu dürfen. Der Fokus dieses Bandes liegt auf aktuellen Erkenntnissen aus der Entwicklungspsychologie und ihrer Bedeutung für die Neu- und Weiterentwicklung von Themenschwerpunkten der Stiftung. In diesem Buch sind vier Expertisen zusammengefasst, die die inhaltliche Arbeit der Stiftung schon jetzt maßgeblich beeinflusst haben und auch weiter bei der Umsetzung berücksichtigt werden.

Wie die Expertisen darstellen, ist es eine essentielle Voraussetzung für den Wissenszuwachs, an bereits vorhandenes Wissen anzuknüpfen und darauf aufzubauen. Dabei spielt die Integration von Alltagserfahrungen eine zentrale Rolle. Nur so kann zuvor erworbenes Wissen geprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Eine zentrale Aufgabe der Lernbegleitung besteht darin, den Kindern Anregungen für die Weiterentwicklung ihres Verständnisses von Phänomenen zu geben und Gelegenheiten zu schaffen, die gewonnenen Erfahrungen zu kommunizieren und somit bewusst zu machen. Bildungsansätze müssen also flexibel genug ausgerichtet sein, um eine individuelle Passung zwischen entwicklungspsychologischen Voraussetzungen und Bildungsanforderungen zu ermöglichen und damit auch individuelle Unterschiede im Vorwissen der Kinder zu berücksichtigen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um dem Ziel der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, die Bildungschancen für alle Kinder im MINT-Bereich zu verbessern, ein Stück näher zu kommen.

Die Empfehlungen der Autorinnen und Autoren der hier vorgelegten Expertisen haben der Stiftung wichtige Hinweise zur Weiterentwicklung ihrer Angebote gegeben. Sie verdeutlichen auch, wo mögliche Stolpersteine für die Umsetzung liegen und wo weiterer Forschungsbedarf besteht. Letzterem trägt die Stiftung durch ein umfassendes Begleitforschungsprogramm Rechnung. Seit 2011 ist die wissenschaftliche Begleitung und Evaluation der Stiftungsangebote deutlich ausgeweitet worden. Alle wissenschaftlichen Studien werden durch einen hochkarätig besetzten Forschungslenkungskreis¹ begleitet, der von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften koordiniert wird.

¹Weitere Informationen zum Forschungslenkungskreis finden Sie unter <http://www.haus-der-kleinen-forscher.de/de/ueberuns/wissenschaftliche-begleitung/filk/>

Ich möchte meinen Kolleginnen und Kollegen in der Stiftung danken, die geholfen haben, diesen nunmehr vierten Band zu veröffentlichen. Herzlich danke ich auch dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, der Helmholtz-Gemeinschaft, der Siemens Stiftung, der Dietmar Hopp Stiftung und der Deutsche Telekom Stiftung, die durch ihr Engagement sowohl die Voraussetzungen für die Forschung schaffen, als auch die Herausgabe dieses Buches ermöglichen.

Den Leserinnen und Lesern danke ich für Ihr Interesse an unserer Arbeit und hoffe, dass auch dieser Band wieder den Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis anregt und um weitere Perspektiven bereichern kann.

Ihr Dr. Peter Rösner
Geschäftsführer Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Informationen über die Autorinnen und Autoren

Ansari, Salman, Dr. rer. nat., Dipl. Chem.

Arbeitsschwerpunkte: Entwicklung von Unterrichtsmodellen und professionalisiertem Lehrerhandeln, Elementarbereich

Kontakt: Paul-Geheeb Str.9, 64646 Heppenheim

e-mail: salman.ansari@t-online.de

Jeschonek, Susanna, Dr. phil., Dipl. Psych., wissenschaftliche Mitarbeiterin HAW Hamburg, Fakultät Wirtschaft und Soziales, Department Soziale Arbeit, Fachbereich Psychologie.

Arbeitsschwerpunkte: Denkentwicklung in der frühen Kindheit

Kontakt: Alexanderstraße 1, 20099 Hamburg

e-mail: susanna.jeschonek@haw-hamburg.de

Pahnke, Janna, Dr. phil., Dipl. Psych., Wissenschaftliche Leitung der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Arbeitsschwerpunkte: Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu den inhaltlichen Stiftungsangeboten, Kooperationen wissenschaftliche Begleitung, Evaluation, Qualitätsentwicklung. Zuvor Forschungstätigkeit an der Universität Heidelberg zur frühen Denkentwicklung.

Kontakt: Stiftung Haus der kleinen Forscher, Rungestr. 18, 10179 Berlin

e-mail: janna.pahnke@haus-der-kleinen-forscher.de

Pauen, Sabina, Prof., Dr. phil. nat., Dipl. Psych., Inhaberin des Lehrstuhls für Entwicklungspsychologie und Biologische Psychologie, Universität Heidelberg

Arbeitsschwerpunkte: Zusammenhang von Gehirn- und Denkentwicklung, Entwicklung von Fortbildungskonzepten für Fachkräfte im Kita- und Krippenbereich.

Kontakt: Universität Heidelberg, Psychologisches Institut, Hauptstr. 47-51, 69117 Heidelberg

e-mail: sabina.pauen@psychologie.uni-heidelberg.de



Einleitung

Die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ unterstützt mit der gleichnamigen Bildungsinitiative Kitas in ganz Deutschland dabei, den Forschergeist von Mädchen und Jungen zu wecken und sie für naturwissenschaftliche Phänomene sowie technische und mathematische Fragestellungen zu begeistern. Derzeit nehmen in 219 lokalen Netzwerken insgesamt 21.942 Krippen, Kitas, Horte und Grundschulen am Programm der Stiftung teil (Stand 30.06.2012). Im Sinne von anschlussfähigen Bildungsketten wird das Programm seit 2011 nicht nur für Kinder unter sechs Jahren, sondern schrittweise auch für Kinder im Grundschulalter angeboten. Die Ausweitung der Stiftungsangebote auf das Grundschulalter wird in einer bis Herbst 2013 andauernden Modellphase gemeinsam mit 52 lokalen Netzwerkpartnern getestet, bevor die Angebote zum Schuljahr 2013/14 dann für alle Netzwerke in Deutschland zur Verfügung gestellt werden.

Die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ versteht sich als lernende Organisation und pflegt einen offenen Austausch mit Fachexperten verschiedener Disziplinen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beraten und begleiten die inhaltliche Arbeit der Stiftung in vielfältiger Weise. Dies beinhaltet sowohl die fachliche Fundierung der Entwicklung neuer Konzepte und Themenschwerpunkte durch die Stiftung als auch die kontinuierliche Evaluation und Weiterentwicklung bereits bestehender Stiftungsangebote.

Grundgedanke der Bildungsinitiative ist die Qualifizierung und Stärkung der pädagogischen Fachkräfte, die in Bildungseinrichtungen für die MINT-Bildung der Kinder verantwortlich sind. Diese sollen – anstelle von sporadischen Besuchen durch Externe oder reinen Materialangeboten kontinuierlich fortgebildet und dauerhaft begleitet werden. Engagierte Einrichtungen werden anhand festgelegter Bewertungskriterien als „Haus der kleinen Forscher“ zertifiziert. Die Kriterien der „Haus der kleinen Forscher“-Zertifizierung orientieren sich an den Qualitätsbereichen des Deutschen Kindergarten Gütesiegels.

In der Stiftung werden pro Jahr mindestens zwei Themenschwerpunkte entwickelt bzw. weiterentwickelt². Dazu kommen Sonderthemen wie zum Beispiel zum „Tag der kleinen Forscher“ in thematischer Anlehnung an das jeweilige Wissenschaftsjahr, das das Bundesministerium für Bildung und Forschung initiiert. Hierzu werden pädagogische Materialien wie Themenbroschüren und Karten-Sets (i.e., Entdeckungs- und Forschungskarten) entwickelt, die den pädagogischen Fachkräften anschauliche Anregungen zum Forschen mit Kindern in Kita, Hort und Grundschule geben. In der Zeitschrift „Forscht mit!“ erhalten die pädagogischen Fachkräfte u.a. praktische Tipps zum Forschen in der Einrichtung und Best-Practice-Berichte aus anderen Einrichtungen und Netzwerken. Zentral ist darüber hinaus die Entwicklung der Workshopkonzepte für pädagogische Fachkräfte sowie für die Trainerinnen und Trainer, die in den lokalen Netzwerken vor Ort die Workshops durchführen. Diese Multiplikatoren werden von der Stiftung ebenfalls kontinuierlich weitergebildet und in ihrer Workshoptätigkeit durch Hospitationen begleitet. Ergänzt werden die Präsenz- und Printangebote durch die Bereitstellung von

²Nähere Informationen zu den Angeboten der Stiftung sind zu finden unter www.haus-der-kleinen-forscher.de.

Onlinematerialien und E-Learning-Angeboten. Im Rahmen der Modellphase des Bildungsprojekts „Sechs- bis zehnjährige Kinder“ entwickelt die Stiftung mit ihren Piloteinrichtungen derzeit auch Angebote direkt für Kinder.

Die (Weiter-)Entwicklung eines Themas entsteht immer unter Einbeziehung praktischer Erfahrungen mit Kindern und pädagogischen Fachkräften, die in den Piloteinrichtungen der Stiftung gesammelt werden, dabei werden auch Berichte von Praxisexperten aus den lokalen Netzwerken berücksichtigt. Außerdem fließt der aktuelle fachwissenschaftliche Stand zum jeweiligen Bildungsthema mit ein. Dafür werden die Bildungspläne der Länder einbezogen, Fachforen und Expertentreffen zu spezifischen Themen organisiert und Expertisen von externen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf dem jeweiligen Gebiet eingeholt. In diesem Rahmen sind auch die vorliegenden Expertisen in diesem vierten Band der Reihe „Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung ‚Haus der kleinen Forscher‘“ entstanden.

Schließlich wird die Umsetzung aller qualifizierenden Aktivitäten der Stiftung (Feedback zu Workshops und Materialien, Auswahl und Ausbildung der Multiplikatoren, Hospitationen u.a.) durch ein kontinuierliches Monitoring begleitet und im Rahmen der externen Begleitforschung evaluiert. Diese Ergebnisse bilden wiederum eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung und Neuarbeitung von Formaten und Angeboten der Stiftung.



**Zusammenfassung
wichtiger Ergebnisse
der Expertisen**

Der vierte Band der Schriftenreihe „Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung ‚Haus der kleinen Forscher‘“ fokussiert auf die Bedeutung entwicklungspsychologischer Voraussetzungen für die mathematische und naturwissenschaftliche Bildung im Kita- und Grundschulalter. Es werden vier Expertisen vorgestellt, die basierend auf dem aktuellen Stand der Entwicklungspsychologie Empfehlungen für die Entwicklung oder Überarbeitung von Themenschwerpunkten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ aussprechen. Alle vier Expertisen machen deutlich, dass es die derzeit wichtigste Aufgabe für den Bereich der frühen Bildung – in Forschung wie Anwendung – ist, die konzeptionellen und empirischen Lücken zwischen entwicklungspsychologischen Grundlagen und praktischen Bildungsansätzen zu schließen.

Die *Expertise „Entwicklung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit“* von Janna Pahnke und Sabina Pauen gibt einen Überblick über die Entwicklung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Denkens und Wissens in der frühen Kindheit und die Implikationen für eine darauf aufbauende frühe Bildung in diesen Bereichen. Der Schwerpunkt liegt auf der Berücksichtigung entwicklungspsychologischer Voraussetzungen bei der Konzeption von Strategien zur Förderung mathematisch-naturwissenschaftlicher Kompetenzen im Kleinkind- und Vorschulalter. Die Autorinnen geben eine Übersicht über den aktuellen Forschungsstand zu frühen mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen. Bereits Kleinkinder besitzen die kognitiven Voraussetzungen für das Verständnis wichtiger Zählprinzipien und deren korrekte Anwendung. Im Laufe des Vorschulalters lernen Kinder dann zählen und verinnerlichen wichtige funktionale Zählprinzipien. Auch erste naturwissenschaftliche Kompetenzen sind bereits im Säuglingsalter vorhanden. Hierbei wird zwischen Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken (z.B. denken sechs Monate alte Säuglinge über Ursache und Wirkung nach) und spezifischem naturwissenschaftlichen Wissen in verschiedenen Inhaltsbereichen (z.B. unterschiedliche Erwartungen an das Verhalten von Lebewesen und unbelebten Objekten) unterschieden. Kleinkinder scheinen bereits grundsätzliche kausale Prinzipien zu kennen und beginnen diese auch in ihrem Denken und Handeln anzuwenden. Im Vorschulalter haben Kinder schon beachtliche Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Denken (d.h. sie verstehen kausale Prinzipien und wenden dieses Kausalverständnis richtig an) und verfügen bereits über vielfältiges Wissen im Bereich der Naturwissenschaften.

Die Autorinnen schlussfolgern, dass das Kindergartenalter ein ideales Entwicklungsstadium für den Beginn einer naturwissenschaftlichen und mathematischen Bildung ist. Es werden drei Befunde aus den aktuellen Forschungsergebnissen extrahiert, denen bei der Ausgestaltung frühkindlicher entwicklungsangemessener Bildungsförderung eine besondere Relevanz zukommen sollte:

- (1) Kindergartenkinder bringen bereits vielfältiges Wissen und Kompetenzen mit.
- (2) Das frühkindliche informelle Wissen stellt eine wichtige Voraussetzung für spätere akademische Leistungen dar.
- (3) Es bestehen schon früh individuelle Unterschiede zwischen Kindern.

Ein zentrales Fazit der Expertise ist, dass der Erfolg eines Bildungsprogramms zu einem großen Teil von einer guten Passung, d.h. der feinen Abstimmung zwischen entwicklungspsychologischen Voraussetzungen und Bildungsanforderungen abhängt. „Erst wenn sowohl Bildungsinhalte als auch die pädagogische Herangehensweise in die Zone der proximalen Entwicklung der Kinder fallen, ist ein Erfolg im Sinne eines bedeutsamen Lern- und Wissenszuwachses zu erwarten.“ (S. 67 pp). Idealerweise sollten Kompetenzen dann durch unterstützende Bildungsangebote aufgegriffen werden, wenn sie ohnehin am Entstehen sind. Demensprechend sollten Bildungsprogramme flexibel genug ausgerichtet sein, um eine individuelle Passung zu ermöglichen.

Im Fokus der Expertise *„Entwicklung des Verständnisses des Phänomens Magnetismus bei Kindern im Alter von 3 bis 6 Jahren“* stehen eine Darstellung des aktuellen Forschungsstandes zur Entwicklung des Verständnisses des Phänomens „Magnetismus“ bei Kindern im Alter von drei bis sechs Jahren und Empfehlungen für die Umsetzung dieses Themas im Kindergarten. Ab welchem Alter und in welcher Form kann dieses sehr faszinierende, theoretisch jedoch relativ komplexe Thema an Kinder herangetragen werden? Basierend auf dem aktuellen Stand der Forschung, schlussfolgert Susanna Jeschonek, dass Kinder zum einen zu wissenschaftlichem Denken in der Lage sein und zum anderen neue Erkenntnisse aus diesem Themenbereich in bereits vorhandene Wissensstrukturen einbetten sollten, wenn sie sich mit dem Thema „Magnetismus“ beschäftigen. Ausgehend von frühesten Beobachtungen und Erfahrungen von Kindern, stellt das Phänomen des „Magnetismus“ für Kinder häufig einen Konflikt mit ihrem bisherigen Wissen dar. Sie sind es gewohnt, dass sich Menschen und Tiere eigenständig bewegen können, und reagieren höchst erstaunt, wenn sich etwa ein Bauklotz von selbst (ohne direkte Berührung) bewegt. Es widerspricht ihren bisherigen naturwissenschaftlichen Erfahrungen. Gleichzeitig übt das Phänomen aber auch auf junge Kinder eine Faszination aus. Susanna Jeschonek empfiehlt, genau diese Faszination zu nutzen. Dabei sollten pädagogische Fachkräfte jedoch mögliche altersbedingte Unterschiede in den tatsächlichen Vorerfahrungen berücksichtigen. Jüngeren Kindern bzw. Kindern, die bisher insgesamt nur wenige Erfahrungen mit Magneten sammeln konnten, sollte die pädagogische Fachkraft zunächst zeitlich ausreichende und vielfältige Möglichkeiten einräumen, sich mit der anziehenden Wirkung von Magneten auf bestimmte Materialien zu beschäftigen. Eine durch das Thema angeregte Materialkunde hilft Kindern beim „Ordnen der Welt“ und der Entdeckung, dass z.B. die Form oder Funktion eines Objekts noch nicht alles über einen Gegenstand aussagt, sondern dass dessen Material von Bedeutung ist – eine zentrale Voraussetzung um zu verstehen, dass ein Magnet einige Dinge anzieht, andere hingegen nicht. Erst danach, so die Empfehlung der Expertise von Jeschonek, bietet es sich an, die Abstoßung zwischen gleichnamige Polen von Magneten gemeinsam mit den Kindern zu erforschen.

Kita-Kinder bringen also alle wichtige Voraussetzung für das Forschen mit Magneten mit: Sie sind in der Lage, Ideen und Annahmen zu bilden und diese durch Ausprobieren und Beobachten zu überprüfen. Diese Kompetenz des wissenschaftlichen Vorgehens kann durch die Auseinandersetzung mit Magneten hervorragend geübt und weiterentwickelt werden. „[...] die Auseinandersetzung mit einem Themenbereich sollte nach Möglichkeit auch den

Prozess des Wissenserwerbs, d.h. das systematische Beobachten, Beschreiben, Experimentieren, Vergleichen, und Ordnen von Erfahrungen nachhaltig positiv beeinflussen, da beide Aspekte den Kern der Naturwissenschaften per se ausmachen.“ (Jeschonek, S. 79).

In der *Expertise „Entwicklung des Verständnisses zum Thema Akustik bei Kindern im Alter von 3 bis 6 und 6 bis 10 Jahren“* erörtert Susanna Jeschonek aktuelle Forschungsergebnisse zu Wissen und Vorstellungen über den Themenbereich „Schall“ bei Kindern verschiedener Altersgruppen. Sie spricht Empfehlungen für die Umsetzung des Themas Akustik im Kindergarten und in der Grundschule aus. Sowohl Kita- als auch Grundschulkindern sind außerordentlich an akustischen Phänomenen interessiert. Während das Thema auch auf junge Altersgruppen eine große Faszination ausübt, machen allerdings zahlreiche Misskonzepte von Grundschulkindern die Komplexität und Abstraktheit dieses physikalischen Phänomens deutlich. Darum ist ein bewusstes Vorgehen bei der frühen Bildung auf diesem Gebiet sehr wichtig. Bevor eine Anreicherung des Wissens in diesem Bereich stattfindet, sollten v.a. jüngere Kinder die Möglichkeit bekommen, ausreichend Erfahrungen mit Klängen und Geräuschen durch eigenes Wahrnehmen und Handeln zu sammeln. Die pädagogische Arbeit sollte also von den Entwicklungsvoraussetzungen des einzelnen Kindes ausgehen, um durch den richtigen Impuls zur rechten Zeit den Mädchen und Jungen zu ermöglichen, selbstständig den nächsten Schritt zu tun.

Zentrales Fazit der Expertise von Jeschonek ist, dass bereits Kinder in Kita- und Grundschulalter wichtige Voraussetzungen für die Auseinandersetzung mit akustischen Phänomenen mitbringen: Sie können schon früh differenziert hören und mit zunehmendem Alter und wachsender Übung verschiedene Klänge und Geräusche unterscheiden und beschreiben. Aufbauend auf vielfältigen Grunderfahrungen erweitern sie durch eigenes Erforschen ihre Kenntnisse und können so nach und nach ein vertieftes Verständnis akustischer Phänomene entwickeln. Gleichzeitig werden Komponenten des naturwissenschaftlichen Denkens geübt und gefestigt.

In der *Expertise „Bemerkungen zu den Konzepten der Stiftung ‘Haus der kleinen Forscher‘“* von Salman Ansari stehen Prozesse des Lehrens und Lernens aus der Sicht der kognitiven Wissenschaften im Mittelpunkt. Der Autor beschreibt viele konkrete Beispiele für die praktische Umsetzung naturwissenschaftlicher Themen mit Kindern. Dabei nimmt er die bestehenden Themenschwerpunkte „Wasser“ und „Luft“ der Stiftung genauer unter die Lupe. Er diskutiert, wie Kindern dabei geholfen werden kann, Wissen zu konstruieren, aber auch, wie Kinder potentiell daran gehindert werden können, die Bewusstwerdung ihres Weltwissens zu erlangen. Verschiedene Konzepte der Stiftung werden diskutiert und Empfehlungen für die Weiterentwicklung der bereits vorhandenen Themen ausgesprochen.

Als Fazit der Expertise von Salman Ansari bleibt festzuhalten: „Zentrales Anliegen aller Aktivitäten in Kindergärten sollte [...] darin bestehen, die Kinder zu einem selbstständigen und unbefangenen Handeln zu stimulieren, damit sie unterschiedliche Aspekte der Wirklichkeit erfahren und diese mit Hilfe von individuellen Theorien bzw. Hypothesen interpretieren können.“ Weiter heißt es: „Die Themen des Curriculums sollten naturgemäß so ausgewählt

werden, dass sie von den Kindern im Rahmen ihrer Erfahrungsmöglichkeiten bewältigbar sind [...]“ (S. 159) Der Autor weist darauf hin, dass dabei darauf geachtet werden sollten dass jedem Kind die Möglichkeit gegeben wird seinen Neigungen und Vorlieben nachzugehen und dadurch die Individualität jedes einzelnen Kindes zu unterstützen.



A

Entwicklung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit

Janna Pahnke und Sabina Pauen

- 1 Einleitung
- 2 Entwicklung mathematischer Kompetenzen in der frühen Kindheit
- 3 Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit
- 4 Implikationen für die frühe mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung

1. Einleitung

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick zur Entwicklung des mathematischen und des naturwissenschaftlichen Denkens in der frühen Kindheit³. Diese Zusammenfassung dient dem Ziel, entwicklungspsychologische Erkenntnisse aus beiden Forschungsbereichen zusammenzuführen, um auf Basis dieser Hintergrundkenntnisse das mathematisch-naturwissenschaftliche Denken integrativ zu fördern. Dies kann allerdings nur gelingen, wenn zunächst jeder Bereich für sich genommen betrachtet wird und wir verstehen lernen, wie Kinder sich einerseits der Welt der Zahlen und Quantitäten, andererseits der Welt der Naturphänomene und -gesetze nähern.

Bereits als Säuglinge verfügen Kinder über Kompetenzen in den Bereichen Mathematik und Naturwissenschaften. Ihr Wissen differenziert sich im Verlauf des Kleinkind- und Vorschulalters stark aus. Indem wir diesen Weg der Ausdifferenzierung von früh angelegtem Kernwissen nachvollziehen und bedeutsame Meilensteine identifizieren, können wir verstehen, an welcher Stelle im gesamten Prozess sich ein individuelles Kind oder eine bestimmte Altersgruppe typischerweise befindet. Erst diese Art der Analyse ermöglicht eine entwicklungspsychologisch fundierte Formulierung von altersangemessenen Lernzielen einerseits und altersgemäßen pädagogischen Maßnahmen zum Erreichen dieser Entwicklungsziele andererseits.

Der Bericht stellt eine wissenschaftliche Analyse des aktuellen Forschungsstandes dar. Er gliedert sich in drei Abschnitte. Im ersten Abschnitt wird die mathematische Entwicklung bis zum Vorschulalter ausführlich beschrieben, wobei die jeweils verwendeten Untersuchungsmethoden sowie verschiedene Theorien zur Entwicklung des mathematischen Denkens diskutiert werden. Der zweite Abschnitt thematisiert die Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens und Wissens im Säuglings-, Kleinkind- und Vorschulalter. Auch hier findet neben der Darstellung empirischer Befunde die Auseinandersetzung mit theoretischen Konzepten und Begriffen Eingang, da diese die empirische Forschung zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen maßgeblich beeinflusst haben. Der dritte Abschnitt schließlich diskutiert die Implikationen entwicklungspsychologischer Voraussetzungen für die frühe mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung. Hierbei wird besonders die Notwendigkeit betont, individuelle Unterschiede im Ausgangsstand und Vorwissen der Kinder, z.B. in Abhängigkeit von der sozialen Schicht, zu beachten, da die Weiterentwicklung der geistigen Fähigkeiten (Lernerfolg) maßgeblich von einer guten Passung zwischen den Voraussetzungen der Kinder und den angebotenen Bildungsanregungen abhängt. Der Bericht endet mit zentralen Schlussfolgerungen und Empfehlungen für frühkindliche Bildungsansätze.

³Dieser Text entstand 2008 im Rahmen des Projekts „Vom Kleinsein zum Einstein“ (Teil der von der BASF geförderten Offensive Bildung), das durch die Universität Heidelberg, Arbeitsgruppe Prof. Sabina Pauen, wissenschaftlich begleitet wurde. Die Expertise wurde für die vorliegende Veröffentlichung aktualisiert.

2. Entwicklung mathematischer Kompetenzen in der frühen Kindheit

2.1 Theoretische Einführung

2.1.1 Was gehört zum mathematischen Denken?

Wenn Erwachsene an Mathematik denken, dann fallen ihnen typischerweise Zahlen und Formeln ein. Sie bilden die „Sprache“ der Mathematik, wobei die Zahlenwörter und Symbole wie Vokabeln interpretiert werden können und Formeln nach bestimmten grammatischen Regeln aufgebaut sind. Diese Sprache wurde entwickelt, um über Quantitäten (Anzahlen), Muster und Ordnungssysteme in der Welt kommunizieren zu können und sich dabei vom konkreten Inhalt zu lösen. Deshalb erscheint vielen die Sprache der Mathematik abstrakt und schwer zu verstehen.

Wer sich dem mathematischen Denken kleiner Kinder nähern möchte, muss fragen, wie Kinder lernen, in der Sprache der Mathematik zu denken. Dafür brauchen Kinder z.B. ein Grundverständnis von Quantitäten und ihrer Beziehung zueinander. Konkret müssen sie erkennen, was mehr und was weniger ist, und auch verstehen, unter welchen Umständen eine gegebene Menge kleiner wird (wenn ich etwas wegnehme) oder sich vergrößert (wenn etwas dazu kommt).

Für den Umgang mit Zahlen sind noch weitergehende Fähigkeiten notwendig: Das Kind lernt, welche Worte für die Beschreibung von Quantitäten verwendet werden (Zahlworte wie „eins, zwei, drei“, Mengenworte wie „viele“, „wenige“, „ein paar“, Vergleichsworte wie „mehr“, „weniger“ und Operationsworte wie „dazu tun“, „wegnehmen“ und später: „plus“, „minus“), es lernt ihre Bedeutung zu verstehen. Hier sind demnach sprachliche Kompetenzen erforderlich. Was diesen Prozess erschwert, ist, dass Kinder zunächst glauben, jedes Wort bezeichne ein ganz bestimmtes Objekt. So wie das Wort „Hund“ nur Objekte bezeichnet, die aussehen und sich verhalten wie Hunde. Beim Zählen ist es aber anders: Das Zahlwort ist flexibel – es kann sich auf jede beliebige Art von Objekt beziehen. Dass es mit diesen Worten etwas Besonderes auf sich hat, kann das Kind erkennen, wenn Erwachsene nacheinander auf verschiedene Objekte zeigen und dabei die Zahlworte in einer fest gelegten Reihenfolge sagen, die sich immer wiederholt.

Aber zum Zählen Lernen gehört viel mehr, als nur die Zahlworte aufsagen zu können: Das Kind muss verstehen, dass es ganz egal ist, in welcher Reihenfolge man Objekte „be-zählt“, während es gleichzeitig entscheidend ist, beim Zählen jedes Element einer gegebenen Menge immer nur genau einmal zu zählen und die Reihenfolge der Zahlen genau einzuhalten! Man spricht hier auch von der 1:1 Zuordnung. Um eine 1:1 Zuordnung vornehmen zu können, muss das Kind Strategien entwickeln, die es ihm erlauben, keine Fehler zu machen. Dazu gehört beispielsweise die Reihung oder Sortierung (was wurde schon gezählt, was muss noch gezählt werden). Die Zahl die das letzte zu zählende Objekt bezeichnet, entspricht dann der Gesamtanzahl. Dieses Prinzip heißt Kardinalitätsprinzip. Um das Kardinalitätsprinzip entdecken zu können, muss das Kind zunächst begreifen, dass das Vorwärts Zählen immer

mit einem „mehr“ einhergeht. Vier Finger sind mehr als drei und drei sind mehr als zwei. Es gilt das so genannte Ordinalitätsprinzip. Ausgehend von Abzählerfahrungen wird das Kind mit der Zeit einen „Zahlenstrang“ im Kopf bilden – ein mentales Ordnungssystem, das diskrete (zählbare) Mengen in aufsteigender Reihenfolge abbildet.

Alle bislang genannten Teilfähigkeiten beziehen sich ausschließlich auf das mündliche Zählen. Das Kind muss darüber hinaus auch lernen, dass jedes Zahlwort schriftlich durch eine spezifische Ziffer oder Zifferkombination dargestellt wird. Erst wenn es auch diese Kompetenz erworben hat, wird ihm im Alltag deutlich werden, für welchen Zweck Menschen Zahlen normalerweise gebrauchen (z.B. Hausnummern, Skalen von Messinstrumenten). Und schließlich wird das Kind beginnen, mit Hilfe von Zahlen über einfache Rechenoperationen nachdenken zu können und zum Beispiel verstehen, dass zwei und zwei immer vier ist, egal, ob es um Äpfel, Birnen oder etwas anderes geht. Erfahren wird es dies zunächst beim Zählen realer Objekte, dann kann es die Objekte auch im Kopf präsentieren und zählen und schließlich begreift es, dass Rechenoperationen nicht auf Objekte angewiesen sind. Erst dann gelingt es ihm, Fragestellungen wie: „Was ist zwei plus drei“ sicher zu lösen.

Lange Zeit war man überzeugt, dass ein Grundverständnis von Quantitäten sich frühestens im Vorschulalter einstellt. Heute wissen wir, dass die Wurzeln viel tiefer reichen und schon Säuglinge über erstaunliche Möglichkeiten der Erfassung von Quantitäten verfügen. Ob es sich dabei um die Fähigkeit zum Zählen handelt, ist allerdings noch umstritten. Im nachfolgenden Abschnitt werden zunächst die frühesten Wurzeln des kindlichen mathematischen Denkens näher beleuchtet und über Studien berichtet, die sich mit Kernwissen im Bereich Mathematik befassen.

2.2 Mathematische Kompetenzen im Säuglingsalter (0 – 1 Jahre)

Die Entwicklung des mathematischen Verständnisses beginnt bereits im frühen Säuglingsalter (vgl. z.B. Carey, 2008; Mix, Huttenlocher & Levine, 2002a; Baillargeon & Carey, in press). Numerische Vorläuferkompetenzen wie die Unterscheidung von Mengen unterschiedlicher Anzahlen oder das Verständnis von Mengenveränderungen sind bereits im ersten Lebensjahr vorhanden. Aber wie lässt sich das feststellen? Studien, die entsprechende Fähigkeiten bei Säuglingen untersuchen, beruhen zumeist auf dem Habituations-Dishabituations-Paradigma. Diese Methode analysiert das Blickverhalten der Kinder: Während Säuglinge einen dargebotenen Reiz zunächst aufmerksam anschauen, lässt ihr Interesse bei wiederholter Darbietung nach (Habituation = Gewöhnung). Erst wenn ein neuer Reiz präsentiert wird, reagieren sie mit einem erneuten Aufmerksamkeitsanstieg (Dishabituation = Neuheitsreaktion). Studien, die sich diese Methode zunutze machten, berichteten schon bei jungen Säuglingen über erstaunliche numerische Fähigkeiten:

2.2.1 Diskrimination unterschiedlich großer Mengen

Unterscheidung kleiner Anzahlen (1 bis 4)

Schon vier Monate alte Babys und sogar Neugeborene können Mengen mit unterschiedlicher Anzahl von Elementen voneinander unterscheiden (Antell & Keating, 1983; Starkey & Cooper, 1980). Wenn Säuglinge z.B. an eine Abbildung mit zwei Punkten gewöhnt worden sind (Habituation), reagieren sie erstaunt, wenn sie im Anschluss eine Abbildung mit drei Punkten sehen (Dishabituation) und umgekehrt. Diese Art der Mengendiskrimination funktioniert bei etwas älteren Kindern auch, wenn die Art der Objekte zwischen den Habituations- und Testdurchgängen wechselt (7 Monate: Starkey, Spelke & Gelman, 1990; 10-12 Monate: Strauss & Curtis, 1981) und wenn bewegte Elemente gezeigt werden (ab 8 Monaten, Van Loosbroek & Smitsman, 1990). Sollen Säuglinge allerdings den Unterschied zwischen vier und sechs Elementen erkennen, so zeigen sie im Test keine Blickpräferenz für die Abbildung mit der neuen Anzahl (Starkey & Cooper, 1980; vgl. jedoch Tan & Bryant, 2000). Die Autoren schlossen aus diesen Befunden, dass junge Säuglinge nur kleine Anzahlen (2 vs. 3), nicht aber größere (4 vs. 6) voneinander unterscheiden können. Das Anzahlverhältnis betrug in beiden Fällen 2:3, aber die absolute Größe der Anzahlen war unterschiedlich.

Unterscheidung größerer Anzahlen (ab 5)

Xu und Spelke (2000) konnten zeigen, dass Säuglinge auch zwischen Mengen mit größeren Anzahlen unterscheiden können, aber nur, wenn die Differenz ausreichend groß ist. So können sechs Monate alte Säuglinge 8 vs. 16 Punkte und 16 vs. 32 Punkte unterscheiden (Verhältnis 1:2), aber nicht 8 vs. 12 oder 16 vs. 24 Punkte (Verhältnis 2:3) (Xu & Spelke, 2000; Xu, Spelke & Goddard, 2005).

Basieren diese präverbalen Mengenunterscheidungsleistungen auf einem frühen, gar angeborenen numerischen Verständnis? Oder nutzen die Säuglinge andere Hinweisreize zur Mengenunterscheidung, die bei einer Veränderung der Anzahl der Elemente ebenfalls variieren, wie z.B. die Größe der Fläche, die Konturenlänge oder die Dichte der Anordnung?

Vertreterinnen des nativistischen Ansatzes wie Karen Wynn (1992a; 1992b; 1995) oder Rochel Gelman (Gallistel & Gelman, 1992; Gelman, R., 2000) postulieren einen angeborenen und domänen-spezifischen Lernmechanismus für das (An-)Zahlverständnis („Akkumulatormodell“ des präverbalen Zählens). Andere Autoren gehen von allgemeinen, sehr früh verfügbaren Lernmechanismen aus, auf die Kinder zur Quantifizierung zurückgreifen: So postuliert das Modell der parallelen Individuation (Feigenson, Carey & Hauser, 2002; Simon, 1997; Uller, Carey, Huntley-Fenner & Klatt, 1999), dass für jedes betrachtete Objekt ein eigenes „Object File“ im Geist eröffnet wird, wobei maximal drei oder vier solcher „Files“ gleichzeitig repräsentiert werden können. In beiden Gruppen von Ansätzen wird angenommen, dass Säuglinge Quantitäten primär als Anzahl diskreter Elemente wahrnehmen und diese spezifische numerische Information zur Unterscheidung von Mengen nutzen.

Andere Forschungsarbeiten stellen diese optimistische Zuschreibung eines sehr frühen numerischen Verständnisses jedoch in Frage und weisen darauf

hin, dass die im Säuglingsalter beobachtbaren Unterscheidungsleistungen eher auf die Wahrnehmung nicht-numerischer Hinweisreize zurückgehen, die mit der Anzahl präsentierter Elemente variieren (für einen Überblick siehe Mix et al., 2002a). Werden z.B. die Anzahl der Elemente und deren prozentuale Fläche in den Testdisplays gegenüber gestellt, so reagieren junge Säuglinge erstaunt auf die Flächenveränderung, jedoch nicht auf den Wechsel der Anzahl von Elementen. Wird die prozentuale Fläche kontrolliert, reagieren die Kinder eher auf den Wechsel in der Konturenlänge als auf den Wechsel in der Anzahl (vgl. Diskussion der Studie von Xu und Spelke, 2000, bei Mix et al., 2002a).

Um methodisch das Problem in den Griff zu bekommen, dass man die Anzahl von Elementen, die bildlich dargestellt werden, nie unabhängig von der Größe der Fläche, die sie einnehmen, oder von der Länge der Konturen (Außenlinien) variieren kann, hat man in anderen Studien versucht, die Anzahl von Elementen zeitlich nacheinander zu präsentieren. Aber auch dann kann man sich nicht ganz sicher sein, dass eine Unterscheidung im Habituation-Dishabituationstest wirklich auf die Fähigkeit zur numerischen Diskrimination zurückzuführen ist. In einer Studie von Wynn (1996) beispielsweise wurden Säuglinge an eine Puppe gewöhnt, die zwei bzw. drei Mal in die Luft sprang. Im Test wurden dieselben Kinder mit der jeweils neuen Anzahl von Sprüngen konfrontiert. Tatsächlich schauten die Säuglinge länger auf die Sequenz, welche sich in der Anzahl von der Habituationsequenz unterschied. Da sich gleichzeitig mit der Anzahl aber auch der Rhythmus der Sequenz änderte (Sprung-Sprung-Pause vs. Sprung-Sprung-Sprung-Pause), ist nicht auszuschließen, dass die Kinder anstatt auf die Anzahl der Sprünge vielmehr auf den Unterschied im Rhythmus reagierten. (Lewkowicz, 2000; Lewkowicz, Dickson & Kraebel, 2001, zitiert nach Mix et al., 2002a)

Es gibt somit breite empirische Evidenz, dass schon Säuglinge Mengen unterschiedlicher Anzahl als verschieden wahrnehmen und dass sie hierzu Informationen wie Fläche, Konturenlänge, Dichte oder Rhythmus nutzen, jedoch gibt es kaum allgemein akzeptierte Befunde zur Quantifizierung kleiner Mengen anhand der reinen Anzahl von Elementen. Tatsächlich konnte Xu (2003)

zeigen, dass bei einer sorgfältigen Kontrolle der nicht-numerischen, perzeptuellen Hinweisreize sechs Monate alte Säuglinge zwar erfolgreich 4 von 8 Punkten unterscheiden, jedoch nicht 2 von 4 Punkten. In einer anderen gut kontrollierten Studie diskriminierten die Kinder 16 von 32 Punkten, aber nicht 1 von 2 Punkten (Xu et al., 2005).

Für eine erfolgreiche numerische Unterscheidung in der frühen Kindheit müssen anscheinend zwei Kriterien erfüllt sein: Die zu vergleichenden Mengen müssen größer als 3 sein und sollten zueinander ein Verhältnis von 1:2 haben (bzw. kleiner als 2:3 und damit möglichst weit entfernt von 1), d.h. die Differenz beider Mengen sollte möglichst groß sein (Distanzeffekt). Je größer der Unterschied zwischen zwei Mengen, desto wahrscheinlicher wird er entdeckt. Im Laufe des



ersten Lebensjahres verbessert sich die Mengenunterscheidungskompetenz, so dass mit 10 Monaten bereits Anzahlen im Verhältnis von 2:3 diskriminiert werden können (Xu & Arriaga, 2007).

2.2.2 Höhere quantitative Aufgaben

Anspruchsvoller als die einfache Mengendiskrimination sind quantitative Aufgaben wie das Bestimmen der Gleichheit, der Ordinalität (Bildung einer Rangreihe nach der Größe der Menge) oder der Transformation von Mengen (Addition, Subtraktion). Die Forschungslage zu diesen Bereichen des mathematischen Denkens ist für die frühe Kindheit weniger eindeutig als für die einfache Mengendiskrimination. Insgesamt scheinen sich komplexe quantitative Kompetenzen erst ab dem Ende des ersten Lebensjahres zu entwickeln, wobei auch hier kontrovers diskutiert wird, ob die beobachteten Leistungen tatsächlich auf ein frühes numerisches Verständnis oder auf das Beachten nicht-numerischer Informationen zurückgehen.

Äquivalenz von Anzahlen

Können Säuglinge die Gleichheit von Mengen erkennen, wenn sich die Elemente beider Mengen in allen möglichen Dimensionen unterscheiden, außer in der Anzahl? In kreuzmodalen Studien (cross modal matching) schauen schon sieben Monate alte Kinder länger auf die Anzahl von Objekten (2 oder 3), die mit der Anzahl gleichzeitig gehörter Trommelschläge (2 oder 3) übereinstimmt (Starkey et al., 1990). Allerdings gibt es auch Studien, in denen die Kinder länger das von der Anzahl her nicht übereinstimmende Bild betrachten (Mix, Levine & Huttenlocher, 1997; Moore, Benenson, Reznick, Peterson & Kagan, 1987).

Ähnlich wie in den Studien zur Mengendiskrimination ist noch etwas umstritten, ob die Kinder tatsächlich die numerische Information der Anzahl nutzen und nicht vielmehr auf nicht-numerische Hinweisreize wie Dauer und Rate der präsentierten Stimuli achten. Die Blickzeitpräferenzen in kreuzmodalen Matching-Studien scheinen außerdem vom Anregungsgehalt der Reize und dem Erregungszustand des Kindes abzuhängen, welches bei Unterstimulierung den Blick eher zuwendet als bei Überstimulierung durch die dargebotenen Reize (Suche nach optimaler Erregung; Cohen, 1969; Hunter & Ames, 1988). Da es zudem ältere Kinder bis zum Alter von etwa vier Jahren noch nicht schaffen, die Anzahl von Geräuschen mit der Anzahl abgebildeter Punkte richtig in Bezug zu setzen, kann noch nicht sicher davon ausgegangen werden, dass schon Säuglinge die numerische Gleichheit von Mengen erkennen (Mix, Huttenlocher & Levine, 1996; Mix et al., 2002a). Allerdings gilt es zu beachten, dass im Alltag die Anzahl von Elementen ja faktisch auch mit anderen Hinweisreizen wie Fläche, Länge der Außenlinien u.a. zusammenhängt. Wie die bislang zitierten Studien demonstrieren, sind schon Babys für solche Hinweisreize sensitiv und verfügen daher durchaus über die Fähigkeit, Erfahrungen mit Mengenveränderungen zu verarbeiten.

Ordinalität von Anzahlen

Gibt es ein vorsprachliches Verständnis der Ordinalität von Mengen? Wissen Babys also, dass z.B. drei nicht nur etwas anderes als zwei, sondern auch mehr

als zwei bzw. weniger als vier sind? Das Erkennen solcher ordinaler Relationen ist ein zentraler Schritt in der Entwicklung eines reifen numerischen Verständnisses der Organisation von Zahlssystemen.

In Experimenten zum Diskriminationslernen konnten 16 bis 18 Monate alte Kleinkinder durch Belohnung lernen, in paarweisen Abbildungen (z.B. ein vs. zwei Punkte) gezielt jeweils die „mehr“- bzw. „weniger“-Seite zu berühren (Strauss & Curtis, 1981). In der Testphase mit neuen Quantitäten konnten die Kinder die gelernte Antwort richtig übertragen, allerdings nur bei einem Training mit sehr kleinen Anzahlen (eins bis drei) und dem Lernen der „weniger als“-Antwort. In einer Greifaufgabe zum Erkennen von Größer-Kleiner-Relationen von Feigenson, Carey und Hauser (2002) hingegen wählten 10 und 12 Monate alte Kinder spontan jeweils die größere Menge an Crackern aus; jedoch waren sie nur beim Vergleich kleiner Mengen wie 2 vs. 1 und 3 vs. 2 erfolgreich und sie scheiterten beim Vergleich größerer Quantitäten (3 vs. 4, 2 vs. 4, 3 vs. 6) (vgl. auch Feigenson & Carey, 2005).

In einer Habituationsstudie von Cooper (1984) wurden 10 bis 16 Monate alte Kinder an eine Abfolge von jeweils zwei Abbildungen unterschiedlicher Quantitäten gewöhnt (weniger-mehr Reihenfolge: z.B. 2 gefolgt von 3, bzw. mehr-weniger Reihenfolge: z.B. 3 gefolgt von 2) und anschließend mit jeweils neuen Quantitäten in derselben Relation (Anzahlveränderung in bekannter Richtung), in einer Gleichheitsrelation (Abfolge gleicher Anzahlen ohne Richtung) oder in der umgekehrten Relation mit Richtungswechsel (Anzahlveränderung in umgekehrter Richtung) getestet. Cooper fand, dass 14 bis 16 Monate Kinder erstaunt auf Gleichheit der Mengen (keine Richtung mehr) und auf den Richtungswechsel in der Ordinalität reagierten, während 10 bis 12 Monate alte Kinder nur dishabituieren, wenn die Testabbildungen eine jeweils gleiche Anzahl von Punkten (keine Richtung mehr) aufwiesen. Die jüngeren Kinder schienen also in der Habituationsphase nur eine „anders als“-Relation zwischen den Anzahlen enkodiert zu haben; erst die älteren Kinder lernten die gerichtete Relation von „mehr als“ bzw. „weniger als“ in der Anzahlenabfolge. Noch jüngere Kinder (6-7 Monate) zeigten bei Cooper keinerlei konsistente Habituation oder Dishabituation in einer ähnlichen Aufgabe.

Die Sensitivität für die Ordinalität von Mengen scheint sich damit erst ab dem Ende des ersten Lebensjahres und besonders ab 14 Monaten zu entwickeln, wenn auch die Sprachentwicklung große Fortschritte macht. In den genannten Habituationsstudien bleibt jedoch letztlich unklar, ob das Erkennen von mehr-weniger Relationen auf einem numerischen Verständnis basieren oder anhand nicht-numerischer Hinweisreize wie Fläche, Dichte etc. getroffen werden. Eine hierfür besser kontrollierte visuelle Studie von Brannon (2002) konnte ein Verständnis von Ordinalitätsrelationen (Mengen zwischen 1 und 16) bereits bei 11 Monate alten Kindern nachweisen, während 9 Monate alte Kinder noch keine Relationen zwischen Punktanzahlen, dafür jedoch von kontinuierlichen Größenabfolgen (Quadrate unterschiedlicher Größe) erlernen konnten.

Quantitative Transformationen

Nachdem man lange der Auffassung war, dass Kinder erst ab dem Schulalter in der Lage seien, quantitative Transformationen wie Addition und Subtraktion

zu verstehen, berichteten verschiedene Säuglingsforscher erstaunliche Befunde zum Rechenvermögen von Kindern im ersten Lebensjahr (McCrink, K. & Wynn, K., 2004, 2007, 2008, 2009; Simon, Hespos & Rochat, 1995; Uller et al., 1999; Wynn, 1992a). Im so genannten Erwartungs-Verletzungs-Paradigma werden die Kinder z.B. an eine bestimmte Anzahl von Puppen auf einer Bühne gewöhnt. Nachdem ein Wandschirm die Puppen verdeckt hat, erscheint eine Hand und schiebt eine weitere Puppe hinter den Schirm bzw. holt eine der Puppen hinter dem Wandschirm hervor. Anschließend fährt der Schirm hoch und die Kinder sehen die korrekte Anzahl (neues, aber erwartetes Ereignis) vs. eine inkorrekte Anzahl von Puppen (vertrautes, aber unerwartetes Ereignis). Schon fünf Monate alte Säuglinge schauen hierbei länger auf das mathematisch unmögliche Ereignis.

Während die oben genannten Autoren von „wahren numerischen Konzepten“ ausgehen (Wynn, 1992a, S. 750), über welche die Säuglinge bereits verfügen und mithilfe derer sie das korrekte Ergebnis von Mengenveränderungen antizipieren können, wenden andere Forscher ein, dass bei der Interpretation dieser Blickzeitenergebnisse allgemeine Aufmerksamkeitsprozesse und -präferenzen zu berücksichtigen seien (Cohen & Marks, 2002). Da junge Säuglinge prinzipiell lieber dahin schauen, wo mehr zu sehen ist, und in komplexen Displays im Test häufig länger das eher vertraute Ereignis betrachten, kann das Ergebnismuster der Additions-/Subtraktionsstudien auch durch Familiaritätspräferenzen in Kombination mit einer Präferenz für mehr Objekte erklärt werden.

Zusätzlich verändert sich bei quantitativen Transformationen wiederum die Fläche der dargebotenen Stimuli, die Konturenlänge und andere perzeptuelle Variablen, so dass eine Antizipation des korrekten Transformationsergebnisses nicht speziell auf numerische Kompetenzen zurückgeführt werden kann.

Tatsächlich liegt mit neueren Arbeiten direkte Evidenz dafür vor, dass fünf Monate alte Säuglinge deutlich auf eine Veränderung der Fläche bei gleich bleibender Anzahl (Gao, Levine & Huttenlocher, 2000) und auf Veränderungen in räumlichem Abstand und Ausdehnung reagieren (Newcombe, Huttenlocher & Learmonth, 1999). Gibt man Säuglingen die Wahl zwischen Testereignissen, die sich in der Anzahl der Elemente unterscheiden, und solchen, die in der Gesamtausdehnung (Fläche, Konturenlänge oder beidem) variieren, so löst die numerische Veränderung allein keine Neuheitsreaktion aus (Clearfield & Mix, 1999; Feigenson, Carey & Spelke, 2002). Auch in einer Abwandlung von Wynns (1992a) Rechenaufgabe, in der die Stimuli nicht nur in der Anzahl, sondern auch in der Größe variiert wurden (z.B. zwei kleine Puppen ergibt eine große Puppe), reagierten die Säuglinge nicht mehr erstaunt auf eine unerwartete Anzahl von Puppen, sondern nur auf eine unerwartete Gesamtmenge an Fläche (Feigenson, Carey & Spelke, 2002).

Während Kinder also ab der Mitte des ersten Lebensjahres Transformationen einer Flächengröße anscheinend richtig antizipieren können, konnte die Fähigkeit zur Addition und Subtraktion von diskreten Elementen im Säuglingsalter noch nicht eindeutig nachgewiesen werden. Einige Studien versuchen, numerische und nicht-numerische Hinweisreize voneinander zu trennen und weisen auf erfolgreiche Transformationen mit größeren Quantitäten (5 plus 5 und 10 minus 5) im Alter von neun Monaten (McCrink & Wynn, 2004)

und sogar intermodale Rechenkompetenzen im Alter von fünf Monaten hin (Kobayashi, Hiraki, Mugitani & Hasegawa, 2004). Sechs Monate alte Säuglinge scheinen außerdem bereits probabilistisch zu denken und von Stichproben auf größere Populationen schließen zu können (Denison, Reed, & Xu, 2012).

2.2.3 Zusammenfassung mathematischer Kompetenzen im Säuglingsalter

Säuglinge können schon sehr früh, spätestens ab Mitte des ersten Lebensjahres, Mengen unterschiedlicher Anzahlen unterscheiden (wenn die absolute Anzahl der Menge > 3 ist und die größere Menge mindestens doppelt so groß ist wie die kleinere). Diese Unterscheidungskompetenz verbessert sich im Laufe des ersten Lebensjahres, so dass mit knapp einem Jahr auch Mengenzahlen im Verhältnis 2:3 unterschieden werden können. Auch über die Ergebnisse von Mengenveränderungen bilden Säuglinge bereits Mitte des ersten Lebensjahres korrekte Erwartungen aus, verstehen also, dass eine Gesamtmenge mehr bzw. weniger wird, wenn etwas dazukommt oder abgezogen wird. Die Gleichheit und Ordinalität von Mengen können sie jedoch erst deutlich später erkennen. Während sich das Ordinalitätsverstehen im zweiten Lebensjahr zu entwickeln scheint (Vorläufer sind ab Ende des ersten Lebensjahres zu beobachten), können Kinder anscheinend erst im Vorschulalter (ab etwa vier Jahren) die numerische Gleichheit von Mengen sicher bestimmen. Auch das Ordinalitätsprinzip wird erst dann wirklich verstanden (vgl. Tabelle 1).

Diese frühkindlichen Kompetenzen konnten bisher jedoch nicht sicher auf ein spezifisch numerisches Verständnis der Anzahl einzelner Elemente zurückgeführt werden. Mix und Mitautorinnen konstatieren: „There is no need to posit a representation of discrete number in infancy in order to explain the current findings“ (Mix et al., 2002a, S. 290). Vielmehr scheinen Kinder in erster Linie kontinuierliche, nicht-numerische Hinweisreize wie die Gesamtfläche, die Konturlänge oder die räumliche und zeitliche Ausdehnung zu berücksichtigen, wenn sie über Mengengröße und Mengentransformationen nachdenken. Diese Sensitivität für kontinuierliche Hinweisreize im Säuglingsalter scheint durchaus sinnvoll, wenn man bedenkt, dass eine diskret-numerische Repräsentation in diesem Alter durch das Fehlen sprachlicher Symbole (Zahlwörter) bzw. die begrenzte Gedächtnisfähigkeit (Anzahl der gleichzeitig repräsentierbaren Object Files) stark eingeschränkt ist. In der Tat scheinen die frühkindlichen Quantifizierungsleistungen auf eine biologisch verankerte Fähigkeit zur analogen, geschätzten Mengenrepräsentation zurückzugehen.

2.2.4 Kleine versus große Mengen: Zwei Systeme numerischer Repräsentation

Bereits im Säuglingsalter kann zwischen der Verarbeitung kleiner und größerer Quantitäten unterschieden werden. Es gibt Hinweise auf zwei Kernsysteme numerischer Repräsentation, die sich auch neurologisch unterschiedlich abbilden (z.B. Carey, 2009; Hyde & Spelke, 2011; Spelke, 2011). Für den Umgang mit größeren Mengen (ab 5) scheint es einen intuitiven analogen Mengensinn zu geben, der Mengenzahlen im Sinne einer ungefähren Größenschätzung

analog repräsentiert. Der Umgang mit kleinen Anzahlen (1 bis 3 oder max. 4) scheint hingegen einem separaten, automatischen Prozess der Objektwahrnehmung zu unterliegen, dem so genannten Subitizing.

Intuitiver analoger Mengensinn

Der Umgang mit größeren Mengen scheint einem intuitiven analogen Mengensinn zu unterliegen, der Quantitäten im Sinne einer eher ungenauen Größenschätzung repräsentiert. Mit analog ist gemeint, dass Mengen mit mehr Elementen auch als größer wahrgenommen werden, wobei es sich nur um grobe Schätzungen handelt und nicht um den Vergleich exakter Anzahlen von Elementen. Dieser Mengensinn liegt den mathematischen Kompetenzen von Säuglingen im Umgang mit Mengen größer 5 zugrunde und findet sich in vergleichbarer Form im Tierreich, was auf eine biologische Verankerung hinweist (vgl. Dehaene, 1997; Gallistel, 1990; Goswami, 2008).

Ein zentrales Kennzeichen dieser analogen Mengenrepräsentation ist der bereits genannte Distanzeffekt bzw. die Verhältnisabhängigkeit bei Mengenunterscheidungen, der bei Menschen und Tieren auftritt. Wie Säuglingen fällt es Ratten (in Hebeldruck-Experimenten) umso schwerer, zwei Mengenzahlen zu diskriminieren, je geringer ihre Differenz ist (Mechner, 1958; Mechner & Guevrekian, 1962; Meck & Church, 1983). Diese Abhängigkeit der Unterscheidungsleistung von der Differenz der zu vergleichenden Anzahlen, d.h. vom Weberschen Gesetz (s.u.), ist auch bei Erwachsenen zu beobachten. Sind die Präsentationszeiten so kurz, dass verbales Zählen ausgeschlossen ist, fällt es Erwachsenen deutlich schwerer, Punktmengen zu schätzen und zu vergleichen, die nur eine geringe Differenz zueinander aufweisen (Van Oeffelen & Vos, 1982). Interessanterweise tritt bei Erwachsenen auch ein symbolischer Distanzeffekt auf:

Soll entschieden werden, ob eine Ziffer zwischen 1 und 9 größer oder kleiner als 5 ist, werden die Reaktionszeiten umso länger, je dichter sich die Ziffer an 5 befindet (Moyer & Landauer, 1967). Ein vergleichbares Phänomen tritt bei der Unterscheidung physikalischer Entitäten wie der Länge von Linien oder der Helligkeit von Flächen auf: Die Differenz der zu vergleichenden Entitäten muss mit zunehmender Reizintensität zunehmen, um eine Unterscheidung noch zu ermöglichen; der Standardreiz und die gerade noch wahrnehmbare Differenzschwelle stehen damit in einem konstanten Verhältnis zueinander, welches eine gewisse Größe nicht unterschreiten darf (Webersches Gesetz). Die Gültigkeit des Weberschen Gesetzes für den Vergleich von Mengen, Ziffern und physikalischen Entitäten weist auf einen grundlegenden analogen Kodierungsprozess hin, der für alle Säugetiere inklusive des Menschen biologisch angelegt zu sein scheint (Moyer & Landauer, 1967).

Befunde zur neurologischen Basis stützen die Annahme einer evolutionär bedingten Fähigkeit zur analogen Mengenschätzung. EEG- und fMRI-Studien mit Erwachsenen und Vorschulkindern verorten den analogen Mengensinn in Strukturen des intraparietalen Kortex, einer Hirnregion, die auch für das räumliche Denken wichtig ist (Cantlon, Brannon, Carter & Pelphey, 2006; Dehaene, Dehaene-Lambertz & Cohen, 1998; Dehaene, Spelke, Pinel, Stanesco & Tsivkin, 1999; Pinel, Dehaene, Rivière & LeBihan, 2001; Temple & Posner, 1998).



Ein zweites Kennzeichen des analogen Mengensinns ist die so genannte skalare Variabilität. Damit ist gemeint, dass die Repräsentation einer Menge oder Zahl mit zunehmender Größe unschärfer wird, d.h. je größer die Menge ist, die geschätzt werden soll, desto größer sind auch die Fehler bei der Schätzung (Streuung). Dies gilt für Menschen in Schätzaufgaben, wie für Säugetiere, z.B. Ratten und Affen (Dehaene et al., 1998; Meck & Church, 1983; Washburn & Rumbaugh, 1991). Das Verhältnis zwischen der Standardabweichung

und dem Mittelwert einer numerischen Schätzung (COV: coefficient of variation) bleibt jedoch relativ konstant (Gallistel & Gelman, 1992; 2000; Whalen, Gallistel & Gelman, 1999). Das Auftreten skalarer Variabilität gilt damit als ein Marker des analogen Zahlensinns.

Während das Phänomen der skalaren Variabilität bei Erwachsenen und anderen Säugetieren zu finden ist und bereits bei Kindern im Vorschulalter (5-7 Jahre) in erwachsenenähnlicher Form bei Schätzaufgaben beobachtet werden kann (Huntley-Fenner, 2001; siehe aber Siegler & Opfer, 2003), ist seine Gültigkeit für die Zahlenverarbeitung in der frühen Kindheit, insbesondere im Umgang mit kleinen Mengen, noch umstritten (vgl. Le Corre & Carey, 2007, sowie Stellungnahme Gallistel, 2007). Für Mengen zwischen 1 und 4 wird ein vom analogen Mengensinn separater Prozess der Mengen- bzw. Objektverarbeitung angenommen: das so genannte Subitizing.

Subitizing und parallele Individuation

Wenn kontinuierliche visuelle Hinweisreize wie Fläche und Konturenlänge kontrolliert werden, gelingt es jungen Säuglingen nicht, kleine Mengen zu diskriminieren (1 vs. 2 oder 2 vs. 4 Punkte), während sie größere Mengen (4 vs. 8, 8 vs. 16, 16 vs. 32) nach wie vor erfolgreich unterscheiden können (Xu, 2003; Xu & Spelke, 2000; Xu et al., 2005). Dieser Befund wirft Fragen bezüglich der Repräsentation speziell kleiner Mengen auf, da das Mengenverhältnis in beiden Fällen 1:2 beträgt und daher mit Hilfe einer analogen Mengenrepräsentation zu unterscheiden sein sollte. Werden visuelle Hinweisreize dagegen nicht kontrolliert, können Säuglinge hervorragend 1 vs. 2 und 2 vs. 3 Kekse unterscheiden, scheitern aber an 2 vs. 4, 3 vs. 4 und 3 vs. 6 (Feigenson & Carey, 2005; Feigenson et al., 2002).

Es scheint also so etwas wie eine „magische Zahlengrenze“ von 3 bis 4 zu existieren: Sobald eine der zu vergleichenden Mengen diese Zahl überschreitet, bricht die Diskriminierungskompetenz im Säuglingsalter ein. Auch Erwachsene zeigen in Mengenidentifikations-Aufgaben erst ab vier und mehr Elementen einen kontinuierlichen Anstieg ihrer Reaktionszeiten mit jedem Item (jeweils um 300ms), während sich die Reaktionszeiten bei Mengen zwischen 1 und 3 kaum unterscheiden (Kaufman, Lord, Reese & Volkman, 1949). Men-

schen und andere Säugetiere scheinen über die Fähigkeit zu verfügen, kleine Mengen auf einen Blick zu erfassen und damit geistig operieren zu können, ohne zählen zu müssen. Dieser sehr schnelle, automatische Prozess der Repräsentation von Mengen mit geringem Umfang wird Subitizing genannt und ist von der analogen Repräsentation größerer Mengen abzugrenzen.

Welcher Prozess der Verarbeitung kleiner Mengen zugrunde liegt, ist bisher noch ungeklärt. Der bekannteste Erklärungsansatz ist das „Object File“-Modell oder Modell der „parallelen Individuation“ (vgl. Baillargeon & Carey, in press; Feigenson, Dahan & Spelke, 2004), welches postuliert, dass eine kleine Anzahl von Objekten (maximal 3 bis 4) parallel wahrgenommen und individuiert werden kann. Hierfür wird für jedes Objekt ein eigenes „Object File“ im Geist eröffnet, welches bestimmte Merkmale des wahrgenommenen Objekts enthält, z.B. dessen Größe. Dieses Modell ist damit kein spezifisch numerisches Modell, sondern beschreibt einen allgemeinen Aufmerksamkeits- und Objektwahrnehmungs-Mechanismus. Es erklärt, warum die Verarbeitung kleiner Mengen im Säuglingsalter stark von visuellen Merkmalen der Stimuli (z.B. der eingenommenen Fläche) beeinflusst wird. Werden diese Variablen experimentell ausgeschaltet, bricht die numerische Unterscheidungsleistung ein (vgl. Xu, 2003). Le Corre und Carey (2007) gehen sogar davon aus, dass parallele Individuation der einzige Prozess ist, welcher die Verarbeitung kleiner Mengen bestimmt und eine analoge Größenrepräsentation keine Rolle spielt. Gallistel und ihre Kollegen bezweifeln dies jedoch und diskutieren die Frage, ob und wie ein allgemeiner Mechanismus der Objektindividuation, dessen Funktion die parallele Repräsentation einer Reihe von Objekten inklusive bestimmter Identifizierungsmerkmale ist, eine übergreifende, von speziellen Merkmalen explizit unabhängige Anzahl-Repräsentation abstrahieren kann (Gallistel, 2007; Leslie, Gelman & Gallistel, 2008). Es gibt Befunde bei Erwachsenen und Säugetieren, die auf eine analoge Repräsentation auch kleiner Mengen hinweisen (Brannon & Terrace, 1998; Cantlon & Brannon, 2007; Cordes, Gelman, Gallistel & Whalen, 2001; van Marle & Wynn, 2009). Cantlon, Safford & Brannon (2010) gehen davon aus, dass Anzahl in einem einzigen, kohärenten numerischen Kontinuum repräsentiert wird.

Denkbar ist auch, dass sowohl die Öffnung von Object Files als auch die analoge Mengenrepräsentation die frühe Mengenverarbeitung bestimmen. Schließlich wurden beide Mechanismen (je nach experimenteller Aufgabe) bei Säuglingen, bei Erwachsenen wie auch bei höheren Säugetieren beobachtet. Es scheinen damit zwei angeborene, doch klar unterscheidbare Prozesse der intuitiven Mengenverarbeitung zu existieren. Beiden Prozessen ist allerdings speziesübergreifend gemeinsam, dass sie nicht auf einem exakten numerischen Verständnis von diskreten Einheiten zu beruhen scheinen, sondern eher ungenaue Schätzungen darstellen, die von kontinuierlichen Wahrnehmungsmerkmalen beeinflusst werden. So sind z.B. Ratten trotz guter ungefährender analoger Mengenrepräsentation unfähig zu einer exakten numerischen Antwort (Mechner, 1958; Mechner & Guevrekian, 1962; Meck & Church, 1983). Auch die Parallelen der numerischen und physikalischen Wahrnehmung in Abhängigkeit vom Weberschen Gesetz weist auf die Bedeutung eines grundlegenden auf kontinuierlicher Wahrnehmung beruhenden Schätzprozesses hin. Die mangelnde Fähigkeit zur diskret-exakten Zahlenrepräsentation bei Säuglingen und Tieren im Gegensatz zur gut ausgeprägten,

eher kontinuierlich geschätzten Mengenrepräsentation erscheint auch aus biologischer Sicht sinnvoll: Geht es etwa um Nahrung, ist die verfügbare Gesamtmenge von größerer Bedeutung als die genaue Anzahl vorhandener Elemente. So bevorzugen knapp einjährige Kinder auch eindeutig einen riesigen Keks gegenüber zwei kleineren Keksen von insgesamt weniger Gesamtfläche; stehen dagegen ein großer Keks versus zwei kleine Kekse von jeweils gleicher Gesamtfläche zur Wahl, tritt keine systematische Bevorzugung auf (Feigenson et al., 2002; vgl. auch Van Marle & Wynn, 2011).

Hypothese der undifferenzierten Gesamtmenge

In ihrem Erklärungsansatz zur quantitativen Entwicklung vertritt Kelly Mix die Hypothese der „undifferenzierten Menge“ (Undifferentiated Amount Hypothesis, Mix et al., 2002a). Hiernach nehmen Säuglinge kontinuierliche wie nicht-kontinuierliche Einheiten stets als Ganzes wahr und repräsentieren die Gesamtmenge (total amount), unabhängig davon, ob es sich um eine solide Masse, um zusammenhängende Einheiten oder um diskrete, räumlich getrennte Elemente handelt. Im Gegensatz zur diskret-numerischen Repräsentation sind Repräsentationen einer kontinuierlichen Gesamtmenge, z.B. von Sand, immer ungefähre Schätzungen. Selbst wenn Maßeinheiten für eine präzisere Erfassung verwendet werden, bleibt die Messung ungenau, da Materie fast unendlich teilbar ist und immer kleinere Maßeinheiten die Messgenauigkeit erhöhen. Für nicht kontinuierliche Einheiten dienen kontinuierliche Hinweisreize wie die Konturenlänge oder die Fläche als Grundlage der Mengenschätzung (Mix et al., 2002a). Umgibt man Reihen von 4 vs. 6 Punkten mit einer kontinuierlichen Umrandung, scheinen sogar schon sechs Monate alte Kinder den Unterschied (Mengenverhältnis 2:3) zu bemerken (Tan & Bryant, 2000).

Die Genauigkeit der Repräsentation hängt vermutlich auch vom Vorhandensein einer Referenzgröße ab: Der Unterschied zwischen sechs und drei Keksen könnte z.B. anhand der Wahrnehmung „der Teller ist voll statt halbvoll“ erkannt werden. Huttenlocher, Duffy und Levine (2000, zitiert nach Mix et al., 2002a) stellten fest, dass schon sechs Monate alte Kinder Referenzgrößen (durchsichtiger Container) zum Unterscheiden der Größe bzw. Länge von Gegenständen nutzen. Referenzgrößen scheinen somit eine wichtige, wenn nicht notwendige Rolle für das frühe Quantifizieren zu spielen. In typischen Säuglingsstudien zur Quantifizierungskompetenz ist in der Regel immer ein Display als Referenz zur Einschätzung der gegebenen Stimuli vorhanden (Präsentationshintergrund, Bühne, etc.).

Kontinuierliche, nicht-numerische Hinweisreize scheinen für die Entwicklung der Quantifizierungskompetenz von zentraler Bedeutung zu sein. Während frühere Studien nach Belegen für ein diskretes, numerisches Verständnis in der frühen Kindheit suchten, untersuchen heutige Studien vermehrt, welche nicht-numerischen, kontinuierlichen Hinweisreize Säuglinge zur Unterscheidung von Mengen nutzen. Die frühe, anscheinend biologisch verankerte Fähigkeit, Mengen unterschiedlicher Gesamtgröße zu repräsentieren wird dabei als wichtiger Vorläufer des späteren diskreten Zahlenverständnisses gesehen.

Eine der spannendsten Forschungsfragen im Bereich der mathematischen Entwicklung besteht darin, wie aus der anfänglichen kontinuierlichen Mengenschätzung die exakte, diskrete Zahlenrepräsentation entsteht, welche erst

fortgeschrittene Zähl- und Rechenkompetenzen ermöglicht. Für exakte Anzahlrepräsentationen spielt die Verfügbarkeit von Symbolen wie Zahlwörtern und Ziffern eine entscheidende Rolle. Mit seinen großen Fortschritten in der sozialen und Sprachentwicklung ist das Kleinkindalter für die Entwicklung vom präverbalen, impliziten Mengenverständnis zum Verständnis diskreter Zählprinzipien (z.B. der 1-zu-1-Zuordnung) die wohl bedeutsamste Entwicklungsphase.

2.3 Mathematische Kompetenzen im Kleinkindalter (2 – 3 Jahre)

Zwischen zwei und vier Jahren erwerben Kinder das konventionelle Zählsystem (vgl. Baillargeon & Carey, in press; Gelman & Gallistel, 1978; 1986; Mix et al., 2002a; Wagner & Walters, 1982; Wynn, 1990, 1992b). Fast von dem Moment an, in dem sie zu sprechen beginnen, sind auch Zahlwörter in ihrem Vokabular enthalten. Schon Kleinkinder benennen spontan kleine Mengen und lernen die Zahlwortreihe zu sprechen. Mit zwei Jahren scheinen Kinder Zahlworte bereits in systematischer Weise zu benutzen, mit drei Jahren können sie von 1 bis 5 zählen und dabei auf Objekte deuten (Gelman, & Gallistel, 1978). Im Alter von zwei bis vier Jahren entwickelt sich auch die Fähigkeit, gleichgroße Mengen einander zuzuordnen (Mix, 1999; Mix et al., 1996) und einfache Rechenoperationen mit Bauklötzen durchzuführen (Huttenlocher, Jordan & Levine, 1994; Levine, Jordan & Huttenlocher, 1992). Es dauert allerdings mehrere Jahre, bis Kinder das Zeigen, Zählen und Aufteilen von Mengenelementen sicher koordinieren können, und bis sie wichtige Zählprinzipien wie die 1-zu-1-Zuordnung zwischen Objekt und Zahlwort, die stabile Reihenfolge der Zahlwortreihe oder das Kardinalitätsprinzip verstanden haben. Mit anderen Worten: Sie lernen, wie man durch das Zählen die exakte Größe einer Menge ermitteln kann (Fuson, 1988; Wagner & Walters, 1982; Wynn, 1990; 1992b). Gleichwohl entwickeln sich in den Kleinkindjahren wichtige Vorläufer der späteren Zählkompetenz. Da Kinder bereits Mengen gleicher Anzahl richtig zuordnen können, bevor sie über gute sprachliche Zählfertigkeiten verfügen, scheint die Fähigkeit zur nicht-verbalen diskret-numerischen Repräsentation im Übergang zwischen dem Säuglings- und dem Kleinkindalter zu entstehen (Mix et al., 2002a). Wie ist diese Repräsentation beschaffen?

2.3.1 Entstehung des diskreten Zahlenkonzeptes

Wie entsteht das diskret-exakte Zahlenverständnis aus der anfänglichen, eher ungenauen Mengenrepräsentation? Neben Fortschritten im Symbolverständnis und in der Sprachentwicklung scheinen soziale Aktivitäten für diese kognitive Errungenschaft eine große Rolle zu spielen. Die Einführung in unser konventionelles Zahlssystem ist eine kulturelle Leistung, die von Erwachsenen und älteren Kindern an die jüngeren weitergegeben wird.

Ansatz der mentalen Modelle

Huttenlocher, Jordan und Levine (1994) nehmen an, dass Kleinkinder jedes Objekt in einer Menge mit einem symbolischen Zeichen (Token) versehen.

Dieses mentale Modell kann je nach Aufgabe unterschiedliche Inhalte enthalten, z.B. die Farbe und Form der Objekte in einer Identifikationsaufgabe bzw. die Anzahl und Ausdehnung der Objekte in einer Zählaufgabe. Im letzteren Fall würde eine sehr simple Repräsentation ausreichen, da das Aussehen der Objekte für die Bestimmung ihrer Anzahl irrelevant ist.

Das Token-Modell für das Kleinkindalter von Huttenlocher und Kolleginnen weist Ähnlichkeiten zum Object File-Modell des Säuglingsalters auf (Simon, 1997; Uller et al., 1999), unterscheidet sich aber in wichtigen Annahmen (vgl. Mix, Huttenlocher & Levine, 2002b), z.B. zur Entstehung dieser Repräsentationsfähigkeit. In Abgrenzung zu Ansätzen, die Kindern Zählfähigkeiten schon ab der Geburt oder in den ersten Lebensmonaten zuschreiben, nehmen Huttenlocher und Mix an, dass erst konkrete Erfahrungen mit 1-zu-1-Zuordnungen im Kleinkindalter den Anstoß zur Entwicklung der diskret-numerischen Repräsentationsfähigkeit geben (Mix, 2002; Mix et al., 2002a).

Diskrete versus kontinuierliche Quantifizierung

Wie erkennen Kinder, dass Quantitäten sowohl kontinuierlich (eher in ihrer Ausdehnung) als auch diskret (als einzelne Elemente) wahrgenommen werden können? Wenn alle Quantitäten zunächst nur kontinuierlich als Gesamtmenge wahrgenommen werden, wie wird dann das Konzept der diskreten Zählweise verstanden? Mix und Kolleginnen (Mix et al., 2002a; 2002b) nehmen an, dass zwischen diskreter und kontinuierlicher Quantifizierung bestimmte konzeptuelle und funktionelle Differenzen bestehen und beide daher in jeweils verschiedenen Situationen sinnvoll sind. Durch Erfahrungen lernen Kinder nach und nach, die Signale für den jeweils passenden Quantifizierungsmodus zu erkennen, d.h. sie erkennen, wann eine grobe Gesamtschätzung ausreicht und wann exaktes Zählen informativer ist.

Die Quantifizierung anhand der Anzahl ist typischerweise für Entitäten sinnvoll, die ihre Eigenschaften verändern, wenn sie geteilt werden, z.B. ist ein halber Elefant kein Elefant mehr, eine halbe Schaufel nicht mehr funktionsfähig. Die Quantifizierung anhand der Gesamtmenge ist dagegen für homogene Substanzen sinnvoll, die in ihren Eigenschaften bei Unterteilung gleich bleiben, wie Sand oder Wasser. Einige Dinge können sowohl diskret als auch kontinuierlich quantifiziert werden, z.B. können Lebensmittel wie Kekse sowohl einzeln gezählt als auch als Gesamtmenge in Gramm gewogen werden.

Auch die Voraussetzungen für das Messen unterscheiden sich zwischen diskreten und kontinuierlichen Quantitäten. Das Messen kontinuierlicher Substanzen wie Wasser mit Maßeinheiten bedeutet, eine Menge zunächst in einzelne Einheiten zu unterteilen und jeweils mit Maßeinheiten zu versehen, die dann zusammengezählt werden können. Bei diskreten Elementen ist dieser Unterteilungsprozess schon geschehen, einzelne Entitäten sind per Definition voneinander separiert. Bei kontinuierlichen Mengen muss der Messende dagegen selbst die Einheiten einteilen, die Maßeinheiten zuordnen und zählen: Das Messen kontinuierlicher Mengen erfordert damit mehr Wissen und Aufwand seitens der messenden Person als die Erfassung diskreter Elemente.

Schließlich unterscheidet sich die erreichbare Präzision diskreter und kontinuierlicher Quantifizierung. Die Anzahl diskreter Elemente kann exakt be-

stimmt werden, indem die einzelnen Objekte bestehenden und geordneten Messsymbolen wie etwa Zahlwörtern zugeordnet werden. Die Quantifizierung kontinuierlicher Mengen bleibt immer nur eine Annäherung: Man unterteilt eine Substanz in Einheiten, die man messen kann. Allerdings ist immer eine noch feinere Unterteilung möglich, die mit noch kleineren Maßeinheiten messbar ist; damit wird die Messung zwar zunehmend genauer, bleibt aber trotzdem nur eine Annäherung, da Substanzen fast unendlich teilbar sind.

Wie lernen Kinder nun den Unterschied zwischen kontinuierlicher und diskreter Quantifizierung und wie erwerben sie die notwendigen Voraussetzungen für die jeweils passende Anwendung und für Fertigkeiten wie das Zählen?

Voraussetzungen der Zählkompetenz

Eine der größten mathematischen Entwicklungsaufgaben im Kleinkindalter ist das Verständnis des exakten Quantifikationsprozesses, der nur im Bereich separierbarer Einheiten angewendet wird: das konventionelle Zählen. Die Vorstellung, dass diskrete und kontinuierliche Quantifizierung distinkte Prozesse sind, die in jeweils verschiedenen Kontexten sinnvoll angewendet werden können, entsteht vermutlich parallel bzw. schon vor der Anwendung der ersten Zahlwörter.

Sobald Kinder zu verstehen beginnen, dass Zählen zu einer größeren Genauigkeit führt als Schätzen, versuchen sie typischerweise diese Methode anzuwenden, wo immer es geht (Mix et al., 2002a). In Situationen, wo die Zählmethode nicht sinnvoll anwendbar ist, z.B. Sandkörner zählen, entsteht ein Kontrast zu Situationen, in denen das Zählen funktional ist, wie etwa beim Abzählen von Murmeln. In Bezug auf kontinuierliche Substanzen ist Zählen nicht besonders informativ, z.B. bleibt ein Haufen Sand ein Sandhaufen, auch wenn er doppelt so groß ist. Bei Dingen wie Schaufeln, Spielautos, Lutschern etc. dagegen kann die Anzahl eine hochrelevante Variable sein, wenn es z.B. um die Frage geht, ob die Lutscher für alle Kinder reichen. Dieser Kontrast zwischen unterschiedlichen Situationen wird Kindern bewusst, wenn sie zu zählen beginnen, und diese Einsicht hilft dabei, den Unterschied zwischen zählbaren und nicht zählbaren Dingen zunehmend bewusst zu machen. Das Verständnis des Unterschieds zwischen diskreten Einheiten und kontinuierlichen Substanzen gehört damit zu den konzeptuellen Voraussetzungen des diskret-numerisches Verständnisses und der sprachlichen Zählfertigkeit. Dabei scheint der Entwicklung der exakt-numerische Repräsentationsfähigkeit eine zunächst vorsprachliche Repräsentation diskreter Einheiten vorauszu gehen, die aus dem Verstehen der 1-zu-1 Zuordnung von Elementen basiert (Mix et al., 2002a).



Wie eine Tagebuchstudie von Mix (2002) belegt, können alltägliche Aktivitäten, die eine 1-zu-1-Korrespondenz erforderlich machen, ein wichtiger Motor in der numerischen Entwicklung sein. Mix untersuchte ihren Sohn Spencer im Alter von 12 bis 38 Monaten und notierte alle 1-zu-1-Aktivitäten, die im Beobachtungsraum auftraten. Hierbei stellte sie fest, dass soziale Aktivitäten, wie das Verteilen von Objekten an Personen, sehr viel häufiger auftreten und eine deutlich größere Rolle spielen als konservierungsähnliche Aktivitäten wie die Zuordnung von Objekten zu Objekten. Zwar können Kindern zunächst wahrnehmbare Übereinstimmungen auffallen, wenn beim Spielen z.B. drei Bauklötze neben drei anderen Klötzchen zu liegen kommen oder bei Einsetz-Puzzeln noch Felder unbesetzt und Teile übrig sind bzw. alle Teile am Ende im passenden Feld liegen. Noch besser augenscheinlich wird die 1-zu-1-Zuordnung in sozialen Situationen, in denen die Anzahl von Personen und Objekten nicht übereinstimmt, z.B. bei vier Kindern und nur drei Süßigkeiten oder beim Tischdecken, wenn ein Teller zu viel oder zu wenig ist. Interaktive Aktivitäten wie das distributive Zählen („eins für dich und eins für mich“) schärfen die Wahrnehmung der 1-zu-1 Korrespondenz und des Unterschieds zwischen Situationen des diskreten und des kontinuierlichen Quantifizierens, da distributives Zählen nicht auf kontinuierliche Mengen anwendbar ist. Sprachliche Anregung und Begleitung scheinen dabei eine wichtige Rolle zu spielen. Das Ausmaß des „early number talk“ der Eltern von Ein- bis Zweijährigen korreliert positiv mit dem Zahlenverständnis der Kinder im Alter von knapp vier Jahren (Levine, Suriyakham, Rowe, Huttenlocher & Gunderson, 2010).

Vielfältige 1-zu-1-Zuordnungserfahrungen im Alltag tragen dazu bei, dass Kleinkinder ein diskretes Quantifizierungskonzept entwickeln und dieses benutzen, um die Äquivalenz und Ordinalität von Mengen und die Ergebnisse numerischer Transformationen sicher zu bestimmen. Dabei entstehen die Fertigkeiten zur diskreten Quantifizierung vor den anspruchsvolleren Messfertigkeiten der kontinuierlichen Quantifizierung. So können Kindergartenkinder diskrete Einheiten präzise erfassen (verbal und nonverbal), haben aber bis ins Schulalter hinein Probleme, kontinuierliche Substanzen mit konventionellen Maßeinheiten zu quantifizieren, selbst dann, wenn sie die Maßeinheiten nicht selber zuordnen müssen (Miller, 1984; Piaget, Inhelder & Szeminska, 1960). Beispielsweise können 3- bis 5-jährige korrekt bestimmen, welcher von zwei Behältern mehr Einzelobjekte enthält, jedoch nicht, welcher Behälter mehr Tassen Sand enthält (Huntley-Fenner, 1999, zitiert nach Mix et al., 2002a).

Der Entwicklungsschritt der Trennung kontinuierlicher und diskreter Quantifizierungssituationen äußert sich also im Kleinkindalter darin, dass zunächst nur eine Art der Quantifizierung korrekt repräsentiert werden kann. Es zeigt sich außerdem eine Übergeneralisierung diskreter Quantifizierungsprozeduren innerhalb dieser Altersspanne. Wenn Kindergartenkinder einen Keks fair zwischen verschiedenen Kindern aufteilen sollen, teilen sie diesen in eine gleiche Anzahl von Stücken auf, was jedoch keineswegs einem gleichen Größenanteil Kekes für jedes Kind entsprechen muss (Miller, 1984; Piaget et al., 1960). Es gibt damit eine Phase im frühen Kindergartenalter, in der Kinder kontinuierliche Quantifizierungsprobleme mit Methoden der diskreten Anzahlbestimmung zu lösen versuchen. Dabei stoßen sie darauf, dass dieser Quantifizierungsprozess nur bei diskreten Einheiten korrekte Resultate erbringt, was wiederum die

Erkenntnis der Abgrenzung zwischen diskreten und kontinuierlichen Quantifizierungssituationen befördert (Mix et al., 2002a).

2.3.2 Zusammenfassung mathematischer Kompetenzen im Kleinkindalter

Im Kleinkindalter bildet sich die Fähigkeit zur Repräsentation und Quantifikation diskreter (einzelner, voneinander getrennter) numerischer Einheiten heraus (vgl. Tabelle 1). Diese zunächst nicht-sprachliche Kompetenz entsteht u. a. in Alltagssituationen, die sinnvolle „Zählsituationen“ bedeutsam werden lassen und durch die das Konzept der 1-zu-1-Zuordnung verinnerlicht wird. Weiterhin spielt das Sprechen lernen eine zentrale Rolle. Neu erworbene Zahlwörter werden schon früh in systematischer Weise mit Mengen in Verbindung gebracht, auch wenn Kleinkindern noch nicht klar ist, welches Wort exakt welche Menge bezeichnet. Auch ein Verständnis der festen Reihenfolge der - zunächst eher auswendig aufgesagten - Zahlwortreihe ist bereits vorhanden. All diese kognitiven Voraussetzungen bieten ideale Bedingungen für das Verständnis und die korrekte Anwendung der Zählprinzipien, eine Errungenschaft, die zu Beginn des Vorschulalters erworben wird.

2.4 Mathematische Kompetenzen im Vorschulalter (4 – 6 Jahre)

Mit Beginn des Vorschulalters haben Kinder verstanden, dass Mengen (im Gegensatz zu kontinuierlichen Substanzen) aus einzelnen und damit zählbaren Einheiten bestehen. Dieses diskrete Zahlenkonzept stellt eine wichtige Voraussetzung für das verbale Zählen und den Erwerb arithmetischer Kompetenzen dar. Mit etwa 4 Jahren beherrschen die meisten Kinder die fünf wichtigsten funktionalen Zählprinzipien (Gelman, R. & Gallistel, 1978; Goswami, 2008).

2.4.1 Zählprinzipien

Das Zählen als grundlegende mathematische Kompetenz basiert nach Gelman (2000; Gelman & Gallistel, 1978) auf fünf funktionalen Prinzipien, die bereits in der theoretischen Einleitung erwähnt wurden und die Kinder typischerweise im Alter von etwa 4 Jahren verinnerlicht haben:

- (1) Prinzip der Eins-zu-Eins-Zuordnung zwischen Objekten und Zahlsymbolen. Kinder, die dieses Prinzip begriffen haben, wissen, dass jedem Objekt im Rahmen eines Zählvorgangs genau ein Zahlwort zuzuordnen ist.
- (2) Prinzip der stabilen Reihenfolge der Zahlsymbole. Kinder lernen, dass die Abfolge der Zahlen beim Zählen und deren Zuordnung zu den Quantitäten immer gleich bleibt. Für jede Quantität steht ein anderes Zahlsymbol zur Verfügung.

- (3) Kardinalitätsprinzip. Gemeint ist die zentrale Einsicht, dass die zuletzt genannte Zahl eines Zählvorgangs (Kardinalzahl) stets der Anzahl der Elemente einer Menge entspricht, also dass durch Zählen die Größe einer Menge ermittelt wird.
- (4) Abstraktionsprinzip. Dieses Prinzip beschreibt die Generalisierbarkeit des Zählens auf alle Bereiche mit diskreten Einheiten (Objekte, Schritte, Töne, Argumente etc.). Hat ein Kind die Abstraktion des Zählvorgangs verstanden, begreift es, dass jede beliebige Art von Einheiten auf die gleiche Weise zählbar ist.
- (5) Prinzip der Irrelevanz der Reihenfolge. Werden die ersten drei Prinzipien beachtet, spielt die Reihenfolge, in der eine gegebene Anzahl von Dingen abgezählt wird, keine Rolle, d.h. man kann bei einem beliebigen Objekt mit dem Zählen beginnen. Nachfolgend wird erläutert, wie Kinder diese Prinzipien verstehen lernen.

2.4.2 Entwicklung der Zählfertigkeit

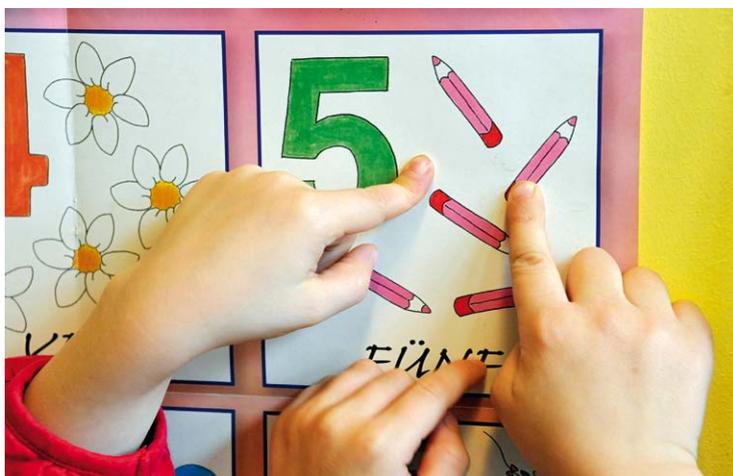
Die Verinnerlichung der Zählprinzipien ist ein Prozess, der sich zwischen Kleinkind- und Vorschulalter vollzieht. Während zweieinhalbjährige Kinder bereits verstehen, dass Zahlwörter eine eigene semantische Klasse bilden, die sich auf die Bezeichnung spezifischer Mengen bezieht, ist Kleinkindern noch nicht klar, welches Wort exakt welche Menge bezeichnet. Diese Zuordnung zwischen der exakten Symbolreihe und der frühkindlichen ungefähren Größenrepräsentation braucht Zeit, in der Regel etwa ein Jahr (Wynn, 1992b). Vermutlich lernen zwei- bis dreijährige Kinder die Kardinalbedeutung der Zahlen von eins bis drei, indem sie die entsprechenden Zahlsymbole der schon sicher vorhandenen Repräsentation kleiner Mengen (Subitizing-Kompetenz) zuordnen (Baillargeon & Carey, in press; Le Corre & Carey, 2007; Saxe, 1977; Wynn, 1992b). Um größeren Mengen die korrekte Kardinalzahl zuzuordnen (und nicht irgendeine große Zahl), müssen Kinder jedoch „richtig“ zählen können. Dabei scheinen sie das Ordinalitäts- und das Kardinalitätsprinzip zunächst an den kleinen Zahlen zu begreifen und dann nach und nach auf größere Zahlen zu übertragen, bis die Lücke zwischen der verbal verfügbaren Zahlwortreihe und den exakt zugeordneten Mengenrepräsentationen geschlossen ist. Bis Kinder das Kardinalitätszahlprinzip begriffen haben, ordnen sie Mengen größer vier gerne irgendeiner beliebigen größeren Zahl zu (Wynn, 1992; vgl. auch Sarnecka & Carey, 2008).

Noch wird kontrovers diskutiert, ob das Zählenlernen für größere Zahlen mit einer konzeptuellen Veränderung der Zahlenrepräsentation einher geht (Conceptual Change Ansatz, siehe Le Corre & Carey, 2007; Le Corre & Carey, 2008; Le Corre, Van de Walle, Brannon & Carey, 2006) oder eher eine kognitive Umstrukturierung darstellt, in welcher Subitizing und analoge Größenrepräsentation gemeinsam mit dem Erwerb der Zahlwörter in ein kohärentes Zählsystem integriert werden (Gallistel, 2007; Wynn, 1992b). Für die letztgenannte Annahme spricht, dass schon Zwei- bis Dreijährige Zahlwörter wie „sechs“ durchaus vom numerischen unexakten „viele“ unterscheiden können (Sarnecka & Gelman, 2004), also durchaus eine spezifische Repräsentation größerer

Anzahlen zu besitzen scheinen (vgl. Goswami, 2008). Im Alter von vier Jahren berücksichtigen dann die meisten Kinder alle fünf Prinzipien beim Zählen und verfügen spätestens mit fünf Jahren über explizite Zählmechanismen (Gelman & Gallistel, 1978; Mehler & Bever, 1967; Wynn, 1992b).

Vorschulkinder haben sich mit dem Erwerb der Zählprinzipien eine zentrale kulturelle Grundfertigkeit angeeignet. Die Sprache sowie der kulturelle Kontext spielen beim Zählen lernen eine wichtige Rolle. Nicht alle Kulturen verfügen über ein exaktes System von Zahlsymbolen. So gibt es Urvölker am Amazonas, die nur die Zahlwörter „eins“, „zwei“ und „viele“ (Piraha-Stamm) oder „eins“ bis „fünf“ (Munduruku-Stamm) kennen, jedoch selten konsistent für die entsprechenden Mengen benutzen (Gordon, 2004; Pica, Lemer, Izard & Dehaene, 2004). Interessanterweise beruht die gute Leistung dieser Urvölker in Schätzaufgaben mit großen Zahlen auf dem Weberschen Gesetz, was auf die Universalität der nonverbalen, analogen Größenrepräsentation von Mengen hinweist.

Die Sprache und der Umgang mit Zahlsymbolen eröffnen einen neuen exakten Umgang mit Zahlen und Mengen, der im Gegensatz zur analogen Mengenrepräsentation nicht in parietalen Hirnarealen verankert ist, sondern in Gebieten der linken Hirnhemisphäre, welche auch für die Sprachverarbeitung zuständig sind (Dehaene, 1997; Dehaene et al., 1999). Die Entwicklung exakter mathematischer Repräsentationen scheint damit auf sprachlicher Kodierung zu basieren, im Erwachsenenalter aber unabhängig von sprachlichen Fähigkeiten zu bestehen. So können Patienten mit Hirnläsionen, die in ihrer Sprachkompetenz massiv beeinträchtigt sind, komplizierte numerische Rechenaufgaben weiterhin erfolgreich lösen (Varley, Klessinger, Romanowski, Siegal & Purves, 2005).



Das im Vorschulalter erreichte Verständnis von Zahlen als exakte Quantitäten, denen ein spezifisches numerisches Symbol zugeordnet ist, bildet die Voraussetzung für korrektes Zählen und Rechnen. Arithmetische Fertigkeiten sind als Kulturleistung anzusehen, welche durch Lernen, Sprache und Sozialisation erworben werden und wiederum die Voraussetzung für höhere mathematische Leistungen bilden (siehe z.B. Gilmore, McCarthy & Spelke, 2010). Auf Möglichkeiten zur Förderung dieser Kompetenzen, insbesondere im Kindergartenalter, wird im dritten Abschnitt eingegangen.

2.4.3 Zusammenfassung mathematischer Kompetenzen im Vorschulalter

Im Laufe des Vorschulalters lernen Kinder zählen und verinnerlichen wichtige funktionale Zählprinzipien wie die 1-zu-1-Zuordnung, die stabile Reihenfolge der Zahlsymbole und das Kardinalitätsprinzip. Kinder erwerben die Zahlwortreihe und lernen, deren exakte sprachliche Struktur der frühen analogen, ungenauen Mengenrepräsentation zuzuordnen. Mit etwa vier Jahren wenden Kinder die Zählprinzipien korrekt an (vgl. Tabelle 1). Die kulturelle Errungenschaft des Zählens eröffnet den Rahmen für weitere mathematische Leistungen wie Addition oder Teilen von Mengen. Der Erwerb dieser Kompetenzen wird maßgeblich durch die Lernmöglichkeiten im kulturellen Umfeld beeinflusst. Die erstaunlichen numerischen Kompetenzen von Säuglingen und die weitreichenden kognitiv-mathematischen Fortschritte von Klein- und Vorschulkindern sprechen für das gezielte Aufgreifen und Unterstützen der Entwicklung mathematischer Kompetenzen im Kindergartenalter.

2.4.4 Tabellarische Zusammenschau frühkindlicher mathematischer Kompetenzen

Tabelle 1 stellt die wichtigsten Entwicklungsfortschritte des mathematischen Denkens im Säuglings-, Kleinkind- und Vorschulalter als Zusammenschau dar.

Tabelle 1. Typische Entwicklungsfortschritte im mathematischen Denken in der frühen Kindheit

Frühkindliche mathematische Kompetenzen	Säugling		Kleinkind		Vorschulkind
	0-1 Jahre	1-2 Jahre	2-3 Jahre	4-5 Jahre	
Repräsentationssystem	Intuitives Mengenverständnis, Sensibilität für kontinuierliche Größenmerkmale		Diskrete Zahlenrepräsentation, Erkennen diskontinuierlicher Zähl-situationen		Zuordnung zwischen analoger (nonverbaler) Größenrepräsentation und exaktem (verbalen) Zahlensymbolsystem
Mengendiskrimination	Unterscheidung kleiner Mengen (bis 4); große Mengen (ab 5) nur im Verhältnis 1:2 oder mehr	Mengenunterscheidung auch im Verhältnis 2:3	Beginn der Quantifizierung diskreter Einheiten		
Ordinalität von Mengen (mehr – weniger)	Verstehen kontinuierlicher Relationen	Verstehen diskontinuierlicher Relationen			
Mengentransformation, Rechenkompetenz	Antizipation von Mengenveränderungen (z.B. wird mehr, wenn etwas dazu kommt)		Einfaches Rechnen mit Bauklötzen	Beginnendes Verständnis von Addition, Subtraktion und Teilen von Mengen	
Äquivalenz von Mengen			Erkennen der numerischen Gleichheit von Mengen		
Diskretes Zahlenkonzept			Unterscheidung zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Quantifizierungssituationen		Konventionelles Zähl-system erworben
Symbolische und sprachliche Repräsentation			Lernen von Zahlwörtern, Erkennen der festen Reihenfolge		Stabile Zahlwort-reihe, Erlernen von Ziffern und Zahlensymbolen
Zählkompetenz			Verständnis des Prinzips der Eins-zu-Eins-Zuordnung, systematische Zuordnung von Zahlwörtern zu Mengen		Verständnis der fünf funktionalen Zählprinzipien und deren Berücksichtigung beim Zählen

3. Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit

3.1 Theoretische Einführung

3.1.1 Was sind Naturwissenschaften?

Naturwissenschaften sind „Wissenschaften, die die Gegenstände der Natur und die sich an ihnen vollziehenden Vorgänge, die Naturerscheinungen, beschreiben, ordnen, vergleichen, die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen ermitteln und daraus Regeln und Gesetze ableiten“ (Das neue Bertelsmann Lexikon, 2002, zitiert nach Rempp, 2007). Diese Definition der Naturwissenschaften geht über das reine Wissen über Naturerscheinungen hinaus und betont Aktivitäten, wie das Beobachten, Beschreiben, Experimentieren, Vergleichen und Interpretieren von Ergebnissen, durch die das Naturwissen überhaupt erst entsteht. Man kann also zwischen dem naturwissenschaftlichen Wissen und dem Prozess des Wissenserwerbs unterscheiden, wobei beide Aspekte zur Naturwissenschaft gehören (vgl. Rempp, 2007). Scorza de Appl (n. d., S. 1) beschreibt den prozeduralen Charakter in ihrer Definition der Naturwissenschaften als „die Grundeinstellung, mögliche Erklärungen von Phänomenen zu suchen und sie anhand von Belegen zu überprüfen“. Lind (1997, S. 75) betont den Ordnungsaspekt der Naturwissenschaften als ein „System zur Organisation und Berichterstattung von Entdeckungen“. Die beiden Aspekte des konzeptuellen und prozeduralen Wissens spiegeln sich schließlich auch bei Nunes und Bryant (2004, S. 261) wider, die naturwissenschaftliches Wissen verstehen als „*not simply a ‚collection of facts‘ but ‚a way of thinking‘*“. Es geht also vor allem darum, wie wir mit Naturphänomenen umgehen. Damit findet auch hier eine Loslösung vom konkreten Inhalt statt, um den es geht. Neben der Frage, welches Wissen über einen gegebenen naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich existiert, spielt konkret das systematische Beobachten und Ordnen von Erfahrungen eine zentrale Rolle. Dieser Prozess des Herausfindens, d.h. die Fähigkeit zu wissenschaftlichen Aktivitäten, die den Wissenserwerb fördern, ist wiederum ein zentraler Bestandteil des wissenschaftlichen Denkens allgemein.

3.1.2 Was ist wissenschaftliches Denken?

Der Begriff des wissenschaftlichen Denkens kann sich zum einen auf das Denken über einen naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich beziehen, zum anderen auf den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess, der die Bildung, Prüfung und Revision von Theorien und Hypothesen beinhaltet (Sodian, 2001; Sodian & Bullock, 2008). Ähnlich wie schon in den Definitionen der Naturwissenschaften findet sich im wissenschaftlichen Denken ein bereichsspezifischer Aspekt (bezogen auf einen bestimmten Inhaltsbereich) und ein bereichsübergreifender Aspekt (bezogen auf allgemeine Fähigkeiten des wissenschaftlichen Entdeckungsprozess).

Beide Aspekte werden von Klahr (2000) in seinem SDDS-Modell (Scientific Discovery as Dual Search) des wissenschaftlichen Denkens einbezogen. Diesem informationsverarbeitungstheoretischen Modell zufolge findet wissen-

schaftliches Denken und Problemlösen in zwei Problemräumen statt: Im Hypothesenraum wird das Vorwissen über einen Gegenstandsbereich in eine allgemeine, möglichst plausible Form gebracht – es wird eine Hypothese aufgestellt oder Erwartung formuliert. Im Experimentierraum wird ein Experiment entworfen, welches die Überprüfung der aktuellen Frage ermöglicht. Bei Expertise in einem bestimmten Inhaltsbereich kann eine Lösung in beiden Räumen aufgrund der vorhandenen Vorwissens mit weniger Suchaufwand gefunden werden (bereichsspezifische Methode), als wenn nur wenig oder kein Vorwissen vorliegt. Mit wenig Vorwissen dauert die Lösungssuche länger, der Problemlöseprozess kann dafür aber kontextunabhängig in einer Vielzahl von Inhaltsbereichen angewendet werden (bereichsübergreifende Methode). Kompetenz im wissenschaftlichen Denken zeichnet sich nach Klahr dadurch aus, dass zur Untersuchung der aktuellen Frage informative Experimente entworfen oder ausgewählt werden, und dass sich aus den Evidenzen, die die Experimente liefern, valide Schlüsse zur Beantwortung ziehen lassen. Valide Schlüsse sind dann möglich, wenn experimentelle Evidenz und Hypothese bzw. Theorie bewusst und in eindeutiger Weise zueinander in Bezug gesetzt werden können (vgl. Rempp, 2007).

Damit erfordert der wissenschaftliche Entdeckungsprozess drei grundlegende Komponenten: (1) das Aufstellen einer Hypothese, (2) die Hypothesentestung und (3) die Ergebnisinterpretation (Klahr, 2000). Je besser diese drei Komponenten koordiniert werden können, desto aussagekräftiger ist die wissenschaftliche Erkenntnis. Dabei wird insbesondere die Fähigkeit zur Differenzierung zwischen Hypothese und Evidenzen und deren Abgleich im Sinne einer Bestätigung bzw. Falsifizierung der Hypothese als zentraler Bestandteil wissenschaftlichen Denkens angesehen. Wilkening und Sodian (2005, S. 137) definieren Scientific Reasoning dementsprechend als die „Fähigkeit, Hypothesen zu generieren, zu testen und zu revidieren, und über diesen Prozess nachzudenken“. Weitere Aspekte des wissenschaftlichen Denkens bestehen im Problemlösen, im kausalen Denken (Ursache-Wirkungs-Verständnis) und im Denken in Analogien (Dunbar & Fugelsang, 2005).

Nach Deanna Kuhn (1989; Kuhn & Pearsall, 2000) besteht die Essenz wissenschaftlichen Denkens in der bewussten Unterscheidung und Koordination von theoretischen Annahmen und beobachtbaren Evidenzen. Im Folgenden soll diskutiert werden, ab wann Kinder zu dieser Form wissenschaftlichen Denkens in der Lage sind bzw. welche Vorläufer wissenschaftlicher Denkkompetenz in der frühkindlichen Entwicklung zu beobachten sind.

3.1.3 Ab wann können Kinder naturwissenschaftlich denken?

Die Frage, ab wann Kinder zu wissenschaftlichem Denken in der Lage sind, wird von unterschiedlichen Theoretikern auf verschiedene Weise beantwortet. Die Antwort hängt maßgeblich davon ab, welche Kriterien man für die Zuschreibung wissenschaftlichen Denkens zugrunde legt und wie dieses erfasst wird. Bevor empirische Studien zum Entwicklungsverlauf wissenschaftlicher Kompetenzen berichtet werden, soll deshalb die Unterscheidung zwischen bereichsübergreifenden versus bereichsspezifischen Theorien des wissenschaftlichen Denkens erörtert werden, wobei klassische Ansätze wie die

von Piaget und Wygotski theoretischen Ansätzen der neueren Entwicklungsforschung gegenübergestellt werden.

Bereichsübergreifende Theorien der Entwicklung wissenschaftlichen Denkens

Vertreter der bereichsübergreifenden Theorien wie Piaget und Wygotski gehen davon aus, dass sich im Laufe der Entwicklung grundlegende Veränderungen im Denken vollziehen, die sich über alle Inhaltsbereiche gleichermaßen erstrecken. Diese grundlegenden Entwicklungsschritte werden als kognitive Umstrukturierungen des Denkens verstanden, die sich daran zeigen, welche Denkfähigkeiten ein Kind zu einem bestimmten Zeitpunkt besitzt, um die Welt zu verstehen und einzuordnen. Diese Denk- und Verstehensschemata können unabhängig von spezifischen Inhaltsbereichen z.B. beim Nachdenken über Ursache-Wirkungs-Beziehungen angewandt werden. Bereichsübergreifende Theorien betonen somit den prozesshaften Charakter wissenschaftlichen Denkens.

Nach Jean Piaget (1969; vgl. auch Siegler, DeLoache & Eisenberg, 2005) entwickelt sich die Denkfähigkeit in vier Stufen, die jeweils durch eine qualitative Fortentwicklung der Denkstrukturen und Möglichkeit zu geistigen Operationen gekennzeichnet sind. Im *sensumotorischen Stadium* (0 bis 2 Jahre) setzen sich Kinder mit der Welt hauptsächlich über ihre Sinneswahrnehmung und ihre Motorik auseinander; sie sind zunächst auf einfache Reflexe begrenzt und lernen erst nach und nach, Handlungen und Begriffe zu verinnerlichen, um z.B. Ergebnisse von Handlungen zu antizipieren oder einfache Mittel-Zweck-Handlungen zur Problemlösung einsetzen zu können. Das sensumotorische Stadium zeichnet sich somit durch eine Entwicklung vom vorbegrifflichen zum begrifflichen Denken aus. Die zunehmende Fähigkeit zur Verinnerlichung und Nachahmung von Handlungen, zur inneren Repräsentation von Dingen im Geiste (Objektpermanenz) und zum Denken in Symbolen (mentale Bilder, Spracherwerb)

ermöglicht das flexible Handhaben von Begriffen und Handlungen im Geiste (mentale Operationen) und markiert den Übergang zum begrifflichen Denken der präoperationalen Phase.

Die *präoperationale Phase* (2 bis 7 Jahre) ist durch die Fähigkeit zum repräsentativen Denken gekennzeichnet. Kinder können nun Symbole wie Vorstellungen, Worte, Gesten oder Zeichnungen einsetzen, um sich mit ihrer Umwelt auseinanderzusetzen. Diese neue Kompetenz zur Repräsentation

wird jedoch noch durch eine Reihe von Einschränkungen im Denken begrenzt wie z.B. unangemessene Generalisierungen, Egozentrismus und Rigidität im Denken. So zentrieren Kinder dieser Altersspanne häufig auf nur ein Merkmal einer Aufgabe (z.B. nur die Höhe eines Gegenstands, anstatt Höhe



und Breite) und tun sich schwer damit, Denkopoperationen geistig umzukehren (fehlende Reversibilität im Denken).

Die Abhängigkeit vom konkreten Beobachteten (anschauliches Denken) wird ab dem Ende des Vorschulalters durch die zunehmende Fähigkeit überwunden, Gedanken auch ohne den räumlichen und zeitlichen Bezug zu Gegenständen auf logische Art und Weise zueinander in Bezug zu setzen. Diese Fähigkeit, auch gedanklich logische Schlussfolgerungen zu ziehen, kennzeichnet das Denken der *konkret-operationalen Phase* (7 bis 12 Jahre). Hier entwickelt das Kind ein Verständnis für Kausalzusammenhänge, für die Erhaltung (z.B. von Mengen) oder für Transformationen und deren Reversibilität. Allerdings ist diese Fähigkeit des konkret-logischen Denkens eher noch auf gegebene konkret-anschauliche oder sprachliche Informationen begrenzt.

In der *formal-operationalen Phase* (12 bis 15 Jahre) schließlich löst sich das Denken vollständig vom konkret Beobachtbaren. Erst hier ist nach Piaget die Fähigkeit zum abstrakten Denken gegeben, welche Annahmen und logische Schlussfolgerungen über gegebene Information hinaus ermöglicht, also auch das Nachdenken über hypothetische Situationen. Hier können nun Hypothesen aufgestellt, durch planvolle Experimente überprüft und – durch systematische Variablenkontrolle – Hypothesen und Evidenzen zueinander in Bezug gesetzt werden, um valide Schlussfolgerungen zu ziehen. Nach Piaget sind Kinder erst mit dem Erreichen der formal-operationalen Phase, also mit etwa zwölf Jahren, zu wissenschaftlichem Denken fähig. Eine Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Themen bereits im Kindergarten wäre damit aus Sicht Piagets nicht sinnvoll, da Kinder im präoperationalen Stadium nicht zu logischem oder abstraktem Denken in der Lage seien.

Auch der Entwicklungstheoriker Lev Wygotski (1934/1964) geht von einem Verständnis wissenschaftlicher Konzepte frühestens ab einem Alter von sieben Jahren aus. Als Kontexttheoretiker betont Wygotski den Einfluss der sozialen und kulturellen Umgebung auf die kognitive Entwicklung. Dabei könne ein Kind unter der kompetenten Anleitung durch eine andere Person eine höhere Leistung vollbringen als es ihm von alleine möglich wäre. Diese Diskrepanz zwischen dem aktuellen und dem potentiellen Entwicklungsstand, den ein Kind durch soziale Stützung erreichen kann, bezeichnet Wygotski als Zone der proximalen Entwicklung.

Im Gegensatz zu alltäglichen Konzepten, die sich spontan durch konkrete Erfahrungen entwickeln (Bottom-up Prozess), geht Wygotski für das Erlernen wissenschaftlicher Konzepte und Denkweisen grundsätzlich davon aus, dass diese nur unter Anleitung und nie einfach aus Erfahrung gewonnen werden können. Der Erwerb wissenschaftlicher Konzepte im Sinne einer Systematik von Begriffen geschehe vom Abstrakten zum Konkreten (Top-down Prozess) und stelle einen Schlüssel zur Bewusstwerdung vorhandener alltäglicher Begriffe und Konzepte dar. Die Vermittlung wissenschaftlicher Inhalte sei damit eine wichtige Basis für die allgemeine kindliche Denkentwicklung und besonders für die Entwicklung des wissenschaftlichen Denken. Allerdings setzt eine erfolgreiche Vermittlung wissenschaftlicher Konzepte nach Wygotski formale Instruktion sowie ein ausreichendes Maß an alltäglichen Begriffen voraus, da ein Kind „nur das nachahmen kann, was in der Zone seiner eigenen intellek-

tuellen Möglichkeiten liegt“ (Wygotski, 1934/1964, S. 237). Wygotski geht davon aus, dass ein hinreichendes Maß an spontanen Alltagsbegriffen sich erst ab dem Schulalter entwickelt und ein Unterricht zur Förderung der wissenschaftlichen Konzeptentwicklung bei jüngeren Kindern noch nicht angemessen ist.

Sowohl der Standpunkt Piagets als auch der Wygotskis sind in der beschriebenen Form heute so nicht mehr haltbar. Insbesondere wurde Kritik an einigen wesentlichen Grundannahmen beider Theoretiker geäußert. Neben vielen Einwänden bezüglich Piagets methodischer Vorgehensweise, die es den Kindern aufgrund der motorischen und sprachlichen Anforderungen häufig schwer machte, ihre wahren Kompetenzen zu zeigen, ist auch das diskontinuierliche Stadienkonzept in die Kritik geraten. Einerseits konnte bereits von Piaget selbst gezeigt werden, dass bereits Vorschulkinder Anzeichen logischer Denkopoperationen zeigen (etwa ein Drittel der 5- und 6-jährigen sind bereits dabei, die Zentrierung auf nur ein Merkmal zu überwinden, Piaget & Inhelder, 1975); andererseits fiel auf, dass viele 15- bis 16-jährige die Kriterien für die formal-operatorische Stufe noch nicht erlangt haben (Gräber & Stork, 1984) und dass sogar viele Erwachsene noch keine optimalen wissenschaftlichen Denkstrategien entwickelt haben (Kuhn, D., Amsel & O’Loughlin, 1988). Die von Piaget postulierte eindeutige Zuordnung bestimmter Fähigkeiten zu altersgebundenen Stadien der Denkentwicklung wurde durch diese und viele weitere Studien in Zweifel gezogen (vgl. Goswami, 2001).

Auch Wygotskis Annahme der Entwicklung wissenschaftlicher Konzepte muss aus heutiger Sicht revidiert werden. So vernachlässigte Wygotskis Auffassung, dass sich wissenschaftliche Konzepte vom Abstrakten zum Konkreten und nur durch formale Instruktion entwickeln, die unmittelbare Erfahrung, die ein Kind täglich macht und die sich auch ohne formalen Unterricht auf seine Vorstellungen auswirken kann. Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass bereits Säuglinge und Kleinkinder über intuitive Theorien und wissenschaftliche Konzepte verfügen. Da diese nicht auf eine formale Vermittlung zurückgeführt werden können, gehen neuere kognitive Theorien davon aus, dass wissenschaftliche Konzepte auch ohne Unterricht erworben werden. Diese Annahme wird durch Studien gestützt, die zeigen, dass auch Personen ohne Schulbildung über Konzepte verfügen, die nach Wygotski nur durch formale Instruktion erworben werden können (Tulviste, 1989). Langford (2005) schließt, dass Wygotski einen zu großen Teil der Entwicklung auf formalen Unterricht zurückführt. Sowohl alltägliche als auch wissenschaftliche Konzepte scheinen sich somit schneller und unabhängiger von Anleitung zu entwickeln, als Wygotski annahm.

Fodor (1972) kritisiert die generelle Annahme qualitativ unterschiedlicher Konzepte und Denkstrukturen bei Kindern und Erwachsenen, die sowohl Piaget wie auch Wygotski vertreten, da ein gegenseitiges Verstehen hierdurch nahezu unmöglich würde. Vielmehr unterscheiden sich nach Fodor Kinder und Erwachsene nicht in der Art ihrer Konzepte, sondern darin, in welchen Bereichen sie diese anwenden können und über wie viel Wissen sie im jeweiligen Anwendungsbereich verfügen. Kinder denken demnach nur deshalb anders über die Welt, weil es ihnen an Wissen fehlt; sie verfügen im Prinzip aber über die gleichen Denkmöglichkeiten wie Erwachsene. Diese Annahme

wird in bereichsspezifischen Theorien der kognitiven Entwicklung vertreten, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Bereichsspezifische Theorien der Entwicklung wissenschaftlichen Denkens

Anhänger bereichs- oder domänenspezifischer Theorien gehen davon aus, dass Veränderungen im kindlichen Denken jeweils nur einem bestimmten Bereich stattfinden und sich auf spezifische Inhalte beziehen (Baillargeon & Carey, in press; Carey & Spelke, 1994; Gelman & Williams, 1998). Dabei können Wissensfelder wie z.B. die physikalische oder die biologische Welt unterschieden werden. Bereichsspezifische Ansätze betonen damit eher den konzeptuellen Wissensaspekt im wissenschaftlichen Denken. Bezüglich der prozeduralen Ebene des Denkens wird angenommen, dass innere Mechanismen die Entwicklung und den Wissenserwerb steuern. Diese angeborenen bzw. sehr früh erworbenen Kenntnisse und Lernmechanismen bestimmen, was und wie in verschiedenen Bereichen aus Erfahrung gelernt wird (vgl. Goswami, 2001; Siegler et al., 2005). Die bereichsspezifischen Entwicklungstheorien sind in neuerer Zeit entstanden und durch eine Vielzahl von Untersuchungen der modernen Säuglings- und Kleinkindforschung geprüft und weiterentwickelt worden. Auf die wichtigsten empirischen Befunde zu den naturwissenschaftlichen Kompetenzen in der frühen Kindheit wird später noch genauer eingegangen.

Vertreter bereichsspezifischer Theorien nehmen an, dass Kinder und Erwachsene grundsätzlich über das gleiche kognitive System verfügen und qualitativ erscheinende Unterschiede im Denken vor allem darauf zurückgehen, dass es Kindern an (bereichsspezifischen) Wissen und Erfahrung fehlt. Dementsprechend erweise sich auch das kognitive System von Erwachsenen als wenig leistungsfähig, wenn es Denkleistungen in Bereichen erbringen soll, in denen der Erwachsene über wenig oder gar kein Vorwissen verfügt (Flavell, 1985). Menschen unterschiedlichen Alters gleichen sich darin, dass sie nach Erklärungen für Phänomene in der Welt suchen und Theorien über Phänomene bilden. Dabei konstruieren sie nicht immer richtige Theorien und revidieren ihre Theorien auch nicht immer angesichts gegenteiliger empirischer Evidenzen. Diese Ähnlichkeiten im Erkundungsstil von Kindern und Erwachsenen haben zur Auffassung des „Kindes als Wissenschaftler“ geführt (Gopnik, 1996; Sodian, 2004). Dabei sind nach Gopnik weniger die Kinder kleine Wissenschaftler als vielmehr Wissenschaftler große Kinder, die sich den Drang bewahrt haben, Phänomene erklären zu wollen und sich eine wahrheitsgemäße Sicht der Welt anzueignen, und die dabei „diejenigen kognitiven Fähigkeiten nutzen, die die Evolution für die Kinder entwickelt hat“ (Gopnik, Kuhl & Meltzoff, 2000, S. 185). Gleichzeitig gilt es zu beachten, dass bestimmte Fehler im wissenschaftlichen Denken besonders häufig gemacht werden – auch von Erwachsenen. Dies gilt vor allem für den Umgang mit Evidenz, die den eigenen Erwartungen widerspricht. So tendiert der Mensch allgemein eher dazu, Belege für und nicht gegen seine Annahmen zu suchen und Hypothesen eher zu bestätigen als zu falsifizieren.

Innerhalb der domänenspezifischen Ansätze kann zwischen zwei Auffassungen des Theorie- und Wissenserwerbs unterschieden werden. Während der so genannte „Enrichment View“ davon ausgeht, dass Kinder von Anfang über

ein bestimmtes Kernwissen in verschiedenen Inhaltsbereichen verfügen und die weitere Entwicklung hauptsächlich in einer Erweiterung oder Anreicherung bereits vorhandenen Wissens und vorhandener Konzepte besteht (z.B. Gopnik, 1996; Spelke, 1991), vertreten Anhänger des „Conceptual Change Views“ die Auffassung, dass bereits bestehendes Wissen und Annahmen über die Welt im Laufe der weiteren Wissens- und Denkentwicklung durch konzeptuell fortgeschrittene Theorien ersetzt werden (z.B. Carey, 1985; Kuhn, 1976). Nach Carey sind Kinder „universelle Novizen“, da sie weniger wissen als Erwachsene. Darüber hinaus unterscheiden sich aber die intuitiven Theorien, die Kinder zur Erklärung der Welt bilden, grundlegend von denen Erwachsener, da sie auf einem anderen konzeptuellen Rahmen basieren. Eine Weiterentwicklung dieser konzeptuell begrenzten Theorien ist nicht durch einfache Veränderung einer Überzeugung möglich, sondern erfordert nach Carey die Umstrukturierung des gesamten theoretischen Konzepts. Diese Ablösung der alten Wissensstrukturen bzw. Misskonzeptionen durch neue Theorien, die bestimmte Phänomene auf eine neue Art und Weise erklären können, wird als konzeptuelle Veränderung bezeichnet. Obwohl diese konzeptuellen Veränderungen meist auf einen bestimmten Inhaltsbereich begrenzt sind, können jedoch auch bereichsübergreifende Veränderungen in der Entwicklung kindlicher Konzeptionen auftreten (Carey, 1985; 2000).

Im Kontrast zu den genannten klassischen Entwicklungstheorien verfügen nach dem bereichsspezifischen Ansatz bereits kleine Kinder über die Fähigkeit zur Konstruktion von Theorien, zur Überprüfung und Revision durch empirische Evidenz sowie zur Reflexion über diese wissenschaftlichen Aktivitäten (Sodian & Bullock, 2008; Sodian, Koerber & Thoermer, 2004). Wie Kinder Theorien bilden und weiterentwickeln, wird jedoch von verschiedenen bereichsspezifischen Theoretikern unterschiedlich gesehen. Die bestehenden Auffassungen hängen zudem maßgeblich davon ab, wie und in welchen Inhaltsbereichen die kindlichen Kompetenzen untersucht worden sind. Im Folgenden wird daher auf empirische Befunde zu naturwissenschaftlichen Kompetenzen in der frühen Kindheit eingegangen, wobei jeweils nach den beiden Aspekten des wissenschaftlichen Denkens (prozedurale Ebene) und des inhaltlichen Wissens (konzeptuelle Ebene) unterschieden wird.

3.2 Naturwissenschaftliche Kompetenzen im Säuglingsalter (0 – 1 Jahre)

3.2.1 Wissenschaftliches Denken im Säuglingsalter

Die Fähigkeit zum wissenschaftlichen Denken äußert sich unter anderem darin, ob nach Erklärungen für Phänomene in der Umwelt gesucht wird, z.B. dafür, auf welche Weise ein bestimmter Effekt zustande kommt und welche Ursache diesem zugrunde liegt. Das Nachdenken über Ursache-Wirkungs-Beziehungen wird als kausales Denken bezeichnet. Nach Piaget beginnen Kinder nicht vor dem konkretoperationalen Stadium, also erst ab dem Schulalter, in logischer Art und Weise über die Ursachen physikalischer Ereignisse nachzudenken. Allerdings untersuchte Piaget (1974) das kausale Denken mit sehr komplexen Aufgaben, die ein beträchtliches Wissen z.B. über das Funktionie-

ren von Fahrrädern oder das Schwimmen von Schiffen erforderten. Vertreter des bereichsspezifischen Ansatzes kritisierten dementsprechend, dass den Kindern vermutlich die relevanten inhaltlichen Kenntnisse fehlten, um den kausalen Mechanismus der betreffenden Phänomene korrekt erklären zu können. Neuere Studien untersuchen das Kausalverständnis in der frühen Kindheit mit Aufgaben, die so einfach sind, dass selbst Säuglinge und Kleinkinder über das relevante bereichsspezifische Wissen verfügen (vgl. Sodian, 2008).

Mithilfe der Habituation-Dishabituation-Methode konnten Leslie und Kollegen zeigen, dass bereits sechs Monate alte Säuglinge das Grundprinzip mechanischer Verursachung verstehen (Leslie & Keeble, 1987). Die Säuglinge bekamen ein Kollisionsereignis gezeigt, in dem ein Objekt A mit einem Objekt B zusammenstößt und der Eindruck entsteht, dass A B in Bewegung setzt (Kausalbedingung: Standardsequenz). In einem anderen Film sahen die Säuglinge Ereignissequenzen, die keine kausale Interpretation nahe legen, z.B. dass A zwar mit B in Kontakt tritt, B sich aber erst nach längerem zeitlichem Abstand in Bewegung setzt (Kontrollbedingung). Nach Gewöhnung (Habituation) an eine der beiden Bedingungen, wurde ein Ereignis gezeigt, in die Sequenz in umgekehrter Reihenfolge zu sehen war, d.h. dass Objekt B Objekt A anstößt bzw. berührt. Wenn die Säuglinge die Standardsequenz wie Erwachsene kausal interpretieren, sollten sie überrascht sein, wenn Ursache (A) und Wirkung (B) plötzlich vertauscht werden. Hingegen sollte in der Kontrollbedingung keine Überraschung auftreten, da weder das ursprüngliche noch das vertauschte Ereignis eine kausale Interpretation nahe legen. Tatsächlich reagierten die Säuglinge nur in der Kausalbedingung mit einem Anstieg ihrer Blickzeit (Dishabituation) auf die Umkehrung der Reihenfolge, nicht jedoch in der Kontrollbedingung.

Die Ergebnisse von Leslie weisen darauf hin, dass bereits sechs Monate alte Säuglinge zwischen kausalen und nichtkausalen Ereignissequenzen unterscheiden können. Auch andere Studien konnten zeigen, dass die Repräsentation von Kausalität bereits im ersten Lebensjahr beginnt und Veränderungen im kausalen Denken zwischen Kindheit und Erwachsenenalter weit weniger dramatisch sind als Piaget annahm (vgl. Cohen & Oakes, 1993; Muentener & Carey, 2010; Sodian, 2008).

3.2.2 Naturwissenschaftliches Wissen im Säuglingsalter

Schon in der frühen Kindheit ist bereichsspezifisches Wissen in verschiedenen Domänen zu beobachten. Eine der frühesten Unterscheidungen, die Säuglinge treffen, ist die Differenzierung zwischen Lebewesen und unbelebten Objekten. Bereits mit zwei bis drei Monaten unterscheiden Kinder in ihrem Verhalten zwischen Menschen und unbelebten Dingen (Gelman & Opfer, 2002) und mit sieben Monaten können sie Tiere und Menschen kategorial von Möbeln oder Fahrzeugen unterscheiden (Pauen, 2002). Dabei stützen sie ihre Unterscheidung nicht nur auf statische Merkmale (z.B. Gesichter, Konturen), sondern scheinen bereits begriffliches Wissen z.B. über das Bewegungsverhalten von belebten und unbelebten Dingen zu besitzen (vgl. Sodian, 2008).



Beispielsweise erwarten schon sieben Monate alte Babys, dass sich Lebewesen wie Tiere und Menschen, nicht aber Bauklötze und Möbel, selbstinitiiert bewegen können (Spelke, Phillips & Woodward, 1995), und schreiben die Bewegungsursache in einer Szene, in der sich ein Lebewesen (Spielzeugtier) und ein Artefakt (Ball) gemeinsam bewegen, eindeutig dem Tier zu (Träuble, 2004). Kinder scheinen damit bereits im ersten Lebensjahr über ein intuitives biologisches Verständnis zu verfügen.

Im Gegensatz zum biologischen Verständnis Erwachsener beruht das frühkindliche Verständnis zunächst auf Wissen über bestimmte Verhaltensmerkmale (z.B. bewegt sich von alleine oder bewegt sich nicht von alleine). Biologisches Wissen über nicht direkt beobachtbare funktionale Merkmale wie Wachstum, Stoffwechsel oder Reproduktion entsteht erst später; zum Teil glauben z.B. selbst jüngere Grundschul Kinder häufig noch, dass Pflanzen keine Lebewesen seien (Hatano, Siegler, Richards & Inagaki, 1993).

Auch für die unbelebte Domäne wurden bereits im ersten Lebensjahr erstaunliche Kenntnisse nachgewiesen. Gut untersucht ist der Bereich der intuitiven Physik, zu dem die Entwicklung unseres Wissens über die Eigenschaften physikalischer Objekte gehört. Nach Elizabeth Spelke (1994) bestimmen drei fundamentale Prinzipien das physikalische Denken: (1) das Prinzip der Kohäsion (Objekt bewegen sich als zusammenhängende Einheiten mit definierbaren Außengrenzen), (2) das Prinzip der Kontinuität (Objekte sind feste, solide Körper und kontinuierlich existierende Entitäten, die sich auf kontinuierlichen Bahnen bewegen und einen definierten Raum einnehmen) und (3) das Prinzip des Kontakts (ein Objekt beeinflusst die Bewegung eines anderen nur über physischen Kontakt).

Spelkes Untersuchungen zum Objektverständnis im Säuglingsalter weisen darauf hin, dass schon vier Monate alte Säuglinge die Prinzipien der Kontinuität und Solidität verstehen und überrascht reagieren, wenn Objekte sich nicht konsistent mit diesen Prinzipien verhalten. In einer Habituationsstudie (Erwartungs-Verletzungs-Paradigma) wurden die Babys daran gewöhnt, wie ein Ball von oben hinter einen Wandschirm fiel; wenn der Wandschirm hochgezogen wurde, lag der Ball am Boden (Spelke, Katz, Purcell & Ehrlich, 1994). In der Testphase wurde eine Tischplatte eingezogen und wiederum fiel ein Ball hinter den Wandschirm. Den Kindern wurden nun zwei Testszenen präsentiert: Im physikalisch möglichen Ereignis lag der Ball nach Verschwinden des Wandschirms auf der Tischplatte, im physikalisch unmöglichen Ereignis lag er unter der Tischplatte. Falls die Säuglinge über ein physikalisches Grundverständnis im Sinne der Kontinuität und Solidität von Objekten verfügen, sollten sie auf das physikalisch unmögliche Ereignis, welches eine Verletzung ihrer physikalischen Erwartungen darstellt, erstaunter reagieren als auf das

mögliche Ereignis. In der Tat betrachteten die Säuglinge die mit physikalischen Prinzipien inkonsistente Testszene länger als das konsistente Ereignis, was auf ein sehr frühes Verständnis von Kontinuität und Solidität hinweist. Weitere Experimente konnten eine Differenzierung zwischen prinzipienkonsistenten und -inkonsistenten Ereignissen sogar schon bei zweieinhalb Monate alten Säuglingen nachweisen (Spelke, 1991).

Untersuchungen zum Kontaktprinzip zeigen, dass sechs Monate alte Babys Ereignissequenzen, in denen ein Objekt ein anderes Objekt berührt, das sich daraufhin in Bewegung setzt, kausal interpretieren (Leslie, 1982; Leslie & Keeble, 1987; Oakes, 1994). Auf Verletzungen des Kontaktprinzips reagieren Säuglinge im Erwartungs-Verletzungs-Paradigma mit unbelebten Objekten erstaunt, z.B. wenn sich Klötze von allein in Bewegung setzen; sie sind jedoch nicht überrascht, wenn Personen ohne vorherige Berührung eine Bewegung initiieren (Spelke et al., 1995). Säuglinge verfügen damit bereits im ersten Lebensjahr über ein physikalisches Objektverständnis und reagieren überrascht, wenn Ereignisse gegen diese Prinzipien verstoßen. Von Anfang an wenden Kinder dieses Wissen nur auf die Domäne unbelebter Objekte an, während sie bei Lebewesen einen Verstoß gegen das Kontaktprinzip nicht erstaunlich finden (vgl. auch Kotovsky & Baillargeon, 2000; Sodian, 2008).

Beobachten Säuglinge allerdings weniger gravierende Abweichungen von physikalischen Prinzipien als die eben beschriebenen, reagieren sie weniger erstaunt. Beispielsweise wundern sich drei Monate alte Säuglinge, wenn eine Schachtel einfach im Raum losgelassen wird und in der Luft hängen bleibt, ohne herunterzufallen, sind jedoch nicht überrascht, wenn die Schachtel nur mit der äußersten Kante auf einem Tisch aufliegt und trotzdem nicht herunterfällt. Erst mit 6 Monaten beachten Kinder das Ausmaß des Kontakts (genügend Auflagefläche?) und die Form (d.h. den Schwerpunkt) der Schachtel (Baillargeon, 1998; Baillargeon, Kotovsky & Needham, 1995). Nach Baillargeon bilden angeborene, fundamentale Prinzipien die Basis für den physikalischen Wissenserwerb, notwendig sind jedoch auch Lernerfahrungen mit Objektkollisionen, Objektverdeckung oder Objektstützung, um Regeln über die Zusammenhänge zwischen Objekteigenschaften und Ereignisse zu erwerben.

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen damit, dass Kinder bereits sehr früh über Kenntnisse (sog. Kernwissen) im Bereich der Naturwissenschaften, sowohl in der belebten als auch in der unbelebten Domäne, verfügen und diese frühen Repräsentationen sich zunehmend ausdifferenzieren. Diese Befunde deuten auf die Ähnlichkeit grundlegender physikalischer Intuitionen von Kindern und Erwachsenen hin. Schon Säuglinge teilen einige der fundamentalen Erwartungen, die wir an physikalische Objekte stellen. Allerdings können ältere Kinder dieses über das Blickverhalten diagnostizierte Wissen nicht zwangsläufig auch in einem Handlungskontext anwenden (Hood, Cole-Davies & Dias, 2003). Es besteht derzeit noch kein Konsens darüber, ob sich in der frühkindlichen Kompetenz tatsächlich explizites konzeptuelles Wissen widerspiegelt, oder es sich eher um implizite Kenntnisse oder rein perzeptive Reaktionen handelt (Sodian, 2008). Selbst im letzteren Fall wiesen die Befunde jedoch auf eine sehr frühe Sensitivität für das Verhalten von Objekten hin, welche die Voraussetzung für den Erwerb von Wissen und die Erwartungsbildung dar-

stellt. Einen aktuellen Überblick zu Lernprozessen und frühen Repräsentationen über physikalische Ereignisse bieten Baillargeon und Carey (in press; vgl. auch Baillargeon, Li, Gertner & Wu, 2011). Säuglinge sind schon sehr früh sehr kompetent darin, aus Erfahrung und Demonstrationen zu lernen (z.B. Wang & Baillargeon, 2008; Wang & Kohne, 2007). Dabei scheint der kommunikative Kontext eine besondere Rolle zu spielen und das frühe Lernen zu erleichtern („Natural Pedagogy“-Ansatz von Csibra & Gergely, 2009; Futó, Téglás, Csibra & Gergely, 2010).

3.2.3 Zusammenfassung naturwissenschaftlicher Kompetenzen im Säuglingsalter

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass schon Säuglinge über Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken verfügen (vgl. Tabelle 2). Studien zum frühen Kausalverständnis zeigen, dass bereits sechs Monate alte Säuglinge über Ursache und Wirkung von Ereignissequenzen nachdenken. Zudem verfügen schon sehr junge Säuglinge über spezifisches Wissen, so genanntes Kernwissen in verschiedenen Inhaltsbereichen. Sie stellen unterschiedliche Erwartungen an das Verhalten von Lebewesen und unbelebten Objekten und scheinen erste naturwissenschaftliche Kenntnisse z.B. über physikalische Prinzipien zu besitzen. Kommunikative Einbettung und konkrete Erfahrungen unterstützen die Entwicklung und das Lernen der Kinder bereits im ersten Lebensjahr.

3.3 Naturwissenschaftliche Kompetenzen im Kleinkindalter (2 – 3 Jahre)

3.3.1 Wissenschaftliches Denken im Kleinkindalter

Auch bei Kleinkindern ab zwei Jahren wurde die Fähigkeit des kausalen Denkens untersucht, die eine wichtige Grundlage für die Deutung naturwissenschaftlicher Phänomene darstellt. Studien von Gopnik und Kollegen konnten zeigen, dass bereits Zweijährige die Fähigkeit besitzen, aus bedingten und unbedingten Wahrscheinlichkeiten kausale Schlussfolgerungen zu ziehen und damit neue kausale Zusammenhänge zu lernen (Gopnik & Sobel, 2000; Gopnik, Sobel, Schulz & Glymour, 2001). Durch Beobachtungen mit dem für die Kinder neuen „blicket detector“ – einer Maschine, die durch bestimmte Objekte („blickets“) in Gang gesetzt werden kann, so dass sie blinkt und Musik spielt – können schon Kleinkinder richtig erschließen, welche von mehreren unbekanntem Objekten Blickets sind, und diese Information zur korrekten Kategorisierung der Objekte und - durch richtige Auswahl der kausal wirksamen Objekte - zum Starten der Maschine nutzen. Mit drei Jahren sind die Kinder in der Lage, die kausale Relation auch im Hinblick auf die Aufhebung des Effekts nachzuvollziehen, d.h. sie verstehen, dass zum Stoppen der Maschine bei mehreren in Frage kommenden Objekten notwendigerweise das Blicket entfernt werden muss (Gopnik et al., 2001).

Nach Bullock, Gelman und Baillargeon (1982) ist das kausale Denken durch drei Prinzipien gekennzeichnet: Die Prinzipien (1) des Determinismus (An-

nahme der Kausalität physikalischer Ereignisse), (2) der Priorität (Annahme, dass eine Ursache einem Effekt vorausgeht) und (3) des Mechanismus (Annahme, dass Ursachen ihre Effekte direkt oder durch vermittelnde Ereignisse bedingen). Während Kinder schon Säuglinge über diese drei kausalen Denkprinzipien zu verfügen scheinen, tun sie sich im Kleinkindalter in komplexeren kausalen Ereignissequenzen teilweise noch schwer, die Unterschiede zwischen Ausgangs- und Endzustand zu berücksichtigen.

Präsentiert man dreijährigen Kindern Bildkarten, auf denen ein Ausgangszustand (z.B. eine Tasse), ein veränderter Zustand des Objekts (z.B. Scherben) und ein Instrument zur Transformation des Objekts von Ausgangs- in den Endzustand (z.B. ein Hammer) abgebildet sind, so sind sie in der Lage, unvollständige Bildergeschichten aus nur zwei Komponenten richtig zu ergänzen, indem sie die fehlende dritte Komponente aus drei Möglichkeiten auswählen (Gelman, R., Bullock & Meck, 1980). Dabei wird die fehlende Komponente auch bei ungewöhnlichen, nicht alltäglichen Ereignisabfolgen richtig ergänzt (z.B. Wiederherstellen einer Banane mit Nadel und Faden). Da die Lösung dieser Art von Problem jedoch auch möglich ist, ohne eine kausale Transformation zwischen Anfangs- und Endzustand vorhersagen zu können (die Beachtung des Endzustands reicht zur Problemlösung aus), sprechen die Ergebnisse noch nicht für ein Verständnis von kausalen Veränderungen von Objektzuständen (vgl. Rempp, 2007).

DasGupta und Bryant (1989) zeigten Kleinkindern daher Ereignissequenzen, bei denen das Ausgangsobjekt bereits in verändertem Zustand zu sehen war (z.B. zerbrochene Tasse) und das Endobjekt in einem doppelt veränderten Zustand (z.B. zerbrochene, nasse Tasse) präsentiert wurde. Hier hatten Dreijährige deutlich größere Schwierigkeiten, das für den Endzustand verantwortliche Transformationsobjekt zu identifizieren und wählten oft Objekte aus, die den Ausgangszustand verursacht haben könnten. Sie hatten damit noch Schwierigkeiten, den Unterschied und die Beziehung zwischen Anfangszustand und Endzustand zu verstehen. Vierjährige zeigten hingegen bessere Leistungen beim kausalen Schlussfolgern in dieser Aufgabe.

Während Kleinkinder somit bei einfachen Aufgaben durchaus eine kausale Beziehung zwischen Ursache und Effekt repräsentieren können, fällt die Repräsentation komplexer kausaler Transformationen zwischen einem Ausgangs- und einem Endzustand mit drei Jahren häufig noch fehlerhaft aus. Ist der kausale Mechanismus jedoch so einfach, dass die Kinder ihn sofort verstehen, können sie bereits relevante von irrelevanten Modifikationen in einer physikalischen Ereigniskette unterscheiden. Sehen Kinder eine Kettenreaktion, in der das Anstoßen eines Klötzchens über eine Serie von umfallenden Dominosteinen dazu führt, dass ein Spielzeughase in sein Bettchen fällt, dann verstehen schon Dreijährige, dass die Kettenreaktion unterbrochen wird, wenn ein Stab verwendet wird, der zu kurz ist, um die Dominosteine anzustoßen, dass es aber nichts ausmacht, wenn die Farbe oder das Material von Dominosteinen oder Stab verändert wird (Bullock et al., 1982; Sodian, 2008). Bereits mit drei Jahren zeigen Kinder somit Einsicht in einen einfachen kausalen Mechanismus.

3.3.2 Naturwissenschaftliches Wissen im Kleinkindalter

Schon mit drei Jahren lässt sich bei Kleinkindern intuitives biologisches Wissen nachweisen. Obwohl diese frühen Kenntnisse noch defizitär sind, verstehen Kleinkinder bereits, dass einige spezifisch biologische Prozesse wie Atmung, Wachstum oder Selbstheilung nur bei Lebewesen und nicht bei Artefakten vorkommen (Hickling & Gelman, 1995; Inagaki & Hatano, 1993; 1996). Die Kinder haben also ihr frühkindliches Wissen um das beobachtbare Verhalten belebter und unbelebter Objekte um ein differenzierteres funktionales Wissen einer vitalistischen Biologie anreichern können.

Entsprechend macht auch das physikalische Wissen im Kleinkindalter Fortschritte. Jedoch ist die intuitive Physik in diesem Alter besonders häufig von Misskonzeptionen gekennzeichnet. Solche fehlerhaften physikalischen Vorstellungen betreffen z.B. die Erwartung des senkrechten Falls von Objekten. Wie bereits gezeigt wurde, erwarten schon wenige Monate alte Babys, dass ein Objekt senkrecht zu Boden fällt, wenn sein Fall nicht gebremst oder durch ein anderes Objekt umgelenkt wird. Zwei- bis vierjährige Kinder generalisieren diese Erwartung des senkrechten Falls häufig fehlerhaft auf Situationen, in denen aus der Wahrnehmung Belege für die Umlenkung von Objekten verfügbar sind (vgl. Sodian, 2008). Sollen Kleinkinder ein Objekt suchen, das abwechselnd in eine von drei sich kreuzenden undurchsichtigen Röhren geworfen wurde, suchen sie überzufällig häufig das Objekt in dem Behälter, in dem es nach senkrechten Fall gelandet wäre (Hood, 1998). Erst wenn transparente Röhren verwendet werden und damit die Verlagerung des Objekts sichtbar gemacht wird, suchen schon Zweijährige richtig. In diesem Fall scheint die Wahrnehmung der empirischen Evidenz erleichtert und die Kleinen können ihre fehlerhafte Erwartung im Handeln überwinden. Das Misskonzept des „Straight-Down Beliefs“ (die Überzeugung, dass Objekte, wenn sie fallen gelassen werden, senkrecht zu Boden fallen) ist jedoch eine hartnäckige Fehlüberzeugung, der selbst viele Erwachsene noch unterliegen, wenn sie z.B. die Flugbahn eines Balles vorhersagen sollen (McCloskey, Washburn & Felch, 1983; Wilkening, Huber & Cacchione, 2006).

3.3.3 Zusammenfassung naturwissenschaftlicher Kompetenzen im Kleinkindalter

Kleinkinder verstehen grundsätzliche kausale Prinzipien und beginnen, diese in ihrem Denken und Handeln anzuwenden (vgl. Tabelle 2). Sie suchen nach Ursachen für Ereignisse, die dem Effekt zeitlich vorausgehen, und zeigen erste Einsicht in kausale Mechanismen. Dabei fällt es Kleinkindern noch schwer, mehrere Objektzustände gleichzeitig zu repräsentieren und mit der korrekten kausalen Transformationsursache zwischen Anfangs- und Endzustand in Verbindung zu bringen. Auch das naturwissenschaftliche Wissen von Kleinkindern ist noch fehlerbehaftet. Trotz verschiedener Misskonzeptionen verfügen Kleinkinder jedoch bereits über inhaltliche Kenntnisse in der biologischen oder der physikalischen Domäne, die in vielem dem Wissen Erwachsener ähneln.

3.4 Naturwissenschaftliche Kompetenzen im Vorschulalter (4 – 6 Jahre)

3.4.1 Wissenschaftliches Denken im Vorschulalter

Im Vorschulalter unterscheidet sich das kausale Denken nicht mehr wesentlich von dem Erwachsener (vgl. Bullock et al., 1982; Sodian, 2008). Die Kinder berücksichtigen die drei fundamentalen kausalen Prinzipien und wenden diese in ihrem Denken an: (1) Sie denken deterministisch, d.h. sie nehmen an, dass ein Ereignis im Regelfall eine Ursache hat (Prinzip des Determinismus). (2) Sie gehen bei der Suche nach Ursachen davon aus, dass als Ursachen nur solche in Frage kommen, die dem Effekt zeitlich vorangehen, und nicht solche, die ihm nachfolgen (Prinzip der zeitlichen Priorität). (3) Schließlich unterstellen Vorschulkinder wie Erwachsene kausale Mechanismen, d.h. sie machen Annahmen darüber, auf welche Weise ein fraglicher Effekt zustande gekommen sein kann (Prinzip des Mechanismus).

Vier- bis fünfjährige Kinder suchen ebenso wie Erwachsene nach einer Ursache für ein Ereignis, die durch einen plausiblen Mechanismus mit dem Effekt in Verbindung gebracht werden kann. Sollen sie z.B. entscheiden, ob eine rollende Kugel oder ein wandernder Lichtpunkt ein Schachtelteufelchen zum Erscheinen gebracht hat, wählen sie die Kugel und nicht das Licht. Haben Rollbahn der Kugel und Schachtel aber einen Abstand von mehreren Zentimetern und besteht somit kein physischer Kontakt, weisen die Kinder sowohl Kugel als auch Licht als Ursache für das Erscheinen des Teufelchens zurück (Bullock et al., 1982).



Auch relevante von nicht relevanten Modifikationen einer physikalischen Kettenreaktionen können drei- bis vierjährige Kinder sicher unterscheiden und demonstrieren damit ihr Verständnis kausaler Mechanismen (Hase-Domino Versuch von Bullock et al., 1982, siehe oben). Weiterhin können Kinder ab vier Jahren kausale Eigenschaften eines Objekts sicher auf bestimmte innere (nicht mehr sichtbare) Teile eines Gegenstands zurückführen („the blicket within“), wogegen Dreijährige sich noch mehr an der äußeren Erscheinung orientieren (Sobel, Yoachim, Gopnik, Meltzoff & Blumenthal, 2007).

Weiterhin macht das wissenschaftliche Denken von Vorschulkindern große Fortschritte in der Koordination von Hypothesen und Evidenzen. Während Kuhn und Kollegen davon ausgehen, dass Kinder im Vorschulalter noch nicht über die Fähigkeit zur bewussten Koordination von Theorien und Evidenzen

verfügen (Kuhn et al., 1988; Kuhn & Pearsall, 2000) und nach diesem strengen Kriterium somit noch nicht zu wissenschaftlichem Denken in der Lage seien, postulieren andere Autoren, dass bereits Kinder im Alter von vier Jahren zwischen kausalen Annahmen und Evidenzen differenzieren können (Koerber, Sodian, Thoermer & Nett, 2005; Ruffman, Perner, Olson & Doherty, 1993; Sodian & Bullock, 2008; Sodian, Bullock & Koerber, 2008; Sodian, Thoermer & Koerber, 2008; Sodian, Zaitchik & Carey, 1991).

In einer Studie von Koerber, Sodian und Kolleginnen (2005) wurde Kindern im Alter von vier bis sechs Jahren eine „Überzeugungs-Revisions“-Geschichte erzählt, in der eine Figur (die Puppe Robby) eine bestimmte Annahme hatte (z.B. dass grünes Kaugummi schlechte Zähne verursacht). Der Figur wurden dann Evidenzen präsentiert, die mit ihrer Annahme inkonsistent waren (z.B. perfekte Kovariation von grünem Kaugummi mit guten Zähnen und rotem Kaugummi mit schlechten Zähnen). Anschließend sollten die Kinder beantworten, ob die Figur ihre Annahme ändern würde und wenn ja, was sie nun glauben würde. Während die Mehrzahl der Fünf- und Sechsjährigen richtige Antworten gab, erwiesen sich auch die Antworten der Vierjährigen schon überzufällig häufig als korrekt. Die Kinder ab vier Jahren verstanden also, dass Robby nach Kenntnis der dargebotenen Evidenz seine Annahme ändern würde. Die älteren Vorschulkinder (5-6 J.) waren darüber hinaus in der Lage nachzuvollziehen, welche irrigen Annahmen eine dritte Figur (die Puppe Paul) über den Zusammenhang zwischen Kaugummifarbe und Zahngesundheit treffen würde, wenn sie nur unvollständige Evidenzen sähe, die über den tatsächlichen, den Kindern bekannten Zusammenhang in die Irre führten. Die Leistung der Kinder war insgesamt besser, je weniger Variablen kombiniert werden mussten und je weniger die angenommenen Überzeugungen mit ihrem Vorwissen kollidierten (z.B. wenn ein Bezug zwischen dem Essen von Süßigkeiten und guten Zähnen sowie von Äpfeln und schlechten Zähnen gelernt werden sollte statt andersherum).

Damit scheinen schon Vorschulkinder ein Verständnis für die Kovariation von Annahmen und Evidenzen zu besitzen: Sie verstehen, dass bestimmte Evidenzen bei einer Person zur Revision einer Annahmen führen können und auch, dass andere Personen durch beschränkten Zugang zu Evidenzen fälschliche Annahmen entwickeln oder beibehalten. Diese Interpretation wird durch Forschungsergebnisse zur Entwicklung der „Theory of Mind“ (Theorie des Geistes) gestützt, der Fähigkeit, uns selbst und anderen Wünsche, Absichten und Überzeugungen zuzuschreiben, um menschliches Verhalten zu erklären (Perner, 1991; Sodian & Thoermer, 2006; Sodian & Frith, 2008). Diese mentalistische Alltagspsychologie entwickelt sich im Laufe des Vorschulalters; wichtige Vorläufer finden sich bereits im Säuglingsalter. Die Fähigkeit zum Verständnis falscher Überzeugungen, d.h. dass eine Person aufgrund fehlender Evidenz (z.B. weil sie nicht im Zimmer war) eine falsche Annahme besitzt (z.B. über den Ort eines versteckten Objekts), ist mit drei Jahren noch mangelhaft, mit vier Jahren aber sicher vorhanden.

Etwas später, ab sechs Jahren, gelingt es Kindern zudem, zwischen einem informativen und einem nicht-informativen Test für eine Hypothese auszuwählen (Sodian et al., 1991). Sollten die Kinder im Rahmen einer entsprechenden Geschichte herausfinden, ob sich eine große oder eine kleine Maus im Haus

befindet und haben die Wahl zwischen zwei Boxen mit großer vs. kleiner Öffnung, in die das Futter zum Anlocken der Maus gelegt werden soll, so war die Mehrheit der Sechs- und Siebenjährige in der Lage, den beweiskräftigen Test (Box mit kleiner Öffnung) auszuwählen. Spontan generierten jedoch erst ein Fünftel bis ein Viertel der Kinder einen schlüssigen Test zur Hypothesenprüfung; dies ist ein Hinweis darauf, dass die Entwicklung eigener Ideen zur empirischen Überprüfung von Annahmen sich erst später entwickelt und vermutlich stärker von einer Schulung im wissenschaftlichen Denken und Vorgehen abhängig ist als das reine Auswählen zwischen schlüssigen und nicht schlüssigen Alternativen.

Kinder im Vorschulalter verfügen somit über wichtige Voraussetzungen zum wissenschaftlichen Denken: Sie verstehen fundamentale kausale Prinzipien und wenden dieses Kausalverständnis an, wenn sie über Ursache und Wirkung in Ereignisketten nachdenken. Weiterhin zeigen sie Ansätze zur Koordination von hypothetischen Annahmen und empirischen Evidenzen und verstehen das Konzept der (falschen) Überzeugung. Damit sind Kinder bereits im Kindergartenalter zu zentralen Aspekten des wissenschaftlichen Denkens in der Lage.

3.4.2 Naturwissenschaftliches Wissen im Vorschulalter

Im Vorschulalter besitzen Kinder im Bereich der Biologie ein Wissen, das dem biologischen Wissen Erwachsener in vielem ähnelt. So haben schon Drei- bis Vierjährige intuitive Kenntnisse über eine Reihe biologischer Prozesse wie Wachstum, Vererbung oder Krankheit und wissen, dass diese Prozesse spezifisch für Lebewesen sind (Hickling & Gelman, 1995; Inagaki & Hatano, 1993; 1996; Opfer & Siegler, 2004). Wie Erwachsene glauben Vorschulkinder, dass biologische Merkmale wahrscheinlicher vererbt werden als psychologische Merkmale, und dass ein interner biologischer Mechanismus für Vererbung verantwortlich ist und kein psychologischer. Sie erwarten, dass Mitglieder der gleichen Tier- oder Menschenfamilie gemeinsame anatomische oder physiologische Merkmale teilen, auch dann, wenn äußerliche Ähnlichkeit mit biologischer Verwandtschaft in Konflikt steht (Springer, 1992). Ferner haben Vorschulkinder Intuitionen über ein speziesspezifisches angeborenes Potential („Essenz“), das sich unabhängig von der Umgebung entfaltet, z.B. dass ein Kalb, das unter Schweinen aufwächst, eine Kuh und kein Schwein wird (Gelman, S. A., 2003; Gelman, S. A. & Wellman, 1991). Allerdings generalisieren Vorschulkinder ihren Essentialismus häufig auch auf psychologische Merkmale und führen dann auch Einstellungen und Verhalten auf Vererbung zurück (Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey, 1996). Erst im Grundschulalter scheint sich eine genuin biologische Wissensdomäne aus einer vorher biologisch-psychologischen Domäne auszudifferenzieren, wobei kulturell vermittelte Lernprozesse eine zentrale Rolle spielen (Astuti, Solomon & Carey, 2004). Auch die animistischen Erklärungen jüngerer Kinder für biologische Phänomene (die Überattribution von Wünschen, Absichten und anderen „lebendigen“ Merkmalen zu Nichtlebewesen, z.B. „Das Herz will das Blut im Körper verteilen“) sind vermutlich eine Folge dieser sich noch ausdifferenzierenden vitalistischen biologisch-psychologischen Wissensdomäne (Inagaki & Hatano, 1993; Sodian, 2008).

Auch das physikalische Wissen differenziert sich im Vorschulalter aus, wobei nach wie vor physikalische Misskonzepte zu beobachten sind. Allerdings scheinen fehlerhafte Urteile oft nicht handlungsleitend zu sein bzw. Handlungsaufgaben teils besser als Urteilsaufgaben gelöst zu werden. Unterschiede zwischen Urteils- und Handlungsaufgaben berichten Krist, Fieberg und Wilkening (1993), die das Wissen von fünf- bis zehnjährigen Kindern über Faktoren, die den Zielwurf beeinflussen, untersuchten (Zieldistanz und Abwurfhöhe). Die Kinder sollten die erforderliche Abwurfgeschwindigkeit bestimmen, mit der ein Tennisball von einer Plattform gestoßen werden musste, um bei einer bestimmten Zielmarkierung am Boden aufzuschlagen (Rating-Urteil). In einer Handlungsaufgabe sollten die Kinder die Abwurfgeschwindigkeit durch das Abstoßen des Balles selber produzieren. Für beide Aufgaben wurden die Höhe der Plattform und die horizontale Zieldistanz variiert. Während die Kinder (und auch einige Erwachsene) in der Urteilsaufgabe häufig physikalische Misskonzepte zeigten (z.B. „Je höher die Abwurfhöhe, desto höher die benötigte Abwurfgeschwindigkeit.“), konnten schon die jüngsten Kinder in der Handlungsaufgabe Distanz und Höhe korrekt integrieren und mit zunehmender Abwurfhöhe die Abstoßgeschwindigkeit reduzieren bzw. bei zunehmender Zieldistanz die Geschwindigkeit erhöhen. Urteile und Handlungen scheinen damit von partiell unabhängigen Wissenssystemen generiert zu werden (vgl. Sodian, 2008). Während Vorschulkinder wie auch Erwachsene in Urteilsaufgaben häufig Fehler machen, demonstrieren bereits Fünfjährige in Handlungsaufgaben ein beeindruckendes physikalisches Wissen, welches mehrere ergebnisrelevante Faktoren korrekt in Bezug setzt. Einen Überblick zum Wissen von Vorschulkindern in anderen physikalischen Domänen wie Zeit, Geschwindigkeit, Masse oder Kraft bieten Wilkening, Huber und Caccione (2006).

Ein weiterer Wissensbereich, der zunehmend für das Vorschulalter untersucht wird, ist das chemische Wissen. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass schon Vorschulkinder Kenntnisse über Vorgänge der Chemie besitzen, einer Domäne, die als „Lehre von den Stoffen und Stoffumwandlungen“ definiert werden kann (Das neue Bertelsmann Lexikon, 2002; zitiert nach Rempp, 2007). Ab etwa vier Jahren beginnen Kinder, materielle und immaterielle Substanzen zu differenzieren, z.B. können sie zwischen mentalen Gebilden wie Ideen und Gedanken (z.B. Traum über einen Keks) und physikalischen Objekten (z.B. realer Keks) unterscheiden (Estes, Wellman & Woolley, 1989). Allerdings tun sich Vorschulkinder bei der Unterscheidung zwischen materiellen und immateriellen Dingen insbesondere mit der Zuordnung von Flüssigkeiten und Gasen schwer, die zunächst nicht eindeutig als materiell klassifiziert werden (Carey, 1991). Im Gegensatz zu Erwachsenen scheint dabei das Gewicht (Masse) kein konstituierendes Merkmal für Materie zu sein (z.B. wird Styropor zwar als materiell betrachtet, aber behauptet, es wiege „nichts“), zudem haben Vorschulkinder noch ein undifferenziertes Konzept von Gewicht und Dichte und verwechseln das absolute Gewicht eines Objekts mit dem spezifischen Gewicht des Materials, aus dem das Objekt gemacht ist (vgl. Carey, 1991; Sodian, 2008).

Das Wissen über Aggregatzustände von Wasser, wie Verdampfen oder Schmelzen von Eis, ist vor allem bei Grundschulkindern untersucht wurden. Während etwa die Hälfte der sechsjährigen Kinder erklären kann, dass Was-

serdampf entsteht, wenn Wasser gekocht wird, nimmt das Wissen über Zustandsveränderungen (z.B. das der Dampf aus dem Wasser kommt, oder wie Kondenswasser entsteht) im Laufe des Grundschulalters noch deutlich zu (Bar & Trevis, 1991; Osborne & Cosgrove, 1983).

Auch das Verständnis über die Erhaltung von Substanzen, wenn diese in Wasser gelöst und nicht sehr sichtbar sind, ist Kindern typischerweise erst ab dem Schulalter zugeschrieben worden (Piaget & Inhelder, 1975; Slone & Bockhurst, 1992). Neuere Studien, die dem Vorschulalter angepasste Methoden verwenden, konnten jedoch schon bei Kindergartenkindern ein Verständnis für die Konservierung von Substanzen nachweisen. In der Studie von Rosen und Rozin (1993) konnten fast alle Dreijährige so gut wie Vier- und Fünfjährige die Erhaltung von Geschmack (süß, sauer) verstehen, wenn Zucker bzw. Zitronensäure in Wasser aufgelöst wurde, und das entstehende Getränk (im Vergleich mit identisch aussehendem reinen Wasser) richtig derjenigen von zwei Figuren aus der Sesamstrasse zuordnen, die die betreffende Geschmacksrichtung bevorzugte. Sollten die Kinder nach Verdeckung beider Gläser herausfinden, in welchem sich die gelöste Substanz und in welchem das reine Wasser befand, zeigten sich jedoch die älteren Kinder den jüngeren überlegen: Während ein Viertel der Vierjährigen und die Hälfte der Fünfjährigen spontan das Probieren (Schmecken) der Lösungen als möglichen Test vorschlug, kam nur ein Zehntel der Dreijährigen auf diesen Gedanken. Sollten die Kinder jedoch entscheiden, welche von drei Vorgehensweisen (Hören, Fühlen, Schmecken) ein hilfreicher Weg zur Unterscheidung sein könnte, wählten fast alle Vier- und Fünfjährigen und immerhin ein Drittel der Dreijährigen korrekt das Schmecken aus. Auf die Frage, was mit der Substanz beim Einrühren passiert sei, demonstrierten bereits ein Drittel der Drei- und Vierjährigen und über die Hälfte der Fünfjährigen in ihren Antworten ein Verständnis der Erhaltung der Substanz (z.B. „Es ist noch da, im Wasser, untergemischt... Man kann es nicht mehr sehen, aber ich weiß, dass es da ist, du hast es eingerührt.“).

Solche Befunde (vgl. auch Au, Sidle & Rollins, 1993; Rosen & Rozin, 1993) machen deutlich, dass bereits Kleinkinder ab drei Jahren über einfaches chemisches Wissen wie zum Beispiel die Erhaltung von Geschmack (Eigenschaft einer Substanz) verfügen als auch über ein beginnendes Konzept der Erhaltung der Substanz selbst, welches wiederum eine Voraussetzung für das Verständnis des Teilchenmodells von Substanzen darstellt. Das Verständnis, dass Substanzen aus Teilchen bestehen (z.B. sichtbare Zuckerkörnchen bzw. Moleküle, Atome), die auch bei Veränderung ihrer Erscheinung (Auflösen in kleinere, nicht mehr sichtbare Teilchen) weiter existent bleiben und nicht im Nichts verschwinden (z.B. also ein Gewicht haben), ist ein zentrales chemisches Prinzip, dessen Verständnis sich bereits im Vorschulalter anbahnt.

Schließlich zeigte sich auch in einer Studie von Rempp (2007), die vier- und fünfjährige Kindergartenkinder vor der Teilnahme an einem naturwissenschaftlichen Bildungsprogramm im Hinblick auf ihre Chemiekenntnisse untersuchte, dass bereits Vorschulkinder über ein beträchtliches chemisches Wissen (z.B. über Aggregatzustände von Wasser, das Lösen von Salz/Zucker in Wasser oder das Mischen verschiedener Substanzen) verfügen.

3.4.3 Zusammenfassung naturwissenschaftlicher Kompetenzen im Vorschulalter

Kinder im Vorschulalter erfüllen zentrale Voraussetzungen zum wissenschaftlichen Denken: Sie verstehen fundamentale kausale Prinzipien und wenden dieses Kausalverständnis richtig an, wenn sie über Ursache und Wirkung nachdenken. Sie verstehen das Konzept der falschen Überzeugung und zeigen Ansätze zur bewussten Unterscheidung und Koordination von hypothetischen Annahmen und empirischen Evidenzen. Weiterhin sind sich Vorschulkinder zunehmend des Ursprungs ihres Wissens bewusst, also woher sie wissen, dass sie etwas wissen (vgl. Kuhn & Pearsall, 2000).

Das Vorschulalter markiert damit eine Entwicklungsphase, in welcher aus dem Denken mit Theorien allmählich ein Denken über Theorien zu entstehen beginnt (vgl. Tabelle 2). Das bewusste Verständnis dieser Differenzierung von Annahmen und Wirklichkeit erfordert die Fähigkeit zur Metakognition, d.h. die Fähigkeit zum Nachdenken über das Denken, welche im Laufe des Schulalters wesentliche Fortschritte macht und nach Autoren wie Piaget oder Wygotski erst im Jugendalter vollständig ausgeprägt ist. Befunde der neueren Entwicklungspsychologie machen jedoch deutlich, dass sich wichtige Teilkompetenzen des wissenschaftlichen Denkens schon weit früher entwickeln als bisher angenommen und Kinder bereits im Kindergartenalter zu zentralen Aspekten des wissenschaftlichen Denkens in der Lage sind.

Zudem zeigt eine Reihe von Studien das vielfältige Wissen auf, welches Vorschulkinder bereits in naturwissenschaftlichen Domänen wie der Physik, der Biologie oder der Chemie besitzen. Obwohl das Wissen von Vorschulkindern noch durch verschiedene Misskonzeptionen oder mangelnde Differenzierung gekennzeichnet ist, ähnelt ihr Wissen in vertrauten Inhaltsbereichen in vielerlei Hinsicht schon dem Wissen von Erwachsenen (welche in unvertrauten Aufgabenstellungen ihrerseits ebenfalls häufig fehlerhafte Konzeptionen aufweisen).

In Anbetracht dieser beachtlichen Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Denken und Wissenserwerb einerseits, und dem großen Interesse junger Kinder an der Beobachtung und an der Produktion interessanter Effekte sowie an deren Erklärung durch eigenes Hinterfragen und Verstehen andererseits, scheint das Kindergartenalter ein ideales Entwicklungsstadium für den Beginn der naturwissenschaftlichen Bildung zu sein. Während man schon auf ein Basiswissen und –verständnis der Kinder zurückgreifen kann, bieten vorhandene Defizite und Misskonzeptionen fruchtbare Ansatzpunkte zur Erweiterung des kindlichen Wissens und der verfügbaren prozeduralen Fähigkeiten im wissenschaftlichen Denken und Vorgehen.

3.4.4 Tabellarische Zusammenschau frühkindlicher naturwissenschaftlicher Kompetenzen

Tabelle 2 stellt die wichtigsten Entwicklungsfortschritte im naturwissenschaftlichen Denken und Wissen im Säuglings-, Kleinkind- und Vorschulalter als Zusammenschau dar.

Tabelle 2. Entwicklungsfortschritte naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit

	Säugling	Kleinkind	Vorschulkind
Wissenschaftliches Denken und Wissen	Denken <i>mit</i> Theorien → Denken <i>über</i> Theorien		
	0-1 Jahre	2-3 Jahre	4-5 Jahre
Bereichsübergreifendes Denken	Einfaches Ursache-Wirkungsverständnis, Unterscheidung kausaler und nichtkausaler Ereignissequenzen	Verständnis einfacher kausaler Mechanismen, Lernen kausaler Ursache-Effekt Beziehungen, Verständnis bedingter und unbedingter Wahrscheinlichkeiten	Berücksichtigung fundamentaler kausaler Prinzipien, Verständnis kausaler Transformationen zwischen Anfangs- und Endzustand, Suche nach plausiblen (auch nicht sichtbaren) kausalen Mechanismen, beginnende Metakognition und Unterscheidung zwischen hypothetischen Annahmen und Evidenzen, Verständnis des Konzepts der falschen Überzeugung
Bereichsspezifisches Wissen	Unterscheidung belebter und nicht-belebter Domänen (Lebewesen vs. unbelebte Objekte), intuitives Verständnis fundamentaler physikalischer Prinzipien	intuitives biologisches Wissen (z.B. Atmung, Wachstum), intuitives physikalisches Wissen, allerdings noch häufig Misskonzepte	erwachsenenähnliches Wissen über biologische Prozesse, handlungsleitendes physikalisches Wissen, Berücksichtigung mehrerer ergebnisrelevanter Faktoren, chemisches Wissen zu Unterscheidung, Zustandsveränderung und Erhalt von Substanzen

4. Implikationen für die frühe mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung

Welche Konsequenzen ergeben sich aus dieser Analyse für die pädagogische Unterstützung der Entwicklung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Denkens im Kindergarten? Bei der Beantwortung dieser Frage wird zunächst die Bedeutung entsprechender Kompetenzen in unserer Gesellschaft hervorgehoben, anschließend werden Bezüge zwischen dem frühkindlichen Verständnis und späteren akademischen Leistungen aufgezeigt und schließlich, vor dem Hintergrund zentraler entwicklungspsychologischer Befunde, Möglichkeiten und Strategien zur Förderung mathematisch-naturwissenschaftlicher Kompetenzen diskutiert. Hierbei wird besonders die Notwendigkeit betont, individuelle Unterschiede im Ausgangsniveau und Vorwissen der Kinder zu beachten, z.B. in Abhängigkeit von der sozialen Schicht, da die Weiterentwicklung der geistigen Fähigkeiten (Lernerfolg) maßgeblich von einer guten Passung zwischen den Voraussetzungen der Kinder und den angebotenen Bildungsanregungen abhängt.

4.1 Bedeutung früher mathematisch-naturwissenschaftlicher Bildung

In unserer zunehmend technologiebasierten Informationsgesellschaft kommt mathematisch-naturwissenschaftlichen Kompetenzen ein hoher Stellenwert zu. Um allen Menschen vergleichbare Möglichkeit zu bieten, entsprechende Fähigkeiten und damit Mündigkeit im Umgang mit mathematischen oder naturwissenschaftlichen Fragestellungen zu entwickeln, muss es ein wichtiges Ziel von Bildungsinstitutionen sein, den Erwerb grundlegender Kenntnisse und Fertigkeiten auf diesen Feldern zu ermöglichen (vgl. Kilpatrick, Swafford & Findell, 2001). Auf diese Weise erhalten Kinder von Anfang an vergleichbare Chancen, eine entsprechende Handlungs- und Urteilsfähigkeit auszubilden.

Zentrale Elemente des mathematischen Könnens (mathematical proficiency) einer Person sind nach Baroody, Lai und Mix (2006) das (1) konzeptuelle Verständnis, (2) die Rechenflüssigkeit, (3) strategisches mathematisches Denken und (4) eine aktiv-produktive Haltung zur Problemlösung. Konzeptuelles Verständnis kann als ein dichtes Netzwerk grundlegenden und bedeutungshaltigen mathematischen Wissens angesehen werden. Im Gegensatz zu auswendig gelerntem Routinewissen kann konzeptuelles Wissen flexibel an neue Problemstellungen angepasst und zum Erlernen neuer Konzepte und Fertigkeiten genutzt werden. Das konzeptuelle Verständnis als adaptive Expertise stellt somit eine Schlüsselkompetenz zur Entwicklung der anderen drei Kompetenzbereiche dar (Baroody et al., 2006). Rechenflüssigkeit meint die angemessene, flexible und effiziente (d.h. schnelle und richtige) Ausführung basaler Rechenfertigkeiten, wobei ein gutes konzeptuelles Verständnis sowohl die Effizienz als auch die Flexibilität der Anwendung verbessern kann. Der Begriff strategisches mathematisches Denken fasst nach Baroody kreatives Problemlösen und adaptives Denken (Reasoning) zusammen. Beide Aspekte des strategischen Denkens werden durch ein großes konzeptuelles Wissens-

netzwerk unterstützt. Eine aktiv-produktive Haltung (Productive Disposition) bezeichnet schließlich das Interesse und das Selbstvertrauen zur Lösung mathematischer Probleme. Dieses Vertrauen in die eigenen mathematischen Kompetenzen und die Bereitschaft, Aufgabenstellungen zuversichtlich anzugehen, hängt neben dem Ausmaß der vorher genannten Kompetenzen auch davon ab, wie viel Sinn die Mathematik insgesamt für ein Kind macht.

Für alle genannten Kompetenzen kann der Grundstock bereits in der frühen Kindheit gelegt werden. Dabei sollten diese vier Bereiche mathematischer Kompetenzen idealerweise miteinander verknüpft gefördert werden. Neuere Forschungsarbeiten zur Entwicklung des mathematischen Denkens weisen auf das Kindergartenalter als besonders geeignete Phase hin, um mit entsprechenden Bildungsanregungen zu beginnen (Baroody et al., 2006; Bisanz, Sherman, Rasmussen, Ho & Campbell, 2005; Ginsburg, 2006; Ginsburg, Cannon, Eisenband & Pappas, 2006; Kilpatrick et al., 2001; Mix et al., 2002b; Van Oers, 2004). Wie in den vorhergehenden Abschnitten dieses Berichts gezeigt wurde, bringen Kinder dieses Alters eine Reihe von geistigen Fähigkeiten mit, die ihnen den Einstieg ins mathematische Denken erleichtern.

Entsprechendes gilt für die Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens und Wissens, welches im Kleinkind- und Vorschulalter große Fortschritte macht. Gleichzeitig befindet sich das Gehirn von Kindergartenkindern in einer Phase der erhöhten Aufnahmebereitschaft (Pauen, 2004; 2006; Pauen & Pahnke, 2006), so dass Bildungsmaßnahmen in diesem Alter ganz allgemein einen besonders nachhaltigen Einfluss auf die weitere Entwicklung haben können.

Für den mathematischen wie den naturwissenschaftlichen Bereich gilt es derzeit – in Forschung wie Anwendung – sich der Herausforderung zu stellen, die konzeptionellen und empirischen Lücken zwischen entwicklungs- und kognitionspsychologischen Grundlagen und praktischen Ansätzen der frühen Bildung zu schließen. Dabei stellt sich die Forschungslage zur mathematischen Entwicklung und Bildung zum gegenwärtigen Zeitpunkt weit differenzierter dar als die Arbeiten zur Entwicklung und gezielten Förderung des naturwissenschaftlichen Denkens und Wissens. So liegen im mathematischen Bereich weit mehr Studien zur mathematischen Kompetenzentwicklung insbesondere auch im Vorschulalter vor, während im naturwissenschaftlichen Bereich für das frühe Alter erst wenige experimentelle Untersuchungen zur Förderung existieren (vgl. Lück, 2004; siehe aber Kloos & Van Orden, 2005; Opfer & Siegler, 2004). Dies liegt vermutlich neben der inhaltlichen Bandbreite naturwissenschaftlicher Felder (Biologie, Physik, Chemie etc.) auch daran, dass für das mathematische Denken einzelne Komponenten, die für den Fertigkeitenerwerb notwendig sind (Mengenunterscheidung, Zählen, Symbolverständnis etc.), viel genauer spezifiziert werden konnten als Einzelkomponenten des naturwissenschaftlichen Denkens oder Inhaltswissens. Häufig variieren auch Definitionen und Begriffe sehr stark zwischen verschiedenen Disziplinen und Forschungslagern. Für den naturwissenschaftlichen Bereich bisher ist vielfach noch nicht klar beschrieben, was kleine Kinder wann verstehen und welche einzelnen Fertigkeiten sie brauchen, um bestimmte wissenschaftliche Kompetenzen und Problemlösefertigkeiten zu erwerben. Diese Forschungslage macht den Brückenschlag zur praktischen Anwendung in der naturwissenschaftlichen Bildung derzeit noch schwieriger als in der mathematischen Bildung.

Im Folgenden wird daher für die Diskussion eher der mathematische Bereich im Vordergrund stehen. Wenngleich auch hier noch recht wenige Bildungsstudien vorliegen, bietet die Forschungslage doch bereits gute Anregungen, wie bestimmte mathematische Kompetenzen gefördert werden können und worauf dabei vor dem Hintergrund entwicklungspsychologischer Befunde besonders geachtet werden sollte.

4.2 Zentrale Befunde der Entwicklungsforschung

4.2.1 Entwicklungspsychologische Voraussetzungen der Kinder

Wie in den ersten beiden Abschnitten des Berichts ausführlich ausgeführt, verfügen bereits Klein- und Vorschulkinder über ein erstaunlich großes implizites Wissen und Können im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich. Dieses frühkindliche Wissen gilt es anzuerkennen und als Grundlage für Frühförderprogramme in diesem Altersbereich zu berücksichtigen.

In der mathematischen Domäne haben viele Kinder mit Eintritt in den Kindergarten bereits ein zentrales mathematisches Konzept verstanden, nämlich das numerische Verständnis von Mengen als Set diskreter Elemente. Obwohl schon Säuglinge Mengen unterscheiden können und verstehen, wenn etwas dazu kommt oder weggenommen wird, entwickeln erst Kleinkinder zwischen etwa zwei und vier Jahren ein diskretes Zahlenkonzept. Dieses vorsprachliche Verständnis, dass Mengen aus einzelnen und damit zählbaren Einheiten bestehen, stellt eine wichtige Voraussetzung für den Erwerb arithmetischer Kompetenzen dar. Die Entwicklung des diskreten Zahlkonzepts geht einher mit zunehmender symbolischen Repräsentationsfähigkeit und sprachlichen Kompetenzen, insbesondere dem Erwerb von Zahlwörtern. Gleichzeitig wird das mathematische Verständnis durch eine Reihe von Alltagsaktivitäten befördert, in denen Kinder Mengen teilen und darüber reden (z.B. „eins für dich, eins für mich“). Auf diese Weise verstehen Kinder das Prinzip der Eins-zu-Eins-Zuordnung von Elementen, das eines der fünf funktionalen Zählprinzipien nach Gelman (2000; Gelman & Gallistel, 1986) darstellt. Wie aktuelle Forschungs-

befunde belegen, berücksichtigen die meisten Vierjährigen beim Zählen diese funktionale Prinzipien (Baroody et al., 2006; Bisanz et al., 2005). Darüber hinaus konnte schon bei Fünfjährigen ein erstaunlich elaboriertes Verständnis des Umgangs mit Quantitäten wie der Addition und sogar der Division nachgewiesen werden (Correa, Nunes & Bryant, 1998). Eine ganze Reihe neuerer Arbeiten zeigt mittlerweile eine deutliche Unterschätzung der mathematischen Kompetenzen von Vorschulkindern und Erstklässlern durch For-



scher und Lehrer auf (Correa et al., 1998; Ramani & Siegler, 2008; Selter, 1993; Van den Heuvel-Panhuizen, 1996). Kinder können vielfach mehr, als Erwachsene erwarten.

Kinder verfügen schon vor Schuleintritt über ein reiches implizites Verständnis von Mengen und Zahlen; eine „Tabula Rasa“-Annahme der mathematischen Entwicklung ist heute nicht mehr haltbar. Bereits in der frühen Kindheit liegt ein grundlegendes mathematisches Verständnis vor, welches dann die Entwicklung komplexerer Zähl- und Rechenfertigkeiten ermöglicht (vgl. Baroody et al., 2006; Bisanz et al., 2005). Dieses mathematische Wissen wenden Kindergartenkinder im Alltag auf vielfältige Weise an. Sie bevorzugen „mehr“ gegenüber „weniger“, und achten darauf, dass eine Anzahl begehrter Objekte gerecht unter den vorhandenen Kindern aufgeteilt wird. Diese frühe Erfahrung von „Everyday Mathematics“ (Ginsburg, 2006) bildet die Basis ihres konzeptuellen Verständnisses von Mathematik und damit die Grundlage des späteren mathematischen Könnens.

4.2.2 Bedeutung frühkindlicher Kompetenzen für den späteren Schulerfolg

Das frühkindliche, implizite mathematische Wissen stellt die Voraussetzung zum Verständnis der formalen Mathematik dar und bildet die Grundlage für den Erwerb von Rechenfertigkeiten, für mathematisch-strategisches Denken und für eine positiv-produktive Haltung gegenüber mathematischen Fragestellungen. Neuere Arbeiten zeigen, dass die Quantität und Qualität des informellen mathematischen Wissens von Kindergartenkindern positiv mit ihrer späteren schulischen Mathematikleistung zusammenhängt (Baroody et al., 2006; Dowker, 1998; Gilmore, McCarthy & Spelke, 2010; Libertus, Feigenson & Halberda, 2011; Ginsburg, Klein & Starkey, 1998). Dabei sagt das frühkindliche mathematische Können (proficiency) die Mathematikleistung in der Grundschule, der weiterführenden Schule und der High School vorher (Duncan et al., 2007; Stevenson & Newman, 1986). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit dem allgemeinen Befund, dass bestehendes Wissen sich positiv auf späteres Lernen auswirkt (Bransford, Brown & Cocking, 1999).

Darüber hinaus zeigen Studien, dass schon bei Drei- bis Fünfjährigen die mathematischen Leistungen mit der von den Kindern selbst wahrgenommenen Kompetenz - also dem eigenen Selbstbild in Mathematik - zusammenhängen, allerdings erst nach einer Beschäftigung mit mathematischen Inhalten im Kindergarten (Malofeeva, Day, Saco, Young & Ciancio, 2004). Eine spielerische frühe Bildung scheint sich somit nicht nur auf den Erwerb von Fertigkeiten, sondern auch auf das akademische und speziell das mathematische Selbstwertgefühl positiv auszuwirken, welches wiederum ein wichtiger motivationaler Einflussfaktor für spätere schulische Leistungen ist. Somit kann bereits im Kindergarten neben dem mathematischen Verständnis sowie Denk- und Rechenfertigkeiten gerade auch die positiv-produktive Haltung zur Mathematik (Baroody et al., 2006) im Sinne des mathematischen Selbstvertrauens gefördert werden.

4.2.3 Einfluss der Umwelt auf den Kompetenzerwerb

Wie schnell Kinder einen sicheren Umgang mit der Zahlenwelt entwickeln und wie viel Sinnhaftigkeit sie dabei empfinden, hängt mit davon ab, welchen Stellenwert Erwachsene – vor allem Eltern und Kita-Fachkräfte – der Mathematik geben. Es gibt in praktisch jeder kindlichen Umgebung Objekte und Ereignisse, die man zählen kann, Formen, die man unterscheiden, Orte, die man identifizieren, und Muster, deren Regelmäßigkeit man erkennen kann. Es ist jedoch ein soziokultureller Prozess, diese Situationen als mathematisch-geometrisch relevant erkennen zu lernen und sich die nötigen Konzepte, symbolischen Werkzeuge und Fertigkeiten anzueignen, um Mathematik zu betreiben (Ginsburg, 2006; Van Oers, 2004).

Vor diesem Hintergrund scheint es kaum verwunderlich, dass das Ausmaß des mathematischen Verständnisses im Kindergartenalter mit dem sozio-ökonomischen Status und kulturellen Einflüssen variiert (vgl. Baroody et al., 2006). So gibt es schon im Vorschulalter große individuelle Unterschiede im Ausmaß des mathematischen Wissens und Verständnisses. Hierbei spielt die Sprache eine bedeutsame Rolle: Während Kinder niedriger sozialer Schichten vergleichbare nonverbale mathematische Kompetenzen wie Kinder höherer Schichten aufweisen, schneiden sie bei verbalen Zähl- und Rechenaufgaben typischerweise schlechter ab (z. B. Jordan, Hanich & Uberti, 2003). Auch in metakognitiven Fähigkeiten, deren Erwerb stark von sozialer (vor allem sprachlicher) Mediation abhängt, sind Vorschulkinder aus niedrigen sozialen Schichten Kindern aus höheren Schichten gegenüber im Nachteil (Pappas, Ginsburg & Jiang, 2003).

Im Sinne einer Chancengleichheit für alle ist es daher umso bedeutsamer, die Entwicklung mathematischer Kompetenzen institutionell früh zu unterstützen und in der Kita Zahlen und mathematische Themen zu behandeln. Für die Entwicklung mathematischer Kompetenzen scheint insbesondere ein Kontext förderlich zu sein, der die Aufmerksamkeit der Kinder auf bestimmte mathematische Aspekte der Situation lenkt und diese symbolisch repräsentiert und verdeutlicht (z.B. durch verbale Benennung). Spielerische Interaktionen, in denen das Kind auf bestimmte Regelmäßigkeiten, zeitliche Abläufe, bestimmte Ordnungen und Muster hingewiesen wird, unterstützen das implizite mathematische Verständnis und helfen den Kindern, ihr implizites Wissen zu nutzen und langfristig im Sinne eines expliziten, formalen Wissens weiterzuentwickeln (vgl. Van Oers, 2004).

4.3 Schlussfolgerungen für die frühkindliche Bildung

Aus den geschilderten Forschungsbefunden lassen sich drei Schlussfolgerungen ziehen, denen für die Ausgestaltung frühkindlicher Bildung besondere Relevanz zukommt:

- (1) Kindergartenkinder bringen bereits vielfältiges Wissen und Kompetenzen mit. Sie verfügen aus ihrer typischen Entwicklung und aus der Alltagserfahrung heraus über ein reiches informelles mathematisch-naturwissen-

schaftliches Wissen. Diese frühkindlichen Kompetenzen stellen einen zentralen Ausgangspunkt für die frühe Bildung dar. Das vielleicht wichtigste Ergebnis der Entwicklungsforschung ist das Wissen um diese früh vorhandenen Kompetenzen, welche gerade in ihrem Entstehungsprozess besonders gut unterstützt und in ihrer Entfaltung angeregt werden können. Eine geistige Förderung kann und sollte daher früh beginnen.

- (2) Das frühkindliche informelle Wissen stellt eine wichtige Voraussetzung für spätere akademische Leistungen dar. Es bildet die Basis für das mathematisch-naturwissenschaftliche Verständnis, den Erwerb von Fertigkeiten, die Entwicklung von Denk- und Problemlösestrategien und eine selbstbewusste Haltung zu Mathematik und Naturwissenschaften. Fertigkeiten und Konzepte entwickeln sich gleichzeitig und in gegenseitiger Abhängigkeit voneinander (vgl. Baroody et al., 2006). Das vorhandene Vorwissen der Kinder sollte daher unbedingt beachtet und in den Lehr- und Lernprozess als wichtige Ressource der Kinder einbezogen werden. Auf diese Weise können Lücken im Verständnis von Zusammenhängen früh identifiziert und bereits im Vorschulalter geschlossen werden, um so Nachteile für spätere schulische Lernprozesse zu vermeiden.
- (3) Es bestehen schon früh individuelle Unterschiede zwischen den Kindern. Das implizite Wissen der Kinder variiert teilweise deutlich mit der sozialen Schicht, dem Gesundheitszustand und anderen Faktoren. Differenzen in der Zahlenkenntnis und den Zählfertigkeiten sind of schon bei Eintritt in den Kindergarten zu beobachten. Eine gezielte Förderung zur Behebung von Defiziten ist umso wichtiger, als sich Wissens- und Verständnisdefizite keinesfalls mit der Zeit von alleine auswachsen, sondern sich im Gegenteil über die Zeit zum Nachteil der kindlichen Lernchancen kumulieren: „Time alone may not serve to improve academic achievement“ (Baroody et al., 2006, S. 202). Wie die ausgeführten entwicklungspsychologischen Befunde zeigen, sind vielfältige Erfahrungen zentral zur Ausbildung informellen Wissens in der frühen Kindheit. Im Kindergarten sollten daher allen Kindern entsprechende Erfahrungen geboten werden, insbesondere dann, wenn sie in ihrem Elternhaus weniger Möglichkeiten der geistigen Anregung erhalten. Dies trifft in besonderem Maße für Kinder aus unteren sozialen Schichten zu. Öffentlichen Bildungsinstitutionen kommt daher eine besondere Verantwortung im Hinblick auf eine individuelle Bildung und Chancenverbesserung für alle Kinder zu.

4.4 Bewertungskriterien für Bildungsprogramme aus entwicklungspsychologischer Sicht

Bildungsprogramme für das Kindergartenalter sollten vor dem Hintergrund der obigen drei Schlussfolgerungen konzipiert bzw. bewertet werden. Dabei spielt eine gute Passung zwischen den Kenntnissen und Fähigkeiten der Kinder sowie den Lernzielen und der Vorgehensweise in der Förderung eine entscheidende Rolle.

Die Bedeutung der Passung zwischen den Entwicklungsmöglichkeiten des Kindes und den Anregungen durch die Umwelt ist bereits in Wygotskis (1934/1964) soziokultureller Entwicklungstheorie als Grundidee enthalten (vgl. Abschnitt II, bereichsübergreifende Theorien der Entwicklung wissenschaftlichen Denkens). Die Kontexttheorie von Wygotski betont den Einfluss der sozialen und kulturellen Umgebung auf die kognitive Entwicklung. Unter der kompetenten Anleitung durch eine andere Person kann ein Kind mehr verstehen und eine höhere Leistung vollbringen, als es ihm von alleine möglich wäre. Diese Diskrepanz zwischen dem aktuellen und dem potentiellen Entwicklungsstand, den ein Kind durch soziale Stützung erreichen kann, wird als Zone der proximalen Entwicklung (ZPE) bezeichnet.

Für das Umsetzen einer konkreten Bildungsmaßnahme bedeutet diese Konzeption, dass die Zone der proximalen Entwicklung eines Kindes bekannt sein sollte, da nur so Inhalte angeboten werden können, die das Kind weder über- noch unterfordern, sondern innerhalb seines Entwicklungspotenzials liegen. Hierbei ist das Wissen um die alterstypische Entwicklung, altersangemessene Lernziele sowie die Kenntnis der Einzelkomponenten, die für das Erlernen einer bestimmten Fertigkeit bzw. das Verstehen eines Phänomens von Belang sind, zentral. Ebenso wichtig sind auch die Auswahl einer angemessenen pädagogischen Methode und die Anleitung durch die erwachsene Person, da die ZPE gleichermaßen vom Entwicklungsstand des Kindes wie vom zu verstehenden Inhalt und von der Kompetenz der stützenden Person bestimmt wird. Die pädagogische Lernbegleitung erfordert somit Hintergrundwissen über typische Kindervorstellungen, grundlegendes mathematisch-naturwissenschaftliches Fachwissen und didaktische Handlungskompetenz.

Eine entwicklungspsychologisch fundierte Förderung der Kompetenzentwicklung sollte daher Antworten auf drei Aspekte finden: (1) Was soll gefördert werden? Hierbei geht es um entwicklungsangemessene Ziele und Inhalte der Förderung. (2) Wie soll gefördert werden? Für die Wahl geeigneter Methoden sollten insbesondere die kognitiven, sozialen und sprachlichen Voraussetzungen der Kinder Beachtung finden. (2) Wann soll gefördert werden? Für die Wahl des richtigen Zeitfensters ist das Wissen um Entwicklungsverläufe zentral, d.h. darum, wann sich welche Fähigkeiten und Fertigkeiten typischerweise entwickeln und wie diese in der weiteren Entwicklung aufeinander aufbauen. Idealerweise sollten Kompetenzen dann in Bildungsmaßnahmen aufgegriffen werden, wenn sie ohnehin am Entstehen sind, um sie zunächst zu festigen und in der Folge mit weiteren Kompetenzen in Bezug zu setzen (z.B. das Verstehen der Eins-zu-Eins-Korrespondenz als Voraussetzung für das Verständnis der Zählprinzipien, welches wiederum eine Voraussetzung für korrektes Zählen darstellt). Alle drei Aspekte bestimmen gemeinsam, ob eine Entwicklungspassung des Bildungsangebots gegeben ist. Welche Antworten dabei von welcher Disziplin gegeben werden und wie sich bspw. Entwicklungspsychologie, Fachdidaktik und Elementarpädagogik hier sinnvoll ergänzen können, ist Gegenstand weiterer Forschung und fachlicher Auseinandersetzung (vgl. z.B. Clements, Sarama & DiBiase, 2004; Rademacher, Trautewig, Günther, Lehmann & Quaiser-Pohl, 2005; Van den Heuvel-Panhuizen, 2005; Wittmann, 1992).

Der Erfolg eines Bildungsprogramms hängt maßgeblich von der Güte der Passung zwischen entwicklungspsychologischen Voraussetzungen und Bil-

dungsanforderungen ab. Ist der Ausgangsstand der Kinder im Vergleich zu den Lernzielen schon sehr hoch, kann der Erfolg sehr gering ausfallen, da die Anforderungen bereits ohne spezielle Anregungen bewältigt werden können. Sind die Anforderungen zu hoch, weil den Kindern wichtige Vorläuferkompetenzen fehlen oder sie den sprachlichen oder Gedächtnisanforderungen der gewählten Methode nicht gewachsen sind, wird der Lernerfolg ebenfalls gering ausfallen. Erst wenn sowohl die Bildungsinhalte als auch die pädagogische Herangehensweise in die Zone der proximalen Entwicklung der Kinder fallen, ist ein Erfolg im Sinne eines bedeutsamen Lern- und Wissenszuwachses zu erwarten. Da die Voraussetzungen der Kinder je nach Alter, sozioökonomischen Hintergrund und allgemeinem geistigen Entwicklungsstand stark variieren können, sollten Bildungsprogramme flexibel genug ausgerichtet sein, um eine individuelle Passung zu ermöglichen bzw. klar spezifizieren, für welche Alters- oder Zielgruppe sie am besten geeignet sind.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen ist eine wissenschaftliche Begleitung und Evaluation von Bildungsprogrammen wünschenswert, um die Entwicklungspassung des jeweiligen Programms mit den Voraussetzungen der Zielgruppe beurteilen zu können. Dies ist derzeit bei einer Vielzahl von Programmen zur mathematischen und naturwissenschaftlichen Bildung leider noch kein Standard (vgl. Fthenakis, 2004). Während die Evaluation breit eingesetzter Bildungsprogramme empirisch sehr aufwändig ist und aufgrund der meist freien (nicht standardisierten) Umsetzung in den jeweiligen Einrichtungen häufig keine eindeutigen Schlussfolgerungen im Hinblick auf die kausale Wirkung einzelner Bildungsmaßnahmen ermöglicht, wurden jedoch einige Studien durchgeführt, die sehr ermutigende Resultate zur Wirksamkeit spezifischer Förderansätze berichten. Nunes und Kollegen (2007) konnten beispielsweise zeigen, dass logisches Denken eine zentrale Komponente der Mathematikleistung von Erstklässlern darstellt; diese kann direkt und nachhaltig bereits bei Sechsjährigen gefördert werden, was sich wiederum positiv auf die späteren Mathematikleistung auswirkt. Dieser Befund ist nicht nur im Hinblick auf den geförderten Altersrange interessant – es ist zu vermuten, dass ein ähnliches Training auch für Vier- bis Fünfjährige abgewandelt werden könnte –, sondern auch hinsichtlich der Verknüpfung von mathematischer und naturwissenschaftlicher Bildung. Eine Evaluationsstudie der Arbeitsgruppe Pauen stellte fest, dass Kindergartenkinder ihr Wissen über Mathematik und Naturphänomene schon nach 10 Wochen Umsetzungsphase entsprechender Bildungsprojekte erweitern konnten und auch auf abstrakterer Ebene Fortschritte im naturwissenschaftlichen Denken machten (vgl. Pauen, 2009; Pauen & Herber, 2009).

Eine zentrale Denkfertigkeit wie das logische Denken sollte sich nicht nur im Umgang mit mathematischen Sachverhalten positiv auswirken, sondern auch beim Problemlösen und Verstehen naturwissenschaftlicher Sachverhalte wie bspw. dem Erhalt der Masse bei Umwandlung der äußeren Form von Substanzen (z.B. Auflösen in Wasser). Das Nachvollziehen solcher Problemstellungen erfordert wiederum mathematische Kompetenzen wie das Messen, welches nur mit Zahlenkenntnis möglich ist. Mathematisches und naturwissenschaftliches Denken können somit anhand geeigneter Fragestellungen gemeinsam gefördert werden, wobei spezifische Fertigkeiten (wie das Messen) und übergreifende Fertigkeiten (wie logisches Denken) in beiden Bereichen zum Einsatz kommen.

In Bezug auf die differenzierte Analyse und Förderung mathematischer Teilkompetenzen sind die Arbeiten von Robert Siegler und Kollegen hervorzuheben (Booth & Siegler, 2006, 2009; Ramani & Siegler, 2008, 2011; Siegler & Booth, 2004; Siegler & Ramani, 2009). In einer experimentell sauber kontrollierten und gleichzeitig anwendungsgeeigneten Studie untersuchten Ramani und Siegler (2008), wie sich durch das Spielen einfacher Zahlenbrettspiele die numerischen Kompetenzen von Vorschulkindern steigern lassen. Hierzu wurden 124 vier- und fünfjährige Kinder mit niedrigem sozioökonomischem Status aus insgesamt zehn amerikanischen Head Start-Zentren untersucht. Die Kinder spielten über zwei Wochen in vier etwa 15minütigen Sitzungen ein einfaches Zahlenbrettspiel mit einem Versuchsleiter (die Kontrollgruppe spielte ein Farbenbrettspiel) und wurden zu Beginn, nach zwei Wochen und nach neun Wochen im Hinblick auf vier mathematische Kernkompetenzen untersucht: Zählen, Einordnung von Ziffern auf dem Zahlenstrahl, numerischer Größenvergleich und Ziffernidentifikation. Direkt nach der Intervention zeigten nur die Kinder, die das Zahlenbrettspiel gespielt hatte, signifikante Verbesserungen in allen vier Bereichen; diese waren auch zwei Monate später noch vorhanden. Dabei profitierten ältere wie jüngere Kinder gleichermaßen stark von der Intervention. Eine differenzierte Analyse der mathematischen Aufgaben ergab drei Faktoren der numerischen Leistung: (1) Mengenrepräsentation, (2) Zählfertigkeit und (3) Ziffernidentifikation. Folgestudien zeigen, dass Kinder besonders von einem linear (statt zirkulär) angeordneten Spiel profitieren und sich dies auch positiv auf ihr Lernen in nachfolgenden Aufgaben auswirkt (Siegler & Ramani, 2009). Der Effekt eines solchen Zahlenbrettspiels ist größer als der anderer numerischer Aktivitäten von gleicher Dauer (Ramani & Siegler, 2011) und scheint besonders gut geeignet, sozial benachteiligte Kinder in ihrer mathematischen Entwicklung zu unterstützen (Ramani, Siegler & Hitti, 2012; Siegler, 2009).



Der besondere Wert dieser Studien liegt in der Anknüpfung der Intervention an entwicklungspsychologische Befunde zur frühen Zahlenrepräsentation, nach denen Kinder im Vorschulalter die Zahlwortreihe erwerben und lernen, deren exakte sprachliche Struktur der frühen nonverbalen, analogen Mengenrepräsentation zuzuordnen (vgl. Abschnitt I). Diese Zuordnung zwischen dem frühen Mengenverständnis und der symbolischen Zahlenrepräsentation wird erstmals in verschiedenen Komponenten exakt beschrieben und darüber hinaus dargestellt, wie diese Komponenten gefördert werden können. Eine wirksame Förderung ist somit effizient ohne großen Aufwand mit Hilfe eines einfachen linearen Zahlenbrettspiels möglich; dies ist ein sehr ermutigender Befund. Die Studie zeigt exemplarisch auf, dass entwicklungsangemessene frühe Bildung - obwohl bzw. gerade wenn sie auf einem elaborierten entwicklungspsychologischen Hintergrund beruht - in der konkreten Umsetzung sehr einfach und ökonomisch gestaltet werden kann.



B

Entwicklung des Verständnisses des Phänomens Magnetismus bei Kindern im Alter von 3 bis 6 Jahren:

Empfehlungen für die Umsetzung
des Themenschwerpunkts Magnetismus
mit Kindern und Kita-Fachkräften

Susanna Jeschonek

- 1 Darstellung des aktuellen Forschungsstandes
- 2 Empfehlungen für die Umsetzung des Themas Magnetismus im Kindergarten

1. Darstellung des aktuellen Forschungsstandes⁴

1.1 Definition von Magnetismus

Magnetismus ist ein physikalisches Phänomen, das sich als anziehende und abstoßende Kraftwirkung zwischen zwei Magneten, magnetisierten Objekten und bewegten elektrischen Ladungen äußert (Wikipedia, o.A.). Das Phänomen, das wir häufig sofort mit Magnetismus in Verbindung bringen, ist dabei die Anziehungskraft, die wir zwischen einem Magneten und Eisen, Stahl oder anderen Metallen (Nickel, Kobalt) beobachten können. Diese Art des Magnetismus wird als Ferromagnetismus bezeichnet und lässt sich zu anderen Erscheinungsformen des Magnetismus, wie beispielsweise dem Elektromagnetismus abgrenzen (vgl. Kieninger, 2008).

Seit mehr als 3000 Jahren kennen und nutzen Menschen den Magnetismus, dessen Faszination wohl hauptsächlich darin begründet liegt, dass wir die Wirkung von Magneten zwar direkt beobachten oder spüren können, uns die Ursache für diese Wirkungskraft (Magnetkraft) aber zunächst verborgen bleibt (vgl. Trepte, 2002). Selbst Erwachsenen fällt es nicht immer leicht, die tatsächlichen quantenmechanischen Prinzipien, die dem Phänomen des Magnetismus zugrunde liegen vollständig nachzuvollziehen.

Die sogenannten Dauermagneten bestehen aus Elementarmagneten, d.h. aus Atomen die sich wie kleine Stabmagnete verhalten und die parallel zu ihren Nachbaratomen ausgerichtet sind. Durch diese parallele Ausrichtung entsteht eine Magnetisierung des gesamten Festkörpers (vgl. Trepte, 2002). Auch andere Festkörper enthalten Elementarmagnete, wobei diese jedoch ungeordnet vorliegen und somit spontan keine ferromagnetische Wirkung entsteht. Aufgrund der Parallelisierung ihrer Atome verfügen Magnete somit stets über zwei gegensätzliche Pole, die als Nordpol und Südpol bezeichnet werden. An diesen Polen ist die Anziehungskraft eines Magneten am stärksten.

Werden zwei Magnete aneinander mit den gleichartigen Polen genähert (z.B. Nord-Nord), so stoßen sie sich ab. Hingegen ziehen sich ungleichartige Pole (Nord-Süd) gegenseitig an. Die ferromagnetischen Kräfte können generell durch magnetisierbares Material oder eine ausreichend dicke Schicht verschiedener anderer Materialien abgeschirmt werden, durch weniger dicke Materialien oder Substanzen die nicht von Magneten beeinflusst werden (z.B. Papier, Holz, Plastik, Wasser oder Luft), können Magnete ihre Wirkungskraft jedoch weiterhin entfalten. Ferner können Eisen und bestimmte Metalllegierungen vorübergehend magnetisiert werden, indem mit einem Magnetpol an ihnen entlang gestrichen wird und somit die zuvor ungeordneten Elementarmagneten dieses Stoffes einheitlich ausgerichtet werden.

Die Frage stellt sich, ab welchem Alter und in welcher Form dieses sehr faszinierende, theoretisch jedoch relativ komplexe Thema Magnetismus in einer nachhaltig fördernden Weise an Kinder herangetragen werden kann.

⁴Diese Expertise von S. Jeschonek wurde im Jahr 2010 verfasst.

1.2 Bisherige Befunde zu Wissen und Vorstellungen von Kindern über den Themenbereich Magnetismus

Der Magnetismus übt eine hohe Faszination auf Jung und Alt aus, was sich nicht zuletzt in den zahlreichen Anleitungen für Experimente auf diesem Themengebiet für bereits sehr junge Altersgruppen widerspiegelt (vgl. z.B. Gondolino, 2004; Kieninger, 2008). Es liegen auch Hinweise darüber vor dass das Thema Magnetismus heutzutage im Kindergarten bereits durchaus Beachtung findet (z.B. Bildungs- und Beratungszentrum für Hörgeschädigte Stegen, o.A.; Kindergarten-Pfiffikus Malroffstein, o.A.; Technische Früherziehung, o.A.; Wiskamp, 2005). Unsystematische Darstellungen lassen hierbei darauf schließen, dass das Thema Magnetismus auf ein äußerst großes Interesse bei Vorschulkindern trifft. Bisher fehlen jedoch systematische Berichte zu Ergebnissen möglicher Fördermaßnahmen im Vorschulalter. Insbesondere mangelt es offensichtlich an wissenschaftlich fundierten Erfahrungswerten bezüglich einer altersgerechten Auseinandersetzung mit dem Phänomen Magnetismus, die zu einer nachhaltigen Förderung des Verständnisses in diesem Themenbereich führen würde.

Im Folgenden soll zunächst näher auf eine Studie eingegangen werden, deren Fokus zwar nicht direkt auf dem Verständnis von Magnetismus bei Vorschulkindern liegt, die jedoch dieses Phänomen auch thematisiert und die wichtige Erkenntnisse zu Aspekten des Magnetismus liefert (Dickinson, 1989). Diese Studie hat sich mit der Fähigkeit zur Identifikation unterschiedlicher Materialien bei Drei- bis Fünfjährigen beschäftigt. In diesem Zusammenhang wurden die Kinder nicht nur dazu aufgefordert, verschiedene Materialien zu identifizieren, sondern auch vorherzusagen, welche dieser Materialien von einem Magneten angezogen werden würden und welche nicht. Dabei wurden ausschließlich feste Materialien verwendet: Glas, Holz, Plastik und Metall.

Den Kindern wurden in der Identifizierungsaufgabe nacheinander mehrere Gegenstände dargeboten. Zuvor wurde ihnen gesagt, sie sollen entscheiden, ob ein Gegenstand ein bestimmtes Material ist. Hierbei wurden die Materialien einzeln abgefragt. Dies bedeutet, dass zunächst mehrere Gegenstände präsentiert wurden mit der Frage, ob dies Holz sei, anschließend mehrere Gegenstände mit der Frage ob dies Glas sei, etc. Somit mussten die Kinder in dieser Aufgabe die Objekte nicht selbst benennen, sondern nur einer bestimmten Materialkategorie zuordnen. Die Materialbezeichnung wurde vom Versuchsleiter zu Beginn der Aufgabe vorgegeben. Es ließ sich beobachten, dass bei der Identifizierung von Materialien die größte Entwicklung zwischen drei und vier Jahren stattfand: Vierjährige identifizierten das Material eines Gegenstandes bedeutend häufiger korrekt als Dreijährige dies taten. Zwischen Vier- und Fünfjährigen bestand kein Unterschied. Zusätzlich konnte auch beobachtet werden, dass eine erfolgreiche Identifikation von dem Material selbst abhing. So war Glas für alle Kinder leichter zu identifizieren als Holz, gefolgt von Plastik und Metall. Generell hatte es auf die Identifikation des Materials keine Auswirkung, ob es sich bei den präsentierten Gegenständen um funktionale Objekte oder um nicht näher definierte Materialstücke handelte. Fast alle Kinder verwendeten im Laufe der Aufgabe in ihren spontanen Kommentaren mindestens einen Materialnamen korrekt. Daraus schließt der Autor, dass die Kinder bereits über eine gewisse Einsicht in Materialnamen verfügten. In

diesem Zusammenhang zeigte sich jedoch, dass Dreijährige im Vergleich zu älteren Kindern häufiger nicht sicher zwischen Objektnamen und Materialien unterscheiden konnten. Insgesamt jedoch traten diese Unsicherheiten in den Aussagen bei allen Altersgruppen seltener auf, als solche Aussagen, die sich klar auf das Material bezogen.

In der Magnetaufgabe wurden die Kinder zu Beginn danach befragt, ob sie wüssten, was ein Magnet sei. Falls die Kinder eine gewisse Vorstellung von einem Magneten hatten, wurden sie weiter gefragt, welche Sachen an einem Magneten haften würden. Hatten die Kinder keinerlei Vorstellung von einem Magneten, wurde ihnen ein Magnet gezeigt und dabei erklärt, dass dieser an bestimmten aber nicht allen Sachen haften bliebe. Hier sei anzumerken, dass sich in der Studie keine Angaben dazu finden, wie viele Kinder nicht wussten, was ein Magnet ist und wie sich das Wissen um die magnetischen Eigenschaften über die Altersgruppen verteilte. Anschließend wurden den Kindern ein Magnet und nacheinander vier Gegenstände dargeboten: ein Spielzeuglaster aus Holz, eine Glasasse, eine Büroklammer aus Metall und eine Gabel aus Metall. Die Kinder sollten zunächst vorhersagen, ob ein bestimmtes Objekt an dem Magneten haften würde und durften dann ihre Vorhersage direkt überprüfen. Als Nächstes folgte die Testphase in der mehrere andere Objekte nacheinander präsentiert wurden (Gabeln aus Metall oder Plastik, Spielzeuglaster aus Holz oder Metall, ein Messbecher aus Metall etc.). Die Kinder mussten sich auch hier entscheiden ob ein bestimmtes Objekt an dem Magneten haften würde. Die Objekte wurden dann nach ihrer Gruppenzugehörigkeit sortiert (haftet / haftet nicht). Die Kinder sollten dabei ihre Vorhersagen erklären. Nachdem alle Objekte einsortiert waren, sollten die Kinder begründen, warum sie die Objekte so und nicht anders eingeordnet hatten und durften abschließend ihre Vorhersagen testen. In dieser Aufgabe ließ sich ebenfalls ein eindeutiger Alterstrend beobachten: Während bei den Dreijährigen 58% der Vorhersagen korrekt waren, waren es bei den Vierjährigen bereits 76% und bei den Fünfjährigen schließlich 89%. Dementsprechend gab es kein dreijähriges Kind, welches alle (oder alle bis auf eines) Objekte in der Testphase korrekt einsortiert hätte. Bei den Vierjährigen konnten dies immerhin schon knapp ein Viertel der Kinder und bei den Fünfjährigen zwei Drittel. Die Auswertung der verbalen Antworten führte zu dem Ergebnis, dass eine Berücksichtigung von Material-relevanten Merkmalen bei den Erklärungen der Vorhersagen ebenfalls mit dem Alter bedeutend zunahm. Dabei ließ sich auf jeder Altersstufe beobachten, dass Kinder deren Antworten sich eindeutig auf Eigenschaften des Materials bezogen, auch eher korrekte Vorhersagen hinsichtlich der magnetischen Anziehung trafen.

Insgesamt lässt sich angesichts der Ergebnisse dieser Studie festhalten, dass die korrekte Identifikation und Benennung von Materialien mit dem Alter zunimmt. Der größte Zuwachs lässt sich dabei zwischen drei und vier Jahren beobachten. Der Autor sieht darin hauptsächlich eine Ausbildung des Konzepts ‚Materie‘. Es könnte zwar auch sein, dass die Kinder bereits früher über Konzepte von verschiedenen Materien verfügten, diese aber nicht korrekt zu den Materialnamen zuordnen könnten. Dagegen spricht jedoch, dass eine Verbesserung der Leistung in der Identifizierungsaufgabe mit dem Alter parallel zur Besserung der Performanz in der Magnetaufgabe verlief. Dies bedeutet, je besser die Kinder (mit zunehmendem Alter) unterschiedliche Materialien iden-

tifizieren konnten, desto sicherer wurden auch ihre Vorhersagen hinsichtlich der Magnetwirkung auf unterschiedliche Materialien. Diesem Erklärungsansatz unterliegt wiederum die Annahme, dass für eine erfolgreiche Lösung der Magnetaufgabe, ein Verständnis des Konzepts ‚Material‘ bei den Kindern gegeben sein sollte. Gleichzeitig wird thematisiert, dass die Magnetaufgabe eine recht anspruchsvolle und für einige der Kinder bisher unbekannte Situation darstellte. Deswegen könnte in diesem Kontext die Kompetenz der Kinder hinsichtlich des Materialverständnisses unterschätzt worden sein. Ob ein Materialverständnis tatsächlich eventuell schon früher bei den Kindern besteht, ließe sich ggf. mit einer leichteren Aufgabe untersuchen.

In der Identifikationsaufgabe ließ sich interessanterweise beobachten, dass alle Kinder eine sichere Zuordnung von Gegenständen bei unterschiedlichen Materien unterschiedlich gut leisten konnten. In welcher Reihenfolge sich ein Verständnis verschiedener Materialien bei den Kindern manifestiert, hängt nach Meinung des Autors einerseits von der funktionalen Nützlichkeit einer Materie ab (z.B. werden Kinder schon sehr früh darauf hingewiesen, dass etwas leicht zerbrechen kann, wenn es ‚aus Glas‘ ist, eine Tatsache, die sich in dem frühen Verständnis von Glas als Materie widerspiegeln könnte), andererseits auch von der Vielfältigkeit der Wörter, die benutzt werden um eine Materie zu benennen. So kann die relativ späte Identifikation von Metall damit zusammenhängen, dass hier oft verschiedene Bezeichnungen wie Stahl, Blech etc. uneinheitlich verwendet werden.

Es bleibt zu erwähnen, dass in einer aktuellen Untersuchung (Krnel, Watson & Glazar 2005) zur Entwicklung des Konzepts ‚Materie‘ bei Kindern im Alter von drei bis dreizehn Jahren, beobachtet wurde, dass Drei- bis Siebenjährige Kinder Gegenstände häufiger als Objekte beschrieben im Vergleich zur Benennung der Materie. In dieser Studie änderte sich dieses Verhalten erst ab einem Alter von neun Jahren, wenn die Kinder beginnen, Gegenstände auch verstärkt in Form ihrer Materie zu beschreiben. Allerdings sollte an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den verwendeten Stimuli offensichtlich hauptsächlich um Gegenstände handelte, die in erster Linie ebenso gut als Objekt erkannt und benannt werden konnten (z.B. Ball, Brett, Würfel) und es deshalb zu einer Unterschätzung des Wissens der Kinder hinsichtlich des jeweiligen Materials kommen konnte.

Wendet man sich dem Phänomen Magnetismus im Primärbereich zu, so findet man, wenn auch ebenfalls nicht zahlreiche, so doch detailliertere und spezifische Untersuchungen. Nicht nur wurde bei dieser Altersgruppe in jüngerer Vergangenheit darauf hingewiesen, dass der Themenbereich Magnetismus aufgrund eines beobachtbaren spontanen Interesses seitens der Kinder ebenso wie wegen seiner Bedeutung für den Aufbau physikalischen Grundwissens, einen festen Platz im Grundschulunterricht finden sollte, sondern beispielsweise auch darauf, dass in einer ersten Pilotierungsphase einer Unterrichtsstudie das Elementarmagnet-Modell bei Schülern einer vierten Klasse eine allgemeine Akzeptanz erfuhr (Rachel, Heran-Dörr, Wiesner & Waltner, 2009).

Gleichzeitig lässt eine breiter angelegte Studie zu Schülervorstellungen in der Primarstufe hinsichtlich des Phänomens Magnetismus darauf schließen, dass Kinder der 2. bis 4. Grundschulstufe teilweise noch über sehr unvollständi-

ges Wissen in diesem Bereich verfügen (Kircher & Rohrer, 1993). Ausgewertet wurden hierbei die Antworten aus einem klinischen Interview mit Kindern im Alter von 8 bis 10 Jahren, deren schulische Leistungen gewollt eine große Heterogenität aufwiesen. Im Rahmen dieses Interviews konnten die Kinder unterschiedliche Experimente aus dem Themenbereich Magnetismus selbstständig durchführen und themenbezogene Fragen beantworten.



Zunächst wurde das Verständnis der Anziehungskraft mit Hilfe eines Magneteisensteins und Eisenfeilspänen untersucht. Hierbei ließ sich feststellen, dass immerhin knapp die Hälfte aller Kinder davon ausging, dass der Stein das beobachtete Phänomen verursacht. Von diesen Kindern wiederum bezeichnete jedoch nur knapp über die Hälfte den Stein tatsächlich als ‚Magnet‘. Dass die Eisenspäne die Ursache für das Phänomen seien, nahmen 42% der Kinder an. Dabei wurden häufig Vorstellungen von „kleben“

oder „hängen bleiben“ genannt. Angaben zu altersbedingten Unterschieden bei den Antworten oder ein etwaiger Zusammenhang mit den schulischen Leistungen werden leider nicht berichtet. In einem weiteren Experiment konnten die Kinder mit einem Magneteisenstein Stecknadeln anziehen. Bei der Beobachtung dieses Ereignisses zogen 62% der Kinder den Schluss, dass es sich bei dem Stein um einen Magneten handelt. Offensichtlich hängt diese, im Vergleich zu dem vorhergehenden Experiment, verbesserte Leistung mit den Objekten zusammen, die von dem Stein angezogen wurden. Im Einklang dazu stehen die Antworten der Kinder auf die Frage nach dem Material aus dem die Nadeln bestehen: 42% aller Kinder wussten, dass die Nadeln aus Eisen sind und immerhin noch 32% gaben die etwas ungenauere Bezeichnung ‚Metall‘ an. Auch bei diesen Antworten fehlen leider differenzierte Altersangaben. Ging es darum vorherzusagen, welche Objekte von dem Magneten angezogen werden würden, gaben fast alle Kinder korrekt an, dass Eisenstäbchen dazu gehören würden, wobei knapp zwei Drittel von ihnen das Material aus dem die Stäbchen waren tatsächlich als ‚Eisen‘ bezeichneten, während die verbleibenden Kinder auch hier wieder den Begriff ‚Metall‘ wählten. Abgesehen von den Eisenstäbchen wurden im Rahmen der Untersuchung scheinbar nur Materialien präsentiert, die nicht von Magneten anziehbar waren und meistens von den Kindern auch als solche erkannt wurden. Hierbei traten Fehler eher dann auf, wenn die Materialien eine hohe äußere Ähnlichkeit zu Eisen aufwiesen. Immerhin ein gutes Drittel der Kinder nahmen an, dass die Kraft eines Magneten dauerhaft ist und ungefähr die Hälfte gab an, dass die Kraft eines Magneten mit der Entfernung abnimmt. Ferner waren sich zwei Drittel der Kinder bewusst, dass ein Magnet seine Anziehungskraft auch durch eine Tischplatte oder eine Schüssel hindurch ausüben kann und immerhin noch 58% nahmen dies auch bei einem mit Wasser gefüllten Behälter an. Dabei wurde in die Erklärungen teilweise auch die Dicke des jeweiligen Stoffes mit

einbezogen. Die Autoren schließen aus den Antworten der Kinder, dass in der befragten Altersgruppe „eine sinnvolle Vorstellung von der Anziehung eines Magneten“ [12, S. 340] besteht, wobei allerdings „noch Lücken, die jedoch nicht zu einem völlig falschen Bild der magnetischen Anziehung führen“ zu beobachten sind.

Weniger positiv stellen sich offensichtlich die Antworten der Kinder bezüglich der abstoßenden Wirkung von Magneten dar. Hier zeigten die Kinder größere Verständnisprobleme sowie eine größere Heterogenität in ihren Antworten und Vorstellungen. Dies führt die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass die Kinder möglicherweise „bisher noch keine Erfahrungen mit der Abstoßung von Magneten gemacht, beziehungsweise diese bisher noch nicht wahrgenommen haben“ (Kircher & Rohrer, 1993, S. 340). Die Autoren weisen selber darauf hin, dass zu dem Verständnis von Magnetismus bei Kindern nur wenige Untersuchungen vorliegen. Im Vergleich zu den von ihnen zitierten früheren Arbeiten (Banholzer, 1979; Barrow, 1987) lassen die Ergebnisse der berichteten Untersuchung auf ein besseres Verständnis des Phänomens Magnetismus bei Grundschulern schließen als bis dahin angenommen. Dies ließe sich möglicherweise durch einen häufigeren Umgang der Kinder mit naturwissenschaftlichen und technischen Themen in ihrem Alltag erklären, die beispielsweise durch Bücher, Medien oder Spielzeuge vermittelt werden. Ein direkter Vergleich mit der heutigen Situation bzw. dem heutigen Wissensstand von Grundschülerinnen und -schulern über Magnetismus fällt allerdings schwer, da die hier berichtete Untersuchung mittlerweile 15 Jahre zurück liegt. Dabei bleibt letztendlich die Frage offen, inwiefern Kinder heute eventuell noch mehr Möglichkeiten haben, sich verstärkt mit dem Phänomen des Magnetismus auseinanderzusetzen und dies möglicherweise auch bereits früher als noch vor 15 Jahren.

Betrachtet man die von den Autoren berichteten Schülervorstellungen, so lässt sich insgesamt feststellen, dass die Kinder einerseits mit gewissen Merkmalen von Magnetismus gut vertraut zu sein scheinen, andererseits aber auch noch Defizite in ihrem Wissen aufweisen. Dabei scheinen zum einen die Phänomene von Anziehungs- und Abstoßungskraft nicht gleichermaßen gut von den Kindern erfasst zu werden. Ferner bereitet offenbar die Differenzierung bzw. die korrekte Benennung von magnetisierbaren Materialien den Kindern teilweise Schwierigkeiten.

Hinsichtlich der verwendeten Untersuchungsmethode des klinischen Interviews bleibt festzuhalten, dass diese Vorgehensweise in gewissen Belangen, wie beispielsweise der geringen Objektivität, an ihre Grenzen stößt. Ferner weisen die Autoren selber darauf hin, dass gewisse Aspekte – welche Materialien letztlich von Magneten angezogen werden und welche nicht – nicht hinreichend systematisch untersucht worden sind. Der Bericht erlaubt auch keine Aussagen über etwaige altersbedingte Unterschiede in den Schülervorstellungen oder über einen möglichen Einfluss der allgemeinen schulischen Leistungen bzw. der sprachlichen Kompetenz auf die Performanz der Kinder. So kann die berichtete Untersuchung zwar ein erstes Schlaglicht auf den Wissensstand über Magnetismus bei Schülern der Primarstufe werfen, sie bietet jedoch sicherlich keine erschöpfende Auskunft.

Im nächsten Abschnitt soll auf generelle Voraussetzungen von Vorschulkindern für eine erfolgreiche Beschäftigung mit dem Thema Magnetismus als einem physikalischen Phänomen näher eingegangen werden.

1.3 Voraussetzungen für eine erfolgreiche Beschäftigung mit dem Thema Magnetismus im Vorschulalter aus entwicklungspsychologischer Sicht

Damit sich Kinder mit dem Thema des Magnetismus erfolgreich beschäftigen können, sollten sie zum Einen generell zu einem wissenschaftlichen Denken in der Lage sein und zum Anderen neue Erkenntnisse in diesem Themenbereich in bereits vorhandenen Wissensstrukturen verankern können.

Unter einem wissenschaftlichen Denken ist hierbei der wissenschaftliche Erkenntnisprozess zu verstehen, der neben dem Aufstellen und Überprüfen einer Hypothese auch die Interpretation der Ergebnisse beinhaltet (Klahr, 2000). Während klassische Entwicklungstheoretiker wie Piaget und Wygotski davon ausgehen, dass die Entwicklung eines wissenschaftlichen Denkens auf generellen bereichsübergreifenden Veränderungen in der Denkweise basiert und erst im frühen Jugendalter abgeschlossen ist (Piaget, 1969; Wygotski, 1964), nehmen Vertreter neuerer entwicklungspsychologischer Ansätze an, dass sich die Denkweisen von Kindern und Erwachsenen generell nicht unterscheiden. Die beobachtbaren Unterschiede zwischen den beiden Gruppen seien letztlich darauf zurückzuführen, dass Kinder zunächst auf zahlreichen Gebieten über weit weniger Wissen verfügten als Erwachsene (z.B. Carey, 1985; Carey & Spelke, 1994; Spelke, 1994). Mit zunehmendem Wissen würden sich die kognitiven Leistungen der Kinder denen von Erwachsenen annähern. Dabei erwerben Kinder ihr Wissen in verschiedenen Bereichen, wie Biologie oder Physik, zu verschiedenen Zeitpunkten, so dass meistens eine Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Denkens in den einzelnen Themenbereichen zeitlich versetzt stattfindet. Zahlreiche empirische Belege sprechen mittlerweile dafür, dass die Denkentwicklung dabei generell um einiges schneller voran schreitet als noch von den klassischen Entwicklungstheoretikern angenommen (für einen Überblick siehe Goswami, 2008).

Vielmehr wird heute die Annahme vertreten, dass Kinder bereits sehr früh Theorien aufstellen und überprüfen, um dann gegebenenfalls ihre Theorie aufgrund von empirischen Resultaten zu revidieren und dass sie dabei gleichzeitig in der Lage sind, über dieses wissenschaftliche Vorgehen zu reflektieren (Sodian, Koerber & Thoermer, 2004).

So beachten Säuglinge bereits während des ersten Lebensjahres das Prinzip der Kausalität (Leslie & Keeble, 1987), die einen grundlegenden Aspekt des wissenschaftlichen Denkens ausmacht. Hinsichtlich des frühen bereichsspezifischen Wissens lässt sich erkennen, dass eine der ersten Differenzierungen, die Kinder vornehmen, diejenige zwischen Lebewesen und unbelebten Objekten ist (Behl-Chadha, 1996; Mandler & McDonough, 1993; Mandler & McDonough, 1998; Pauen, 2002a; Pauen, 2002b; Quinn & Johnson, 2000).

Diese Unterscheidung könnte auf sehr frühen unterschiedlichen Erwartungen hinsichtlich des Fortbewegungsverhaltens von Menschen oder unbekanntem Lebewesen im Vergleich zu unbelebten Objekten basieren (Morton & Johnson, 1991; Pauen & Träuble, 2009; Spelke, Phillips & Woodward, 1995). Dabei scheint die Selbstinitiation von Bewegungen eine wichtige Rolle zu spielen: Kleinkinder erwarten, dass sich Menschen oder Tiere von alleine bewegen können, nicht aber unbelebte Gegenstände wie bspw. Möbel oder Bauklötze. Sie verstehen dabei offenbar auch, dass ein unbelebtes Objekt nur dann in Bewegung gesetzt wird, wenn es mit einem anderen Objekt oder einem Lebewesen direkt in Kontakt kommt (Spelke, 1994).

Dieses frühe Verständnis stellt im Zusammenhang mit dem Phänomen des Magnetismus einen äußerst interessanten Aspekt dar: Obwohl es sich bei einem Magneten um ein unbelebtes Objekt handelt, kann es andere Objekte über eine gewisse Entfernung hinweg in Bewegung setzen (anziehen oder abstoßen). Die Faszination die diese Beobachtung bei Kindern auslöst, kann teilweise auf einem wahrgenommenen Widerspruch zu ihren frühesten Theorien der intuitiven Physik beruhen. Ebenso unerwartet für junge Kinder ist die Tatsache, dass ein Objekt, welches in die Nähe eines Magneten kommt (und an diesem haften bleibt) sich anschließend mit diesem Objekt als eine Einheit bewegen lässt. Dies ist ein Phänomen, das sich bei anderen unbelebten Objekten nicht beobachten lässt (Spelke, 1994). Ausgehend von ihren frühesten Beobachtungen und Erfahrungen, stellt somit das Phänomen des Magnetismus für Kinder einen Konflikt dar. Deshalb sollte es nicht verwundern, falls Kinder zunächst in ihren Beschreibungen und Erklärungen der Wirkungsweise eines Magneten auf Eigenschaften aus dem Bereich der Lebewesen zurückgreifen (z.B. Magnet holt einen Gegenstand zu sich oder hält ihn fest). Wie im nächsten Kapitel erläutert wird, bietet sich hier ein guter Ansatzpunkt gerade bei jüngeren Kindern die Vorstellung des physikalischen Charakters der Wirkungsweise von Magneten zu fördern. Wichtig könnte hierbei sein, dass bereits Drei- bis Vierjährige ziemlich genaue Vorstellungen darüber haben, dass Lebewesen über charakteristische Eigenschaften wie Wachstum oder Krankheit verfügen (Hickling & Gelman, 1995; Inagaki & Hatano, 1996; Opfer & Siegler, 2004). Basierend auf diesem Wissen, sollte es gut möglich sein, einer eventuellen Misskonzeption von Magneten als belebten Wesen oder Objekten mit lebewesen-ähnlichen Eigenschaften bei jüngeren Kindern entgegenzuwirken.

Betrachtet man die Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Denkens und des Wissens im naturwissenschaftlichen Bereich über das Säuglingsalter hinaus, so lässt sich feststellen, dass Kinder bis zum Alter von drei Jahren ein Verständnis für einfache kausale Mechanismen aufgebaut haben, komplexe kausale Zusammenhänge jedoch häufig noch nicht korrekt interpretiert werden (z.B. Das Gupta & Bryant, 1989; Gopnik & Sobel, 2000; Gopnik, Sobel, Schulz & Glymour, 2001). Misskonzeptionen kennzeichnen in diesem Alter oft die physikalischen Vorstellungen der Kinder. Im Hinblick auf das Thema Magnetismus erscheint hierbei der „straight-down belief“ von besonderem Interesse. In diesem Fall spielt das Verständnis der Gravitation – einer Kraft, deren Wirkung wir ähnlich wie bei Magnetismus zwar beobachten aber deren Ursache uns nicht sofort zugänglich ist – eine Rolle. Kindern im Alter von zwei bis vier Jahren gelingt es mehrheitlich nicht, den korrekten Endpunkt ei-

nes Falls vorherzusagen, wenn dieser mittels opaquer Röhren umgelenkt wird (Hood, 1995). Obwohl die Kinder den Verlauf mehrerer sich kreuzender Röhren sehen konnten, suchten sie ein Objekt, das oben in eine der Röhren eingeworfen wurde, überzufällig häufig fälschlicherweise an dem Ort, an dem das Objekt nach einem senkrechten Fall gelandet wäre. Sie generalisierten somit offensichtlich ihre naive Theorie über die Gravitationskraft auf eine Situation in der dieses Verständnis zu Fehlschlüssen führte. Dafür spricht auch, dass die Kinder diese Art von Schwierigkeit nicht zeigten, wenn ein Objekt sich in dem gleichen Versuchsaufbau von unten nach oben bewegte (Hood, 1998). Parallel zu dieser Beobachtung lässt sich die vorsichtige These formulieren, dass es im Bereich des Magnetismus zu ähnlichen Übergeneralisierungen kommen könnte, da auch hier der kausale Mechanismus den Kindern nicht direkt zugänglich ist. Hierbei ist beispielsweise vorstellbar, dass die Anziehungskraft eines Magneten auf bestimmte Materialien auch auf weitere Materialien übertragen wird, die jedoch nicht magnetisierbar sind (vgl. 1.1). Dies könnte bei jüngeren Kindern vor allem dann der Fall sein, wenn diese Materialien oder Gegenstände äußerlich solchen ähneln, die von Magneten angezogen werden. Generell lässt sich nämlich beobachten, dass zwar Kinder ab einem Alter von vier Jahren kausale Eigenschaften eines Objekts auf innere, nicht unbedingt sichtbare Faktoren zurückführen können, Dreijährige hingegen sich von äußeren – unter Umständen jedoch kausal irrelevanten - Merkmalen in ihrem Denken beeinflussen lassen (z.B. Sobel, Yoachim, Gopnik, Meltzoff & Blumenthal, 2007).

Betrachtet man ältere Kinder, so lässt sich feststellen, dass sie ab einem Alter von vier Jahren generell in der Lage sind, komplexe kausale Zusammenhänge zu begreifen und ihr kausales Denken im Wesentlichen dem von Erwachsenen ähnelt.



Wie aus den im vorangegangenen Abschnitt berichteten Studien zum Phänomen des Magnetismus (vgl. 1.2) deutlich wird, ist dieser Themenbereich eng mit dem Erwerb des Konzeptes ‚Material‘ verknüpft. Während Piaget und Inhelder (1974) noch davon ausgingen, dass Kinder erst im Alter von zehn bis zwölf Jahren ein solches Konzept ausbilden, sprechen die aktuellen Befunde dafür, dass Kinder bereits sehr viel früher in der Lage sind, den Begriff ‚Material‘ in ihre Vorstellungen einzubinden. Eine starke Entwicklung

scheint hier zwischen dem dritten und vierten Lebensjahr stattzufinden wobei diese Entwicklung sich offensichtlich nicht für alle Materialien zeitgleich vollzieht (Dickinson, 1989). Um korrekte Vorstellungen hinsichtlich der Materialien, welche von einem Magneten angezogen werden zu entwickeln, ist es wichtig über ein erstes Verständnis des Materialbegriffs zu verfügen. Dazu gehört auch, dass eindeutig zwischen dem Material und einem Objekt unter-

schieden wird. Um Materialien identifizieren zu können, müssen die Kinder erkennen, dass Objekte aus bestimmten Materialien bestehen und dass diese Materialien sich durch bestimmte Kombinationen äußerer Merkmale, wie beispielsweise Farbe oder Oberflächenstruktur unterscheiden lassen (Dickinson, 1989). Ein basales Verständnis des Konzepts ‚Material‘ ist letztendlich auch notwendig, um die Bezeichnungen für unterschiedliche Materialien zu erlernen. Hier scheinen vor allem noch Dreijährige einige Schwierigkeiten zu haben (Dickinson, 1989). Dennoch scheint es möglich dreijährigen Kindern Materialbegriffe für ihnen bekannte Objekte beizubringen. Dabei scheint das Prinzip der gegenseitigen Ausschließlichkeit eine Rolle zu spielen (Au & Markman, 1987, zitiert nach Dickinson, 1989): Kinder nehmen an, dass Objekte deren Namen sie kennen keinen weiteren, unterschiedlichen Eigennamen haben können. Deswegen werden sie eher dazu ermutigt, über den Zusammenhang zwischen einer neuen Bezeichnung (für ein ihnen bekanntes Objekt) und dem Material nachzudenken.

Ausgehend von den bisher berichteten Fertigkeiten, speziell das Verständnis von Magnetismus sowie generell das naturwissenschaftliche Denken betreffend, und deren Entwicklung im Vorschulalter werden als Nächstes Empfehlungen für eine Umsetzung des Themas Magnetismus im Kindergarten vorgestellt.

2. Empfehlungen für die Umsetzung des Themas Magnetismus im Kindergarten

Im Folgenden werden Empfehlungen für eine nachhaltige Umsetzung des Themas Magnetismus im Kindergarten anhand ausgewählter relevanter Aspekte vorgestellt. Dabei wird auf etwaige altersbedingte Unterschiede eingegangen, die bei der Umsetzung beachtet werden sollten.

2.1 Alltagserfahrungen von Vorschulkindern mit unterschiedlichen Aspekten von Magnetismus

Bei allen Bereichen der Naturwissenschaften, die im Kindergartenalter gezielt aufgegriffen und gefördert werden sollen, ist eine Erhöhung des reinen Wissens auf einem bestimmten Gebiet nur ein Teilaspekt des angestrebten Ziels. Gleichzeitig sollte die Auseinandersetzung mit einem Themenbereich nach Möglichkeit auch den Prozess des Wissenserwerbs, d.h. das systematische Beobachten, Beschreiben, Experimentieren, Vergleichen und Ordnen von Erfahrungen nachhaltig positiv beeinflussen, da beide Aspekte den Kern der Naturwissenschaften per se ausmachen (Rempp, 2007). Hierzu eignet sich der Themenbereich des Magnetismus ausgezeichnet. Die Kinder bringen bereits sehr früh einen gewissen Grad an Alltagserfahrungen mit. Spielzeuge wie Eisenbahnen, deren Wagen mittels kleinen Magneten aneinander gekoppelt werden, Spielfiguren, in Form von Tieren, die ausgestattet mit einer magnetischen Rückseite beispielsweise in eine Bauernhofspieltafel eingefügt werden

können oder größere Magnettafeln an denen Buchstaben, Zahlen oder Bilder befestigt werden können, lassen sich heute in so manchem Kinderzimmer finden. Hinzu kommen magnetische Objekte, die im Leben der Erwachsenen eine Rolle spielen und die Kinder bereits sehr früh beobachten können oder mit denen sie auch eigene Erfahrungen sammeln: Magnete, die am Külschrank oder an einer Magnet-Pinnwand angebracht werden um Notizzettel, Bilder etc. festzuhalten, magnetische Verschlüsse bei Taschen sowie Geldbeuteln oder magnetische Schließmechanismen an Schranktüren. Allerdings kann es in diesem Erfahrungsbereich durchaus Altersunterschiede geben. So ist vorstellbar, dass Kinder mit drei Jahren möglicherweise noch weniger selbstständige Erfahrungen mit Magneten gemacht haben, da diese teilweise kleinteilig sind und für sie somit zum Spielen ungeeignet.

Abgesehen von dieser möglichen Einschränkung fällt angesichts dieser kurzen Aufzählung zusätzlich auf, dass die Interpretation von Kircher und Rohrer (Kircher & Rohrer, 1993) tatsächlich ihre Berechtigung haben könnte: Wenn Kinder frühe Erfahrungen mit magnetischen Kräften machen, dann handelt es sich hierbei fast ausschließlich um die Anziehungskraft von Magneten. Die meisten wenn nicht sogar alle Gebrauchsgegenstände unseres Alltags basieren auf dem (praktischen und hilfreichen) Prinzip der magnetischen Anziehungskraft und die Gelegenheit die abstoßende Wirkung zweier Magneten zu beobachten, bietet sich den Kindern somit viel seltener oder sogar überhaupt nicht. Die hier dargestellten Überlegungen führen zu folgenden Schlüssen: a) Da Kinder heute im Alltag über zahlreiche Möglichkeiten verfügen, dem Phänomen des Magnetismus zu begegnen, sollte eine fördernde Umsetzung dieses Themas im Kindergarten auf ein gewisses Vorwissen stoßen. Allerdings sollten hierbei unbedingt altersbedingte Unterschiede in den tatsächlichen Erfahrungsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Gerade den jüngeren Kindern sollte unter Umständen zunächst vor allem die Möglichkeit gegeben werden, erste Erfahrungen mit Magneten zu sammeln, bevor eine eventuelle Anreicherung des Wissens im diesem Bereich stattfinden kann. b) Hinsichtlich des Phänomens der Abstoßungskraft von Magneten bietet sich im Rahmen von selbstständig durchgeführten Experimenten eine hervorragende Möglichkeit, die Kinder an dieses ihnen möglicherweise weniger bekannte Phänomen heranzuführen, um so etwaigen, späteren Unterschieden im Verständnis der Anziehungs- und Abstoßungskräfte von Magneten entgegen zu wirken. Bei jüngeren Kindern bzw. generell solchen, die bisher insgesamt nur wenig Erfahrung mit Magneten machen konnten, sollte dies zeitlich auf jeden Fall auf eine ausreichende Beschäftigung mit dem Phänomen der Anziehungskraft folgen, da diese unter Umständen zunächst leichter nachzuvollziehen ist.

2.2 Naturwissenschaftliches Denken bei Vorschulkindern im Zusammenhang mit dem Phänomen des Magnetismus

Als erste Orientierung lassen die bisher vorgestellten Befunde aus dem Bereich der frühen Vorstellungen zum Phänomen Magnetismus sowie den damit zusammenhängenden Aspekten den Schluss zu, dass eine Auseinandersetzung

mit diesem Themengebiet vor dem Eintritt in die Grundschule auf jeden Fall sinnvoll sein sollte, um die Vorstellungen der Kinder auf diesem Gebiet zu differenzieren und um ihnen ein erstes Basiswissen zu vermitteln (Dickinson, 1989; Kircher & Rohrer, 1993). Eine Förderung dieses Themas im Kindergarten sollte jedoch gleichzeitig mögliche Verständnisschwierigkeiten, die sich in den berichteten Untersuchungen bei Vorschul- und Grundschulkindern widerspiegeln, berücksichtigen.

Generell gilt es, die Faszination, die das Phänomen des Magnetismus auch auf junge Altersgruppe ausübt zu nutzen. Wie zuvor dargestellt, verfügen Vorschulkinder bereits über ein breites Spektrum an naturwissenschaftlichem Wissen und sind in der Lage naturwissenschaftlich zu denken (vgl. 1.3.). Deswegen wird empfohlen, den Themenbereich Magnetismus gezielt im Kindergartenalter zu fördern. Hierbei erscheint es sinnvoll, bei jüngeren Kindern (3-4 Jahre) den Fokus hauptsächlich auf das Üben der Komponenten eines naturwissenschaftlichen Denkens zu legen, wie des systematischen Beobachtens, Experimentierens und Ordnen von Erfahrungen. Die Wissensvermittlung könnte sich hier auf ein Beschreiben und Einordnen der Materialien, die von einem Magneten angezogen bzw. nicht angezogen werden konzentrieren. Dabei sollte vor allem auch ausreichend Raum für die Erfahrung mit unterschiedlichen Materialien gegeben werden, die nicht von Magneten angezogen werden, um einer Übergeneralisierung des faszinierenden Phänomens vorzubeugen. Dies könnte insgesamt auch zu einem verbesserten Verständnis des Konzepts ‚Material‘ beitragen (vgl. 2.3).

Bei den Jüngeren könnte eine systematische Auseinandersetzung mit Magneten und ihren Kräften als einem physikalischem Phänomen außerdem dazu führen, etwaige animistische Interpretationen oder auf ‚Zauberkräfte‘ basierenden Erklärungsansätze seitens der Kinder zu überwinden, die sich aufgrund ihrer frühesten Beobachtungen und Erkenntnisse herausbilden könnten. Wie zuvor beschrieben, unterscheiden Kinder sehr früh zwischen Lebewesen und unbelebten Objekten und schreiben dabei den beiden Gruppen unterschiedliche Eigenschaften zu. Sie verstehen dabei offenbar unter anderem, dass ein unbelebtes Objekt nur dann in Bewegung gesetzt wird, wenn es mit einem anderen Objekt oder einem Lebewesen direkt in Kontakt kommt: Ein Magnet jedoch, kann andere (unbelebte) Objekte über eine gewisse Entfernung hinweg in Bewegung setzen. Ausgehend von ihren frühesten Beobachtungen und Erfahrungen, stellt somit das Phänomen des Magnetismus für Kinder einen Konflikt dar. Durch einfache Erklärungen, bei denen jedoch auf animistische Redewendungen bewusst verzichtet werden sollte, können die Kita-Fachkräfte den (jüngeren) Kindern dabei helfen, das Phänomen des Magnetismus sicher im Bereich der Physik zu verorten.

Da ältere Kinder ein besseres Verständnis für kausal relevante aber nicht unbedingt sicht-



bare Eigenschaften eines Ereignisses haben, kann für diese Altersgruppe (5-6 Jahre) neben der Auseinandersetzung mit den beobachtbaren Effekten der Magnetkraft (ein Magnet zieht bestimmte Materialien an, andere nicht und Magnete können sich gegenseitig abstoßen), je nach individueller Kompetenz, auch ein einfaches Elementarmagnet-Modell eingeführt werden, in dem dargelegt wird, dass ein Magnet aus einzelnen Teilen besteht, die wiederum wie kleine gleich ausgerichtete Magnete zu verstehen sind. Dies könnte einen ersten Schritt auf dem Weg zu einem besseren Verständnis bedeuten, warum ein Magnet sich so verhält wie er es tut.

2.3 Der Zusammenhang mit dem Konzept ‚Material‘

Wie aus den zuvor dargestellten Untersuchungen ersichtlich wird, sind die Vorstellungen von Kindern hinsichtlich des Phänomens Magnetismus eng mit ihren Konzepten von ‚Materie‘ verknüpft (vgl. 1.2). Nach Dickinson, erfordert eine korrekte Vorhersage des Gegenstandes, welcher von einem Magneten angezogen wird, eine einwandfreie Identifikation von Materialien sowie eine sichere Unterscheidung zwischen Objekten und den Materialien aus denen sie bestehen (Dickinson, 1989). Auch in der Untersuchung von Kircher und Rohrer wird deutlich, dass Schwierigkeiten beim Verständnis der magnetischen Kräfte oftmals mit Unsicherheiten bei der Benennung einzelner Materialien einhergehen (Kircher & Rohrer, 1993).

Für eine erfolgreiche Umsetzung des Themas Magnetismus mit Vorschulkindern hieße dies, darauf zu achten, die einzelnen Materialien an denen die Wirkung eines Magneten ausprobiert werden soll, sorgfältig einzuführen und vorzustellen. Dabei sollte der Unterschied zwischen Material und Objekt deutlich in den Erklärungen der Experimente herausgearbeitet werden. Insbesondere bei jüngeren Kindern könnte es hier noch zu größeren Unsicherheiten im Verständnis kommen: Es sei nochmals daran erinnert, dass in der Studie von Dickinson bei der Identifizierung von Materialien die größte Entwicklung zwischen drei und vier Jahren beobachtet wurde (Dickinson, 1989). Unter Umständen könnte es förderlich sein, die Anziehungskraft der Magnete in Experimenten zunächst verstärkt an Gegenständen zu demonstrieren, die nicht unbedingt in erster Linie als funktionale Objekte zu identifizieren sind. Dies könnte verhindern, dass Kinder die Anziehungskraft mit bestimmten Objekten und nicht so sehr mit dem Material in Verbindung bringen. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass Kinder Gegenstände, die von Erwachsenen nicht als Objekt wahrgenommen werden ebenfalls nicht als Objekt betrachten (Dickinson, 1989).

Angesichts der Beobachtung, dass bei allen Kindern die größten Schwierigkeiten bei der Materialidentifikation im Fall von Metall auftraten, dieser aber im Fall von Magnetismus von herausgehobener Bedeutung ist, könnte in einer gezielten Förderung darauf hingewirkt werden, die Vielfalt der Begriffe (Eisen, Stahl, Blech, Metall etc.) kennen zu lernen und diese vor allem einheitlich zu verwenden, um den Kindern so eine bessere Einordnung magnetischer und nicht magnetischer Materialien zu erleichtern.

Ausgehend von den bisherigen Forschungsergebnissen wird unbedingt empfohlen, eine Auseinandersetzung mit dem Thema Magnetismus im Kindergarten von einer Einheit zu Materialkunde begleiten zu lassen. Dabei ist einerseits ein grundlegendes Verständnis des Konzepts ‚Material‘ sowie die sichere Identifikation unterschiedlicher Materialarten unabdingbar für eine gezielte Förderung von Vorstellungen des Phänomens Magnetismus, andererseits kann die experimentelle Auseinandersetzung mit Magneten den Kindern dabei helfen, ihre Kenntnisse über Materialien zu erweitern und zu festigen. Das Vorschulalter scheint für eine intensive Beschäftigung mit dem Thema ‚Materialien‘ hierbei sehr gut geeignet zu sein.

Im Zusammenhang mit der Unterscheidung zwischen Material und Objekt sowie bei der Unterscheidung verschiedener Metallarten lassen sich ferner natürlich auch die sprachlichen Kompetenzen der Kinder gut fördern.

2.4 Zusammenfassung

Es gilt, die Faszination, die das Phänomen des Magnetismus auf junge Altersgruppen ausübt zu nutzen. Da Kinder heute bereits sehr früh einen gewissen Grad an Alltagserfahrungen mit Magneten haben, eignet sich dieser Themenbereich ausgezeichnet, um Komponenten eines naturwissenschaftlichen Denkens zu üben und zu festigen. Dabei sollten jedoch mögliche altersbedingte Unterschiede in den tatsächlichen Vorerfahrungen berücksichtigt werden. Gerade den jüngeren Kindern sollte unter Umständen zunächst vor allem die Möglichkeit gegeben werden, im Rahmen von Experimenten ihre ersten Erfahrungen mit Magneten zu sammeln, bevor – verstärkt bei älteren Kindern – eine eventuelle Anreicherung des Wissens im diesem Bereich stattfinden kann.

Eine experimentelle Umsetzung des spezifischen Phänomens der Abstoßungskraft von Magneten bietet die Möglichkeit, Kinder an dieses ihnen möglicherweise weniger bekannte Phänomen heranzuführen, um so etwaigen späteren Unterschieden im Verständnis der Anziehungs- und Abstoßungskräfte von Magneten entgegen zu wirken. Bei jüngeren Kindern bzw. generell solchen, die bisher insgesamt nur wenig Erfahrung mit Magneten machen konnten, sollte dies zeitlich auf jeden Fall auf eine ausreichende Beschäftigung mit dem Phänomen der Anziehungskraft folgen, da diese unter Umständen zunächst leichter nachzuvollziehen ist.

Ferner wird empfohlen, eine Auseinandersetzung mit dem Thema Magnetismus im Kindergarten von einer Einheit zu Materialkunde begleiten zu lassen. Dabei ist einerseits ein grundlegendes Verständnis des Konzepts ‚Material‘ sowie die sichere Identifikation unterschiedlicher Materialarten unabdingbar für eine gezielte Förderung von Vorstellungen des Phänomens Magnetismus. Andererseits kann die experimentelle Auseinandersetzung mit Magneten den Kindern dabei helfen, ihre Kenntnisse über Materialien zu erweitern und zu festigen und hierbei auch ihre sprachlichen Kompetenzen zu verbessern.



C

Entwicklung des Verständnisses zum Thema Akustik bei Kindern im Alter von 3 bis 10 Jahren:

Empfehlungen für die Umsetzung des Themenschwerpunkts Akustik mit Kindern, Kita- und Grundschulfachkräften

Susanna Jeschonek

- 1 Darstellung des aktuellen Forschungsstandes
- 2 Empfehlungen für die Umsetzung des Themas Schall mit Kindergarten- und Grundschulkindern

1. Darstellung des aktuellen Forschungsstandes⁵

1.1 Akustik: Schall und Schallwahrnehmung

Akustik ist die Lehre vom Schall. Hierzu gehören die Entstehung und Ausbreitung von Schall sowie dessen Eigenschaften und Nutzung (Meyer & Schmidt, 2005). Die Akustik bildet eine Unterkategorie des physikalischen Themenbereichs der mechanischen Schwingungen und Wellen.

Als Schall werden Druckwellen, d.h. Druckschwankungen, in Gasen (z.B. Luft), Flüssigkeiten und Festkörpern bezeichnet (Harten, 2005). Diese Druckwellen entstehen durch mechanische Schwingungen. Eine Schwingung in einer Sekunde entspricht dabei einem Hertz (Hz). Liegen die Schwingungen nun in einem Frequenzbereich zwischen ca. 16 Hz und ca. 16 kHz, so können wir Menschen diese Schwingungen hören (Hörschall). Liegt die Frequenz des Schalls unterhalb des menschlichen Hörbereichs, wird er als Infraschall bezeichnet. Handelt es sich wiederum um eine höhere Frequenz als 16 kHz, so sprechen wir von Ultraschall. Mit steigendem Alter, sinkt die obere Hörgrenze bei Menschen zunehmend. Andere Lebewesen sind hingegen in der Lage auch Töne im Ultraschallbereich wahrzunehmen und zu erzeugen. So erstreckt sich beispielsweise der Hörbereich eines Hundes bis ca. 40 kHz und der einer Fledermaus sogar über 100 kHz hinaus. An dieser Stelle wird bereits deutlich, dass Schall zum Einen ein externes physikalisches Phänomen darstellt, gleichzeitig aber auch von einer internen, subjektiven Wahrnehmung abhängt.

Schall entsteht, wenn ein Körper in Bewegung versetzt wird und zu schwingen beginnt. Dies bedeutet, dass Schall nicht einfach ‚von Selbst‘ existiert – er hat immer eine Schallquelle (Kieninger, 2008a). Bei der Art von Schallschwingungen wird zwischen Ton, Klang, Geräusch und Knall unterschieden (Meyer & Schmidt, 2005). Ausschlaggebend für diese Kategorisierung ist hauptsächlich die Regelmäßigkeit der erzeugten Schwingung. Während ein *Ton* durch eine regelmäßige und sinusförmige Schwingung charakterisiert ist (z.B. bei einer Stimmgabel), ist die Schwingung, die einem *Klang* zugrunde liegt zwar regelmäßig, aber nicht sinusförmig (z.B. bei einem Musikinstrument). *Geräusche* wiederum sind durch unregelmäßige Schwingungen gekennzeichnet (z.B. bei einem Fahrzeug). Bei einem *Knall* schließlich weist die Schwingung zu Beginn einmalig eine große Amplitude auf, die danach schnell wieder abfällt.

Der erzeugte Schall breitet sich anschließend von der Schallquelle ausgehend in der Umgebung aus. Wie eingangs festgehalten, kann dies über unterschiedliche Träger erfolgen (Festkörper, Flüssigkeit, Gase). Die schwingende Schallquelle stößt dabei das Material in ihrer Umgebung an und leitet Energie weiter (Kieninger, 2008b). Es kommt zu Druckschwankungen. Steht, wie im Vakuum, jedoch kein Stoff zur Verfügung, bleiben die Druckschwankungen aus und es kommt zu keiner Schallausbreitung.

Im Folgenden werden kurz die Grundlagen zweier Eigenschaften von Schall skizziert: die Tonhöhe und die Lautstärke. In Abhängigkeit davon, wie schnell

⁵Die Expertise von S. Jeschonek wurde im Jahr 2011 verfasst.

eine Schallquelle schwingt, entstehen hohe oder niedrige Töne. Je schneller die Schwingung, desto größer ist die Frequenz und desto höher der erzeugte Ton. Ein Körper, der sich hingegen langsam bewegt bzw. langsam schwingt, hat eine geringere Frequenz und erreicht demnach eine geringere Tonhöhe. Am Beispiel von Saiteninstrumenten lässt sich beobachten, dass lange Saiten langsamer schwingen als kurze Saiten und somit tiefere Töne erzeugen. Stark gespannte Saiten hingegen schwingen schneller und erzeugen höhere Töne. Gleiches gilt selbstverständlich auch für die unterschiedlichen Spannungen von Membranen, beispielsweise bei Trommelinstrumenten.

Eine weitere Komponente von Schall ist seine Lautstärke. Diese hängt nicht von der Frequenz ab, mit der ein Körper schwingt, sondern von der Amplitude, mit der er dies tut: Je größer die Amplitude einer Körperschwingung, desto lauter ist der erzeugte Ton. Unsere Wahrnehmung von Lautstärke hängt aber gleichzeitig auch von der jeweiligen Tonhöhe ab (vgl. Berude, 2010). Einen Schall mit einer Frequenz von 100 Hz nehmen wir bei einer gleichbleibenden Lautstärke als leiser wahr als einen Schall mit einer Frequenz von 1000 Hz. Wie eingangs erwähnt, sollte beachtet werden, dass die Sinneseindrücke von Schall, die wir empfinden (Lautstärke, Tonhöhe oder Klangfarbe), grundsätzlich subjektiv sind und dass diese Eigenschaften nicht nur voneinander abhängig sind, sondern teilweise auch von internen Faktoren wie Gemütszustand, Müdigkeit etc. beeinflusst werden können (Merino, 1998).

Neben einer Schallquelle zur Erzeugung von Tönen, Klängen oder Geräuschen und einer stofflichen Materie zur Übertragung der entstehenden Schallwellen braucht es abschließend ein entsprechendes Organ, mit dem wir Menschen diese Schallschwingungen aufnehmen und verarbeiten können. Dazu nehmen wir zunächst mit unseren Ohren die mechanischen Schwingungen aus der Umgebung auf (vgl. Berude, 2010). Im Detail werden die Schallwellen über die Ohrmuschel aufgenommen und über die Luft im Gehörgang weitergeleitet bis sie am Trommelfell ankommen. Durch die Druckwellen beginnt das Trommelfell zu schwingen. Diese Schwingungen werden mechanisch an das Mittelohr weitergeleitet, wo die Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel diese Schwingung wieder verstärken und sie an das Innenohr übertragen. Zum Innenohr gehört eine mit Flüssigkeit gefüllte schneckenförmige Struktur, die Cochlea. Hier liegen die Hörsinneszellen, welche die Information aus den mechanischen Schallwellen in elektrische Signale umwandeln. Diese elektrischen Signale werden über den Hörnerv an das Gehirn weiter transportiert.

Die auditive Wahrnehmung beginnt bei uns Menschen bereits vor der Geburt: Bereits im fünften Schwangerschaftsmonat nimmt der Fetus erste akustische Informationen wahr (Goldstein, 2008, zitiert nach Berude, 2010). Die auditiven Fähigkeiten sind mit dem Zeitpunkt der Geburt bereits relativ gut ausgebildet. Bis der Hörbereich demjenigen von Erwachsenen entspricht, dauert es jedoch bis ca. zum Ende des ersten Lebensjahres (Olsho, Koch, Carter & Halpin, 1988, zitiert nach Berude, 2010). Zunächst nehmen die Säuglinge im Vergleich zu Erwachsenen bestimmte Frequenz des Hörbereichs nur bei einer größeren Lautstärke wahr. Diese Unterschiede lassen sich besonders bei sehr tiefen und sehr hohen Tönen beobachten, d.h. an den Grenzen des Hörbereichs.

Auch die Lokalisation von Schallquellen gelingt Säuglingen weniger präzise als Erwachsenen. Die Lokalisation von Schallereignissen geschieht hauptsächlich über die Verrechnung des Zeitunterschieds, mit dem der Schall beide Ohren erreicht. Da der Kopf eines Säuglings im Vergleich zu einem Erwachsenen um Einiges kleiner ist, fallen diese Unterschiede dementsprechend gering aus und sind folglich weniger aussagekräftig (Lamb, Bornstein & Teti, 2002, zitiert nach Berude, 2010). Sollen Kinder entscheiden, ob eine verborgene Tonquelle, sich hinter der linken oder rechten Hälfte einer Wand befindet, vor der sie sitzen (d.h. ob der Ton ihrer Meinung nach, von links oder rechts kommt), haben sie bis zu einem Alter von ungefähr vier Jahren erhebliche Schwierigkeiten damit (Roffler & Butler, 1968). Die erfolgreiche Lokalisation von Schallquellen in der vertikalen Ebene (oben vs. unten) gelingt auch Erwachsenen kaum (Pratt, 1930; Roffler & Butler, 1968).

Wie aus dieser einleitenden Darstellung ersichtlich wird, verfügen wir bereits sehr früh über relativ gut ausgebildete auditive Fähigkeiten. Und während uns von früh an Töne, Klänge und Geräusche quasi unablässig in unserem Alltag begleiten, wird gleichzeitig deutlich, dass es sich bei dem Themenbereich Akustik um ein relativ komplexes und insofern abstraktes physikalisches Thema handelt, als dass wir Schall weder sehen, noch anfassen, riechen oder schmecken können. Die Frage stellt sich, ab welchem Alter und in welcher Form dieser Themenbereich in einer nachhaltig fördernden Weise an Kinder herangetragen werden kann. Hierzu ist es wichtig, sich zunächst bewusst zu machen, welche Vorstellungen ältere Kinder und Jugendliche bzw. Erwachsene mit dem Thema Schall in Verbindungen bringen. Deswegen sollen im nächsten Abschnitt Untersuchungen vorgestellt werden, die sich mit den Vorstellungen von Schülern der Mittel- und Oberstufe sowie von Universitätsstudentinnen und -studenten bezüglich verschiedener Aspekte von Schall beschäftigt haben.

1.2 Wissen und Vorstellungen über den Themenbereich Schall bei Jugendlichen und Erwachsenen

In der Studie von Eshach und Schwartz (2006), in der die Autoren die Konzepte von Schall bei zehn Achtklässlern aus Israel erfragt haben, wird eingangs auf die erstaunlich geringe Anzahl von Untersuchungen aufmerksam gemacht, die sich bis dato mit den Vorstellungen und dem Vorwissen von Schülerinnen und Schülern und Studentinnen und Studenten zu dem Thema Schall auseinander gesetzt haben. Es wird zunächst auf eine Studie verwiesen, die verschiedene Schallkonzepte bei Schülerinnen und Schülern der Mittelstufe thematisiert (Boyes & Stanisstreet, 1991, zitiert nach Eshach & Schwartz, 2006). Dabei wurde unter anderem das Wissen über den Weg des Schalls zwischen Quelle und Hörer erfragt. In der Gruppe der Elf- bis Dreizehnjährigen gaben nur 40% der Schülerinnen und Schülern an, dass Schall sich von der Quelle zum Hörer bewegt. Bei den 13- bis 16-Jährigen wurde diese Antwort mehrheitlich, aber dennoch nicht von allen Schülerinnen und Schülern geäußert (78%). Zu den falschen Erklärungsansätzen zählte dabei unter anderem die Vorstellung der Schülerinnen und Schülern, dass Schall sich vom Hörer zur Quelle hin ausbreitet.

Eshach und Schwartz (Eshach & Schwartz, 2006) verweisen weiterhin auf zwei Untersuchungen, die in dem Buch *Making Sense of Secondary Science* (Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1994) aufgeführt werden. Die erste Studie beschäftigt sich mit Schallkonzepten bei Kindern im Alter von 4 bis 16 Jahren und kommt unter anderem zu dem Ergebnis, dass eine Vorstellung von Schall, der sich durch Luft fortbewegt, ausschließlich bei der ältesten Gruppe zu erkennen ist (Asoko, Leach & Scott, 1991). Die zweite Studie ist Teil des am King's College in London in den 1980ern durchgeführten Projekts *Science Processes and Concept Exploration (SPACE)*, welches die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern über verschiedene im nationalen Lehrplan enthaltene naturwissenschaftliche Fächer untersuchen sollte. Darin weisen die Autoren darauf hin, dass Kinder Schall zunächst als ein unsichtbares Objekt betrachten, das bei seiner Fortbewegung tatsächlichen Raum einnimmt (Watt & Russell, 1990).

In ihrer eigenen Studie gehen Eshach und Schwartz (Eshach & Schwartz, 2006) der Frage nach, inwiefern sich das Verständnis von Schall bei Schülerinnen und Schülern der Mittelstufe mit dem von Reiner und Kollegen vorgestellten Erklärungsansatz des *substance schema* in Einklang bringen lässt (Reiner, Slotta, Chi & Resnick, 2000). Dieser theoretische Erklärungsansatz baut auf den zahlreichen Untersuchungen zu naivem Physikwissen auf, die sich hauptsächlich mit Fragen aus dem Bereich der klassischen Mechanik auseinandergesetzt haben (Reiner et al., 2000). Diese Untersuchungen führten gemeinhin zu der Annahme, dass Schülerinnen und Schülern zu Beginn des Physikunterrichts bereits über ein definiertes Grundwissen verfügen, welches auf ihren Alltagserfahrungen beruht. Dieses Wissen wiederum wäre größtenteils stofflicher Art, d.h. es würde sich darauf beziehen, wie sich materielle Objekte und andere Substanzen verhalten. Reiner und Kollegen vertreten die Annahme, dass Anfänger stets dazu neigen werden, auch abstrakte physikalische Konzepte (z.B. Licht, Wärme, Elektrizität) mit Eigenschaften und Verhaltensweisen stofflicher Substanzen zu verbinden, da sie so neues Wissen an bereits vorhandene Wissensstrukturen anpassen können (Reiner et al., 2000). Unter dem Begriff des *substance schema* stellen die Autoren einen theoretischen Erklärungsansatz vor, der sich auf ein generalisiertes Wissen über materielle Substanzen und Objekte bezieht. Dabei werden elf Eigenschaften benannt, die üblicherweise bei stofflichen Substanzen zu beobachten sind und die auf neue, unbekannte Substanzen ausgeweitet werden können. Zu diesen Eigenschaften zählen beispielsweise die Annahmen, dass Stoffe anstoßen und angestoßen werden können, dass Reibung entsteht, wenn sie sich über eine Oberfläche bewegen, dass Stoffe in ein Behältnis gegeben werden können, d.h. eindämmbar sind, dass sie korpuskular sind, d.h. eine Oberfläche und ein Volumen haben, dass sie stabil sind, insofern als dass sie nicht spontan verschwinden und wieder auftauchen können, dass Stoffe sich durch Raum bewegen oder bewegt werden können und dass sie träge sind, d.h. einer Kraft bedürfen, um in Bewegung gebracht zu werden.

Mittels eines strukturierten klinischen Interviews sind Eshach und Schwartz der Frage nachgegangen, inwiefern die Vorstellungen von Achtklässlern hinsichtlich des Phänomens Schall einige oder alle dieser Substanzeigenschaften beinhalten [für eine Übersicht aller Fragen siehe Eshach & Schwartz, 2006]. Aus den detailliert ausgewerteten Antworten der Schüler ziehen sie den Schluss,

dass Schall zwar meist als Substanz, jedoch nicht als eine reguläre Substanz wahrgenommen wird. Die Beschreibungen der meisten Teilnehmerinnen und Teilnehmern deuten darauf hin, dass sie Schall folgende Substanzeigenschaften zuschreiben: Schall bewegt sich durch Raum oder wird bewegt, er stößt an und kann angestoßen werden. Schall ist eindämmbar und er verursacht teilweise Reibung. Gleichzeitig jedoch sprechen die meisten Schüler dem Schall Stabilität ab, indem sie erklären, dass Schall in verschiedenen Medien nicht nur eine andere Form annehme, sondern tatsächlich zu einer anderen Substanz mit unterschiedlichen Eigenschaften würde. So erklärten sie teilweise, dass Schall in einem Vakuum ‚verschwinden‘ würde. Auch die Substanzeigenschaft der Trägheit wird Schall von den Wenigsten zugeschrieben. Vielmehr gehen die Schülerinnen und Schülern davon aus, dass Schall sich selbstinitiiert bewegen kann. Weitere falsche Vorstellungen können den Autoren zufolge sprachlich vermittelt sein und lassen sich ähnlich bei Erwachsenen beobachten. Der physikalische Begriff Schallwelle – der sich darauf bezieht, dass sich die durch Schall verursachten Druckveränderungen in einem beliebigen Medium als Wellenfunktion ausdrücken lassen – wird oftmals fälschlicherweise mit einer Schallausbreitung in Verbindung gebracht, die dem Bild einer Wasserwelle gleicht. Generell fehlt, nach Ansicht der Autoren, den meisten Schülerinnen und Schülern der Altersgruppe eine innere Konsistenz ihrer Schallkonzepte. Dies führt beispielsweise dazu, dass sie erklären, Schall würde sich in unterschiedlichen Medien auf unterschiedliche Art und Weise ausbreiten. In der fehlenden inneren Konsistenz der Erklärungsansätze sehen Eshach und Schwartz wiederum eine Chance für den Physikunterricht: Da die Schülerinnen und Schülern nicht stark an ihre anfänglichen Vorstellungen gebunden wären, könnte eine Umstrukturierung ihrer Misskonzepte durch pädagogische Fachkräfte eventuell leichter fallen.

Im Vergleich zu den Ergebnissen aus Israel und den zuvor erwähnten Studien, klingen die Berichte einer nationalen Studie aus Taiwan zunächst um Einiges positiver (Chang, Chen, Guo, Chen, Chang et al., 2007). Hinsichtlich des Themas Schall untersuchten die Autoren dort mittels einer Testaufgabe, ob Sechstklässler Schall korrekt als eine Wellenbewegung identifizieren könnten. In der zweistufigen Aufgabe mussten die Schüler zunächst beantworten, ob wir einen Wecker klingeln hören können, wenn sich dieser in einem geschlossenen Behälter befindet. Anschließend mussten sie im zweiten Teil der Aufgabe aus vier vorgegebenen Lösungsvorschlägen (A, B, C, oder D) eine Variante auswählen, um ihre jeweilige Antwort zu begründen. In Begründung A wurde davon ausgegangen, dass wir den Ton hören könnten, da er durch den Behälter hindurch dringen würde (10% der Kinder entschieden sich für diese Möglichkeit). In Antwortmöglichkeit C wurde die Annahme formuliert, der Behälter müsse über kleine Löcher verfügen, damit der Ton nach außen dringen könne (ca. 5% der Teilnehmerinnen und Teilnehmer wählten diese Begründung). Knapp ein Viertel der befragten Kinder entschied sich für die ebenso inkorrekte Alternative D, in der begründet wurde, der Ton würde durch den verschlossenen Behälter geblockt und wäre somit außerhalb nicht wahrzunehmen. Rund 58% der Schülerinnen und Schülern lösten die Aufgabe jedoch korrekt, indem sie sich für Begründung B entschieden: der Wecker wäre außerhalb des Behälters zu hören, da der Ton übertragen wird, indem er auf die Wand des Behälters trifft und diese zum Vibrieren bringt.

Allerdings muss beachtet werden, dass bei dieser Untersuchung das Thema Schall lediglich in einer einzigen Testaufgabe mit geschlossenem Antwortformat behandelt wurde, in der zudem Lösungsvorschläge und somit auch die korrekte Antwort vorgegeben waren. Im Vergleich zu der sehr ausführlichen qualitativen Untersuchungsmethode von Eshach und Schwartz (Reiner et al., 2000) können die Resultate von Chang und Kollegen deshalb nur einen begrenzten Hinweis auf das spontane Wissen der befragten Schüler geben. Ein tatsächlicher Vergleich der Ergebnisse aus beiden Studien ist nicht möglich.

Abschließend ist festzuhalten, dass weitere Studien sogar auf unzureichende Konzepte des Schallmodells bei Physikstudentinnen und -studenten (Linder, 1992; Linder & Erickson, 1989; Wittmann, Steinberg & Redish, 2003) sowie Studentinnen und Studenten der Ingenieurwissenschaften (z.B. Pejuan, Bohigas, Jaén & Periago, 2010) hinweisen. Selbstverständlich wurden die Vorstellungen bzw. das Vorwissen in diesen Fällen auf einem relativ hohen und auch abstrakten Niveau untersucht. Dennoch wird durch diese Resultate offenbar, dass auch Erwachsene – die sich zudem verstärkt mit diesem Themenbereich beschäftigen - Schwierigkeiten haben, Schall korrekt als Energie zu interpretieren, die sich durch verschiedene Materien im Raum ausbreitet. So umfassten die Erklärungen der Physikstudentinnen und -studenten beispielsweise die Annahmen, Schall sei eine Einheit, die entweder von einzelnen Molekülen oder von einem Molekül zum nächsten durch ein Medium befördert wird, sowie die Vorstellung, Schall sei eine umgrenzte Substanz, die sich mittels Anstoßen durch die Luft fortbewegt (Linder & Erickson, 1989).

Auch wenn bis jetzt nur eine überschaubare Zahl wissenschaftlicher Befunde vorliegt, so wird doch deutlich, dass Schall über die Mittel- und Oberstufe bis hinein in die Hochschule ein von Vielen oftmals falsch interpretiertes physikalisches Phänomen bleibt. Letztendlich ist es wohl auch sein hoher Abstraktionsgrad und eventuell tatsächlich der fehlende direkte stoffliche Bezug, der uns das Verständnis und gleichzeitig auch eine frühe Erforschung dieses Themenbereichs erschwert. Auf die wenigen Studien, die bisher zu den Vorstellungen von Schall bei Grundschulkindern vorliegen, wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.

1.3 Bisherige Befunde zu Wissen und Vorstellungen über den Themenbereich Schall bei Kindern im Alter von 6 bis 10 Jahren

Während sich in den Studien, die sich mit physikalischen Konzepten von Kindern beschäftigen, Themen wie beispielsweise Licht, Wärme, Elektrizität sowie Kraft und Bewegung finden lassen, bleibt die Suche nach Berichten über frühe Vorstellungen zu Schall auch in dieser Altersgruppe nahezu ergebnislos (vgl. Eshach & Schwartz, 2006; Wulf & Euler, 1995). Dies mag auf den ersten Blick verwundern, da Akustik ein fundamentaler Teil unseres Alltags ist und Kinder bereits sehr früh unterschiedliche Erfahrungen mit Schall machen können (vgl. Kapitel 1.1). Hinzu kommt, dass Grundschul Kinder sich offensichtlich für Themen der Akustik interessieren und sich gerne mit Phäno-

menen des Schalls auseinanderzusetzen (Wulf & Euler, 1995). Die Bedeutung die diesem Themenbereich bereits früh in der kindlichen Entwicklung zugeschrieben wird, spiegelt sich zudem in den aktuellen, nationalen Bildungsplänen wider (z.B. Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialforschung & Staatsinstitut für Frühpädagogik München, 2006; Hessisches Sozialministerium & Hessisches Kulturministerium, 2007; Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport, 2004). Auch wenn die vorliegenden Studien zu Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der Primarstufe bezüglich des Themas Schall nicht zahlreich sind, bieten sie dennoch fundierte und aufschlussreiche Einsichten in die Akustikkonzepte der Kinder dieser Altersgruppe (Kircher & Engel, 1994; Lautrey & Mazens, 2004; Mazens & Lautrey, 2003; Wittmann et al., 2003).



1.3.1 Interviewstudien mit Grundschulern aus Frankreich

Ausgehend von den Befunden mit Erwachsenen (vgl. Linder & Erickson, 1989; Wittmann et al., 2003) sind Mazens und Lautrey (2003) in ihrer umfangreichen Untersuchung unter anderem der Frage nachgegangen, ob und zu welchem Ausmaß Sechs- bis Zehn-jährige dem Phänomen Schall stoffliche Eigenschaften zuordnen. Dazu führten sie mit knapp 90 Schülerinnen und Schülern, die sich annähernd gleich auf die Altersstufen sechs, acht und zehn Jahre verteilten und die zuvor noch keinen schulischen Unterricht zu diesem Thema erhalten hatten, ein semi-standardisiertes Interview durch, welches das Vorhersagen, Begründen, Beobachten und Erklären von Demonstrationen zu dem Thema Schall beinhaltet (Mazens & Lautrey, 2003). Die stofflichen Eigenschaften, die dabei thematisiert wurden, waren nicht so umfangreich und detailliert wie dies bei der Studie von Eshach und Schwartz (2006) der Fall gewesen war. Im Einzelnen handelte es sich um Aspekte der Solidität, der Permanenz, des Gewichts und der Bewegungsbahn. Der Begriff der Solidität kommt dabei der korpuskularen Vorstellung des substance schema wohl am Nächsten (Reiner et al., 2000).

Um die Eigenschaft der Solidität zu operationalisieren, fragten die Autoren die Kinder zunächst, ob und warum Töne durch Wände, Türen etc. zu hören wären (eine Erfahrung, die jedes Kind mit Sicherheit bereits einmal in seinem Leben gemacht hatte). Die Antworten ließen sich den Autoren zufolge in vier Kategorien gliedern, die die zugrunde liegenden Vorstellungsmodelle der Kinder reflektierten. Dabei konnte auch eine deutliche Entwicklung über das Alter hinweg beobachtet werden. Die jüngeren Kinder glaubten meistens, Töne würden durch Wände etc. zu hören sein, da sie durch kleine (teils nicht direkt sichtbare) Löcher wanderten. Diese Vorstellung teilte auch ein gutes

Drittel der Achtjährigen. Fast genauso viele Kinder dieser Altersgruppe gaben jedoch an, die Wahrnehmung von Tönen durch Türen etc. hänge von der Materialeigenschaft dieser Barrieren ab – je ‚härter‘ beispielsweise ein Stoff, desto schwieriger wäre es für den Ton durchzudringen. Dies ist ein Erklärungsansatz, der bei den jüngeren Kindern überhaupt nicht aufgetreten war. Auch die Kinder aus der ältesten Gruppe entschieden sich noch zu einem erheblichen Teil für die ‚Lochvariante‘ als Erklärung (26%). Gleichzeitig gaben aber jeweils knapp 30% an, Ton sei etwas Immaterielles (ein Geist bzw. unsichtbar), das sich durch Feststoffe bewegen könne, bzw. erwähnten Resonanz oder Vibrationsvorgänge in ihren Erklärungen – auch wenn die Autoren davon ausgehen, dass sie kaum die tatsächliche wissenschaftliche Bedeutung dieser Begriffe verstanden. Die vorliegenden Antworten führen die Autoren jedenfalls zu dem Schluss, dass Kinder, noch bevor sie richtig verstehen, dass Schall durch einen Vibrationsprozess entsteht, in der Lage sind, den immateriellen Charakter von Schall zu akzeptieren. Offensichtlich ist es ihnen zu diesem Zeitpunkt jedoch nur möglich, dieses Phänomen negativ zu definieren, d.h. Ton als ‚Etwas‘ zu verstehen, das nicht über die Eigenschaften von physikalischen Objekten verfügt.

Bezüglich der Eigenschaft Permanenz äußerten die beiden älteren Schülergruppen mehrheitlich, dass Töne nicht permanent fortbestehen würden. Die Antworten der jüngsten Kinder hingegen wiesen eine größere Variabilität auf: Ein gutes Drittel von ihnen war zwar auch der Überzeugung, Töne existierten nicht dauerhaft und hörten nach einiger Zeit wieder auf. Die Mehrzahl der Kinder meinte jedoch, ein Ton würde immer weiter fortbestehen. Mehr als die Hälfte dieser Kinder äußerte zudem diesbezüglich animistische Erklärungen, die einem Ton Intentionen und Eigenschaften von Lebewesen zuschrieben. Hinsichtlich der dritten untersuchten Eigenschaft, glaubten insgesamt nur sehr wenige Kinder, dass Töne ein Gewicht besäßen.

In Bezug auf die Bewegungsbahn von Tönen unterschieden sich die Erklärungsansätze der Kinder erneut deutlich in Abhängigkeit von ihrem Alter. Während die Mehrheit der Sechsjährigen angab, der Ton bewege sich von der Quelle ausschließlich zu Personen, meinten 60% der Achtjährigen und 87% der Zehnjährigen, dass der Ton sich überall hin ausbreite.

Generell lässt sich feststellen, dass die Kinder der untersuchten Altersspanne Schall mehrheitlich als eine Substanz begreifen. Dabei treten jedoch in Abhängigkeit mit der jeweiligen Eigenschaft eindeutige Altersunterschiede auf. Insgesamt nimmt die Variabilität der Erklärungsansätze über das Alter hinweg ab. Die Hälfte der Zehnjährigen schreibt Schall keinerlei Eigenschaften von Materie mehr zu. Ein gutes Drittel glaubt noch, Schall würde immerhin dem Prinzip der Solidität gehorchen. Fast genauso viele der Achtjährigen tun dies auch. Ein gleicher Anteil dieser Altersgruppe denkt jedoch ebenfalls, dass Schall keinerlei Materialeigenschaften besitzt. Bei den Sechsjährigen ist die größte Varianz zu beobachten. 13% von ihnen glauben, sowohl Solidität als auch Permanenz und Gewicht wären Eigenschaften von Schall, nur 9% nehmen an, dass keine dieser Eigenschaften Schall kennzeichnet. 30% der Kinder gehen davon aus, dass Schall immerhin kein Gewicht aufweist und nach Meinung von 22% sind sowohl Gewicht als auch Permanenz keine Merkmale von Tönen. Bei dieser Entwicklung lässt sich ein gradueller Verlauf feststellen:

Gewicht wird als erste Eigenschaft von Schall aufgegeben, gefolgt von Permanenz. Die Kerneigenschaft, die sich am beständigsten in den Vorstellungen der Kinder hält, ist offensichtlich die der Solidität.

In einer weiteren Studie kamen die Autoren zu einem ähnlichen Schluss (Lautrey & Mazens, 2004). Untersucht wurden dabei die Vorstellungen von rund 80 Achtjährigen zu den Bereichen Schall und Wärme. Im Vergleich zu ihrer ersten Studie beobachteten die Autoren hinsichtlich Schall dieselben Erklärungsmodelle und eine vergleichbare Variabilität der Vorstellungen bei den Kindern. Die Mehrheit der Achtjährigen schrieb Schall materielle Eigenschaften zu, wobei Permanenz und Gewicht nicht zu den Kerneigenschaften zählten. In dieser Untersuchung scheint – im Gegensatz zur vorhergehenden Studie – Gewicht jedoch eher mit Schall in Verbindung gebracht zu werden als Permanenz. Da dieses Mal jedoch nur eine Altersgruppe untersucht wurde, wären weitere Studien notwendig, um einen generellen Entwicklungsverlauf bestimmen zu können. Wärme scheint im Vergleich zu Schall von den Kindern noch stärker materielle Eigenschaften zugesprochen zu bekommen. Etwas anders verhält es sich hinsichtlich der Bewegungsbahn: Hier nehmen die Kinder eher an, dass Hitze sich überallhin ausbreitet, während bei Schall die Vorstellung einer personenbezogenen Ausbreitung dominiert.

1.3.2 Interviewstudien mit Grundschulern aus Deutschland

Zu Resultaten, die jenen aus dem vorangehenden Kapitel stark ähneln, gelangen zwei Untersuchungen aus dem deutschsprachigen Raum zu Vorstellungen von Grundschulkindern über den Themenbereich Schall (Wulf & Euler, 1995; Kircher & Engel, 1994). Beide Studien erfragten die Vorstellungen bezüglich Schall anhand von Experimenten, die demonstriert bzw. von den Kindern selbst durchgeführt wurden. An der Untersuchung von Wulf und Euler (1995) nahmen 22 Kinder der Klassen eins bis vier teil, bei Kircher und Engel (1994) waren es 42 Teilnehmer der Stufen zwei bis vier. Anders als in den zuvor berichteten Studien (Eshach & Schwartz, 2006; Lautrey & Mazens, 2004; Mazens & Lautrey, 2003) ging es den Autoren in diesen beiden Fällen nicht explizit darum zu erfragen, ob und welche materiellen Eigenschaften Kinder dieses Alters Tönen zuschrieben. Eruiert wurden generell die Vorstellungen zu den Themen Schallerzeugung und Schallausbreitung.

Es sei dabei auf eine interessante Tatsache hingewiesen: Vielen Kindern in der Untersuchung von Kircher und Engel (1994) war der Begriff ‚Schall‘ nicht geläufig. Elf der insgesamt befragten vierzehn Zweitklässler, kannten den Ausdruck nicht. Den Viertklässlern hingegen war der Ausdruck weitestgehend bekannt. Da insgesamt die Hälfte der interviewten Kinder, den Begriff ‚Schall‘ nicht kannte, wichen die Autoren auf die Verwendung des Begriffs ‚Ton‘ aus.

Beide Studien, die hier berichtet werden, gelangten gleichfalls zu der Überzeugung, dass die Kinder Töne zunächst als gegenständlich betrachten und ein Teilchenmodell nur selten und ausschließlich bei älteren Kindern zu beobachten ist (Wulf & Euler, 1995). Wie auch Mazens und Lautrey (2003) stellen Wulf und Euler (1995) zudem fest, dass jüngere Kinder animistische Erklärungsansätze zur Beschreibung von Tönen heranziehen. Ferner unterscheiden

sie einerseits bereits früh zwischen Tonquelle und Hörer, andererseits bleibt die Idee der konkreten Schallausbreitung zunächst fehlerbehaftet. Die ersten Vorstellungen scheinen dabei auf einer zirkulär geschlossenen Ausbreitung von Schall zu basieren (von der Quelle zu einzelnen Personen und dann wieder zurück) und ähneln somit ebenfalls jenen, die in der Studie von Mazens und Lautrey beschrieben wurden (Lautrey & Mazens, 2004; Mazens & Lautrey, 2003). Dass zudem für die Ausbreitung von Schall grundsätzlich ein leitfähiges Medium notwendig ist, scheint den meisten Kindern nicht bewusst zu sein (Kircher & Engel, 1994). Wasser oder Feststoffe werden für die Schallübertragung sogar als eher hinderlich angesehen⁶. Dabei wird auch deutlich, dass die meisten Kinder Luft nicht als stofflich bzw. als ein tatsächliches Medium wahrnehmen. Deshalb gehen sie teilweise davon aus, dass ein Schall auch ohne Luft, d.h. in einem Vakuum zu hören wäre.

Bezüglich der Schallerzeugung zeigen beide Untersuchungen, dass Kinder die Schwingung eines Körpers meist nicht spontan von sich aus als Ursache von Schall erkennen. Vielmehr ist für sie der Schall ein Teil der Schallquelle bzw. wird durch ein bestimmtes Handeln hervorgerufen (Saite zupfen, auf einen Gegenstand schlagen, rufen). Hinsichtlich der Fähigkeit, durch gezielte Beobachtung den Zusammenhang zwischen dem sichtbaren oder fühlbaren Schwingen eines Körpers und der Schallerzeugung zu begreifen, gelangen die beiden Untersuchungen zu unterschiedlichen Schlüssen. Kircher und Engel (1994) berichten, zumindest die Kinder der dritte und vierte Klasse seien teilweise bzw. mehrheitlich in der Lage, diesen Zusammenhang herzustellen und auf Situationen zu übertragen, in denen die Schwingbewegung nicht unmittelbar zu sehen ist. Sich Luft als einen schwingenden Körper vorzustellen, fiel sowohl den jüngeren als auch den älteren Kindern jedoch weiterhin schwer (z.B. das Prinzip der Schallentstehung bei einer Flöte). Wulf und Euler (1995) hingegen schildern, dass die Kinder generell zwar die Gleichzeitigkeit von Körperschwingung und Ton wahrnehmen, dieser Tatsache aber keinerlei Bedeutung bzw. erklärendes Potential beimessen. Ein Alterstrend wird hierbei nicht berichtet. Inwiefern diese Diskrepanz zwischen den beiden Studien auf die jeweilige Methode (z.B. Frageweise des Versuchsleiters, Aufbau des Experiments), eventuelle schulische Leistungsunterschiede, sprachliche Kompetenzen oder doch altersbedingte Effekte zurückzuführen ist, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Weitere Untersuchungen wären notwendig, um diese Frage hinreichender beantworten zu können.

Abschließend wird in beiden Studien deutlich, dass Kinder über Erfahrungen in der Erzeugung und Beurteilung leiser und lauter Töne verfügen, diese aber meist ausschließlich mit der Intensität der Tonerzeugung in Verbindung bringen. Dass Schall beispielsweise auch durch einen Klangkörper verstärkt werden kann, scheint ihnen nicht bewusst zu sein. Offensichtliche Schwierigkeiten treten bei der Erklärung der Entstehung von Tonhöhe auf. Hohe und tiefe Töne werden in diesem Zusammenhang auch seltener korrekt zugeordnet.

⁶Wie in Kapitel 1.2 beschrieben, wurde diese Unterscheidung auch bei älteren Kindern beobachtet, die eine unterschiedliche Art der Schallausbreitung in unterschiedlichen Medien postulierten (Eshach & Schwartz, 2006).

1.3.3 Qualitative Studie zu Konzeptveränderungen während einer Unterrichtseinheit am Beispiel des Themas Schall

An dieser Stelle soll auf eine Untersuchung verwiesen werden, die sich am Beispiel des Phänomens Schall mit Faktoren beschäftigt hat, die während des Schulunterrichts Veränderungen von Konzepten bei Viertklässlern beeinflussen (Gustafson, 1991). Dazu führte die Autorin vor, während und nach einer Einheit von 16 Unterrichtsstunden zum Thema Schall Interviews mit fünf ausgewählten Schülern durch. Dabei zielten die Fragen vornehmlich darauf ab, wie und was die Kinder während einer naturwissenschaftlichen Unterrichtseinheit lernen. Die exemplarisch berichteten Beobachtungen weisen darauf hin, dass die Kinder teilweise die von der pädagogischen Fachkraft präsentierten Konzepte, an ihre eigenen bestehenden oder anfangs erworbenen Vorstellungen anpassten. Gleichzeitig waren sie aber auch durchaus in der Lage, ihre eigenen Konzepte zu verändern oder zu ergänzen.

Bei beiden Prozessen beschreibt die Autorin die Veränderungen als graduell und relativ langsam. Sie weist dabei auf den Aspekt des ‚Risikos‘ hin, den das Erwägen neuer Ideen (die den bisherigen Vorstellungen womöglich widersprechen) und das Aufgeben vertrauter Konzepte für das Kind beinhalten kann. Das individuell wahrgenommene ‚Risiko‘ würde wiederum von jedem einzelnen Kind und der jeweiligen Situation abhängen. Eine konkrete Vorhersage, welches Kind wann die eigenen Ideen verändern würde und wann die Konzepte der pädagogischen Fachkraft an die bestehenden Vorstellungen angepasst würden, fiel der Autorin während der begleitenden Beobachtung deshalb relativ schwer.

Zudem spielten, nach Meinung der Autorin, eine Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse bei diesen Entwicklungen eine Rolle: Zunächst einmal die bestehenden Vorstellungen der Kinder zu dem Thema per se sowie ihre früheren Erfahrungen im Naturwissenschaftsunterricht. Ferner würden ihre Überlegungen von ihren Einstellungen gegenüber der pädagogischen Fachkraft und generell gegenüber Naturwissenschaften beeinflusst. Situative, motivationale Faktoren und Persönlichkeitseigenschaften spielten ebenso eine Rolle wie die familiäre Situation. Hingewiesen wird auch auf die Bedeutung eigener Beobachtungen (d.h. Informationen aus erster Hand), der von einem Erwachsenen vorgestellten Konzepte. In manchen Fällen wurde einer von der pädagogischen Fachkraft aufgestellten These erst nach eigener Erfahrung tatsächlich Glauben geschenkt. So berichtet die Autorin, dass ein Mädchen seine Ansicht darüber, ob sie durch Feststoffe hören könne, erst dann veränderte, nachdem sie selbst an einer Demonstration mit einem Dosentelefon teilgenommen hatte.

Aus dieser und weiteren, nicht näher beschriebenen Beobachtungen, zieht die Autorin den Schluss, dass die Gelegenheiten für eigene Erfahrungen, welche die Konzepte der pädagogischen Fachkraft stützen, bedeutend für die Veränderungen bestehender Vorstellungen seien. Gleichzeitig weist sie auf Beispiele hin, bei denen anfängliche Beobachtungen zu einer Idee führten, die durch weitere persönliche Erfahrungen übergeneralisiert wurde. So begriff eine Schülerin zunächst bei der Demonstration von klingenden Stimmgabeln offensichtlich, dass Schall für seine Ausbreitung Luft benötige. Dieses Konzept übertrug sie in nachfolgenden Beobachtungen auf die Schallausbreitung in

Feststoffen. Dabei akzeptierte sie zwar, dass ein Ton lauter klang, wenn er sich durch einen Feststoff und nicht durch Luft ausbreitete (dies entspricht dem Konzept, dass Feststoffe Schall besser und schneller leiten als Luft), zog aber den Schluss, dass die Ausbreitung im Feststoff nur deswegen stattfinden kann, weil der Feststoff innen hohl (und mit Luft angefüllt) sei. Um dieses Konzept aufrechtzuerhalten, passte sie wiederum ihr Konzept von Feststoffen an: zum Einen gäbe es Feststoffe die hohl, zum Anderen solche die tatsächlich fest wären.

Aufgrund der kleinen Stichprobe und der nur exemplarisch präsentierten Beobachtungen kann diese Studie letztlich nur ein Schlaglicht auf die Faktoren werfen, die die Veränderungen von naturwissenschaftlichen Konzepten bei Grundschülerinnen und -schülern während einer Unterrichtseinheit beeinflussen.

1.3.4 Fazit

Die vorliegenden wissenschaftlichen Befunde zu Vorstellungen über Schall von Schülern im Alter von sechs bis zehn Jahren sind nicht zahlreich. Auch wenn sie zudem alle auf einem querschnittlichen Untersuchungsdesign basieren, geben sie aufgrund der teilweise ähnlichen Befunde dennoch erste systematische Hinweise auf Schallkonzepte von Grundschulkindern und deren Entwicklungsverlauf. Demnach wird Schall von Kindern dieser Altersgruppe größtenteils als ein stoffliches Phänomen behandelt. Dieses Konzept wird nur graduell aufgegeben. Jüngere Kinder neigen dabei noch verstärkt zu animistischen Vorstellungen. Es bestehen zahlreiche Misskonzepte hinsichtlich der Schallerzeugung und der Schallausbreitung. Generell ist die Konsistenz der Konzepte nur gering. Erst in der vierten Klassenstufe lassen sich Aspekte einer korrekten Modellvorstellung erkennen. Über einen möglichen Einfluss der allgemeinen schulischen Leistungen bzw. der sprachlichen Kompetenz auf die Schülervorstellungen sind keine Aussagen möglich.

Im nächsten Abschnitt werden etwaige Vorstellungen und Konzepte von Vorschulkindern über den Themenbereich Schall besprochen.

1.4 Bisherige Befunde zu Wissen und Vorstellungen über den Themenbereich Schall bei Kindern im Alter von 3 bis 6 Jahren

Als einziger Hinweis auf Vorstellungen über Schall bei Kindern im Vorschulalter dient die in Kapitel 1.2 bereits erwähnte Untersuchung von Asoko und Kollegen, die sich mit Schallkonzepten bei Kindern im Alter von bis 16 Jahren beschäftigt (Asoko et al., 1991 zitiert nach Eshach & Schwartz, 2006). Als bedeutend ist an dieser Stelle der Aspekt festzuhalten, dass jüngere Kinder dazu neigen, Schall mit den eigenen Handlungen in Verbindung zu bringen, bzw. dass sie Schall als ein Teil des Objekts betrachten, dem er entspringt (d.h. der Schallquelle). Diese Vorstellung entspricht den Berichten über ältere Kinder

(vgl. Kircher & Engel, 1994; Wulf & Euler, 1995). Sie steht auch im Einklang mit dem Ergebnis einer Untersuchung, die sich mit der korrekten Zuordnung von bildlichen Darstellungen von Schall bzw. Ton durch vier- bis sechsjährige Kinder beschäftigt hat (Stevenson & Friedman, 1986). Dabei ließ sich klar erkennen, dass bereits die Jüngsten kaum Probleme hatten, die Darstellung eines akustischen Tons anhand von Hinweisen der Körperhaltung einer Person zu erkennen (eine rufende Frau wurde beispielsweise dargestellt, indem ihre Hände trichterförmig an den Mund geführt, der Mund weit geöffnet, die Augen geschlossen und der Kopf in den Nacken gelegt sind). Deutliche Altersunterschiede gab es hingegen bei der Zuschreibung symbolischer Darstellungen von Schall (das Pfeifen einer Melodie wird hierbei beispielsweise dargestellt durch kleine Musiknotensymbole in Höhe des Mundes der pfeifenden Person; für Bildbeispiele, siehe Stevenson & Friedman, 1986, S. 687). Die 4-Jährigen hatten hierbei deutlich mehr Schwierigkeiten als Kinder der beiden älteren Gruppen.



Ausgehend von den im vorangehenden Kapitel detailliert dargestellten Vorstellungen von Schülern der Primarstufe über Schall, kann trotz bisher fehlender wissenschaftlicher Befunde angenommen werden, dass Schallkonzepte von Kindergartenkindern im Allgemeinen höchstens eine Stufe erreichen, die derjenigen der jüngsten Teilnehmerinnen und Teilnehmer der berichteten Studien entspricht. Somit ist davon auszugehen, dass auch in dieser Altersgruppe Schall bzw. Töne als ein stoffliches Phänomen wahrgenommen werden (vgl. Kircher & Engel, 1994; Lautrey & Mazens, 2004; Mazens & Lautrey, 2003; Wulf & Euler, 1995). Zudem werden die Vorstellungen der Kinder wahrscheinlich zu einem noch größeren Ausmaß animistische Aspekte beinhalten. Auch bei den Ideen hinsichtlich Schallerzeugung und Schallausbreitung kann erwartet werden, dass – zumindest bei den älteren Kindern – höchstens ein Niveau erreicht wird, welches dem der jüngeren Grundschul Kinder ähnelt. Wie und ob sich die Vorstellungen der Drei- und Vierjährigen qualitativ deutlicher unterscheiden, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Im Folgenden soll auf generelle Voraussetzungen von Vorschul- und Grundschulkindern für eine erfolgreiche Beschäftigung mit dem Themenbereich Schall als einem physikalischen Phänomen näher eingegangen werden.

1.5 Voraussetzungen für eine erfolgreiche Beschäftigung mit dem Themengebiet Schall im Vorschul- und Grundschulalter aus entwicklungspsychologischer Sicht

Damit Kinder sich erfolgreich mit dem Phänomen Schall auseinandersetzen können, sollten sie zum Einen generell zu einem wissenschaftlichen Denken in der Lage sein und zum Anderen neue Erkenntnisse aus diesem Themenbereich in bereits gebildete Wissensstrukturen einbetten können (vgl. hierzu auch Pahnke & Pauen, Expertise 1 in diesem Band). Unter einem wissenschaftlichen Denken ist hierbei der wissenschaftliche Erkenntnisprozess zu verstehen, der neben dem Aufstellen und Überprüfen einer bestimmten Hypothese auch die nachfolgende Interpretation der Resultate beinhaltet (Klahr, 2000).

Während klassische Entwicklungstheoretiker wie Piaget (1969) und Wygotski (1964) davon ausgingen, dass die Entwicklung wissenschaftlichen Denkens auf allgemeinen, bereichsübergreifenden Veränderungen in der Denkweise basiert und erst im frühen Jugendalter größtenteils ausgereift ist, nehmen Vertreter neuerer entwicklungspsychologischer Ansätze an, dass sich die Denkweisen von Kindern und Erwachsenen prinzipiell ähneln. Die beobachtbaren Performanzunterschiede zwischen den beiden Gruppen seien nicht hauptsächlich auf eine defizitäre Denkweise der Kinder zurückzuführen, sondern darauf, dass Kinder zunächst in zahlreichen Bereichen über weit weniger Wissen verfügen als Erwachsene (Carey, 1985; Carey & Spelke, 1994; Spelke, 1994). Nimmt dieses Wissen zu, so nähern sich die kognitiven Leistungen der Kinder dementsprechend jenen von Erwachsenen an. Da Wissen meist nicht zeitgleich in mehreren verschiedenen Bereichen wie Biologie, Physik oder Chemie erworben wird, manifestiert sich die Weiterentwicklung wissenschaftlichen Denkens in den einzelnen Themenbereichen zu verschiedenen Zeitpunkten bzw. in verschiedenen Altersstufen. Zahlreiche empirische Belege sprechen mittlerweile dafür, dass die Denkentwicklung dabei generell um einiges schneller voran schreitet als noch von den klassischen Entwicklungstheoretikern postuliert wurde (für einen Überblick siehe Goswami, 2008). Vielmehr wird heute die Annahme vertreten, dass Kinder bereits sehr früh Theorien aufstellen und auch überprüfen, um sie dann gegebenenfalls aufgrund von empirischen Erkenntnissen zu revidieren. Dabei sind sie auch schon in der Lage, gleichzeitig über ihr wissenschaftliches Vorgehen zu reflektieren (Sodian, Koerber & Thoermer, 2004). So beachten bereits Säuglinge während ihres ersten Lebensjahres das Prinzip der Kausalität (Leslie & Keeble, 1987), die einen grundlegenden Aspekt des wissenschaftlichen Denkens ausmacht. Sie verstehen beispielsweise, dass ein unbelebtes Objekt nur dann in Bewegung gesetzt wird, wenn es mit einem anderen Objekt oder einem Lebewesen direkt in Kontakt kommt (vgl. Spelke, 1994).

Bereits im Vorschulalter unterscheidet sich das kausale Denken der Kinder nicht mehr erheblich von dem Erwachsener (vgl. Bullock, Gelman & Bailargeon, 1982; Sodian, 2008). Sie denken deterministisch, d.h. sie gehen davon aus, dass ein Ereignis prinzipiell immer eine Ursache hat. Als Ursache suchen sie dabei nur nach solchen Ereignissen, die zeitlich vor dem Ergebnis stattfinden und vernachlässigen solche, die ihm nachfolgen. Wie Erwachsene

auch, unterstellen Vorschulkinder außerdem einem Ereignis einen kausalen Mechanismus, d.h. sie machen Annahmen darüber, wie ein fraglicher Effekt zustande gekommen sein kann.

Bis zu einem Alter von drei Jahren haben Kinder ein Verständnis für einfache kausale Mechanismen aufgebaut. Komplexe kausale Zusammenhänge werden jedoch häufig noch nicht korrekt interpretiert (z.B. Das Gupta & Bryant, 1989; Sobel, Yoachim, Gopnik, Meltzoff & Blumenthal, 2007). Misskonzeptionen kennzeichnen in diesem Alter oft die physikalischen Vorstellungen der Kinder. Generell lässt sich beobachten, dass zwar Kinder ab einem Alter von vier Jahren kausale Eigenschaften eines Objekts auf innere, nicht unbedingt sichtbare Faktoren zurückführen können, Dreijährige sich hingegen von äußeren - unter Umständen jedoch kausal irrelevanten - Merkmalen in ihrem Denken beeinflussen lassen (z.B. Das Gupta & Bryant, 1989). Betrachtet man ältere Kinder, so lässt sich feststellen, dass sie ab einem Alter von vier Jahren generell in der Lage sind, komplexe kausale Zusammenhänge zu begreifen und ihr kausales Denken ähnelt im Wesentlichen dem von Erwachsenen.

Mit sieben bis acht Jahren können Kinder eine einfache Hypothese anhand eines schlüssigen Tests überprüfen. Ihre Präferenz dieses Tests im Vergleich zu einem nicht-schlüssigen Test können sie dabei begründen (Sodian, Zaitchik & Carey, 1991, zitiert nach Sodian, 2008). Ebenso können Grundschul Kinder auch spontan gute Ideen zur Prüfung von Kausalhypothesen generieren.

Wie aus der kurzen Darstellung der aktuellen Befunde ersichtlich wird, verfügen Kinder bereits früh über ein grundlegendes Kausalverständnis, welches sich über das Vorschul- und Grundschulalter hinweg weiter ausdifferenziert. Im Bereich der Physik basieren die Erkenntnisse hinsichtlich dieses frühen Verständnisses meist auf Untersuchungen, die mechanische Phänomene thematisieren, an denen materielle Objekte beteiligt sind. Denn diese materiellen Ereignisse zählen schließlich zu den frühesten Alltagserfahrungen der Kinder. Diese Erfahrungen sind es dann auch wahrscheinlich, die die Basis ihrer naiven physikalischen Theorien bilden. Vor diesem Hintergrund mag es nicht verwundern, dass viele Kinder bis in das Grundschulalter hinein dem Phänomen Schall und dem Prozess der Schallausbreitung zunächst materielle Eigenschaften zuschreiben (vgl. Kapitel 1.3). Offenbar generalisieren sie ihr (Kausal-)Wissen, welches sie in ihrer materiellen Umwelt erworben und überprüft haben, auf den Bereich der Töne und Klänge.

Diese Generalisierung wird möglicherweise auch durch die Alltagssprache der Erwachsenen unterstützt, der meist nicht eindeutig und zweifelsfrei zu entnehmen ist, dass es sich bei Tönen, Klängen oder Geräuschen nicht um ein materielles Phänomen handelt. Da wird beispielsweise Musik gemacht (damit vergleichbar wird auch ein Kuchen gemacht) oder das Geräusch des Rasenmähers kommt von draußen in das Haus, dringt durch die Fenster etc. (ähnlich kann auch ein Hund von draußen in das Haus kommen). Dieser Sprachgebrauch mag auch damit zusammenhängen, dass Schall als physikalisches Phänomen ein komplexer und höchst abstrakter Prozess ist, der sich größtenteils der direkten Beobachtung entzieht. Da es Kindern bis zu einem Alter von ungefähr vier Jahren generell schwer, nicht-sichtbare Kausalitäten nachzuvollziehen (vgl. Das Gupta & Bryant, 1989), könnte ihnen zudem der

‚materialisierende‘ Sprachgebrauch in diesem Fall entgegen kommen. Darüber hinaus ist es möglich, dass Kinder zunächst keinerlei Notwendigkeit sehen, ihr materielles Konzept von Schall zu verändern. Sie verbinden Schall meist ohnehin direkt mit einem konkreten materiellen Objekt oder einer Person, da auditive Reize in ihrer Umwelt fast immer gleichzeitig mit einem visuellen Reiz auftreten. Dies kann dazu führen, dass Kinder beide Arten von Eindrücken tatsächlich als eine Einheit wahrnehmen, bzw. den Ton als eine Eigenschaft eines Objekts interpretieren (vgl. Asoko et al., 1991; Kircher & Engel, 1994; Wulf & Euler, 1995). Schon sehr früh entdecken Kinder diese audio-visuelle Synchronität und bevorzugen sie vor asynchronen Ereignissen. So bewegen bereits Neugeborene ihre Augen in Richtung eines auditiven Reizes (Mendelson & Haith, 1976; Wertheimer, 1961). Mit nur vier Monaten präferieren Säuglinge die gleichzeitige Darbietung von Bild und Ton eines Objekts, das auf eine Oberfläche trifft (Bahrick, 1983; Bahrick, 1992; Spelke, 1979; Spelke, 1981). Und bereits ab einem Alter von zwei Monaten bevorzugen sie die synchrone Darbietung von Lippenbewegungen bei der akustischen Darbietung von Sprache (z.B. Dodd, 1979). Die Fähigkeit zu dieser intermodalen Wahrnehmung, d.h. zu der Verbindung zwischen auditiven und visuellen Reizen bildet letztlich einen fundamentalen Bestandteil der Sprachwahrnehmung sowie des Spracherwerbs (für einen Überblick siehe Guihou & Vauclair, 2008).

Aus den berichteten Studien zu Vorstellungen von Kindern über das Phänomen ‚Schall‘ wird außerdem deutlich, dass dieser Themenbereich unter anderem mit dem Konzept ‚Luft‘ verknüpft ist (vgl. Kapitel 1.2 und 1.3). Um korrekte Vorstellungen hinsichtlich der Ausbreitung von Schall entwickeln zu können, ist es unabdingbar, über ein erstes Verständnis des Phänomens Luft zu verfügen. Dazu gehört hauptsächlich die Vorstellung, dass Luft nicht ‚Nichts‘ ist. Aus den dargestellten Vorstellungen der Grundschülerinnen und -schüler wird jedoch deutlich, dass sie teilweise noch nicht über ein korrektes Modell von Luft als Substanz verfügen (Kircher & Engel, 1994). Auch bei älteren Kindern scheint Luft als Medium im Vergleich zu Flüssigkeiten und Feststoffen unterschiedlich interpretiert zu werden (Eshach & Schwartz, 2006). Gleichzeitig konnte in einer aktuellen Untersuchung gezeigt werden, dass Kinder im Alter von vier und fünf Jahren bereits über erstes Wissen im Hinblick auf die Eigenschaften von Luft verfügen und dieses Wissen zudem durch gezielte naturwissenschaftliche Förderung bedeutsam zunehmen kann (Rempp, 2007).

Ausgehend von den bisher dargestellten frühen Konzepten hinsichtlich des physikalischen Phänomens Schall sowie von den skizzierten generellen Fertigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und seiner Entwicklung im Vorschul- und Grundschulalter, werden als Nächstes Empfehlungen für eine Umsetzung des Themas ‚Schall‘ in der Grundschule und im Kindergarten vorgestellt.

2. Empfehlungen für die Umsetzung des Themas Schall mit Kindergarten- und Grundschulkindern

Im Folgenden werden Empfehlungen für eine nachhaltige Umsetzung des Themas Schall im Kindergarten und in der Grundschule anhand relevanter Aspekte dargestellt. Dabei wird auf etwaige altersbedingte Unterschiede eingegangen, die bei der Umsetzung beachtet werden sollten.

2.1 Alltagserfahrungen von Kindern mit unterschiedlichen Aspekten von Schall

Vorschulkinder. Der Themenbereich des Schalls eignet sich ausgezeichnet, um bei Vorschulkindern insbesondere den allgemeinen Prozess des wissenschaftlichen Denkens zu üben, aber auch um ein Mehr an Wissen auf einem naturwissenschaftlichen Gebiet zu fördern. Die Kinder bringen bereits einen reichen Schatz an Alltagserfahrungen aus dem Bereich der Akustik mit. Auditive Wahrnehmung beginnt bereits im Mutterleib und erreicht gegen Ende des ersten Lebensjahres fast das Erwachsenenenniveau (vgl. Kapitel 1.1). Die Kinder nehmen somit schon sehr früh eine Vielzahl unterschiedlicher Klänge und Geräusche wahr. Zunächst sind das hauptsächlich die Stimmen der ersten Bezugspersonen. Rasch erweitert sich das Repertoire an Schallerfahrungen, da akustische Reize in unserer Umwelt quasi omnipräsent sind. Töne und Geräusche, die von Objekten und anderen Lebewesen erzeugt werden, kommen hinzu. Mit der fortschreitenden Entwicklung der visuellen Wahrnehmung werden diese Reize zunehmend mit diskreten Ereignissen in der Umwelt verknüpft. Dies führt früh dazu, dass die Kinder Schall bzw. Töne meist als eine (von vielen) Eigenschaft eines Objekts oder eines Lebewesens betrachten. Mit der Entwicklung ihrer motorischen Fertigkeiten sind die Kinder dann rasch in der Lage, durch Interaktion mit unterschiedlichen Objekten, selbst unterschiedliche Geräusche zu erzeugen. Auch hier wird vermutlich eine bestimmte Handlung mit einem (wiederkehrenden) Ton verknüpft und bildet für das Kind somit – oberflächlich betrachtet – eine Einheit.

Je nachdem, ob die Kinder in einer ländlichen Umgebung oder in der Stadt aufwachsen und in Abhängigkeit davon, wie sich die häuslichen Bedingungen darstellen, bringen die Kinder bei ihrem Eintritt in den Kindergarten deshalb eine Fülle unterschiedlichster Schallerfahrungen mit. Dies können beispielsweise charakteristische Geräusche sein, die von Tieren erzeugt werden oder die allgemein in der Natur wahrzunehmen sind (z.B. Rauschen der Baumblätter im Wind). Auf der anderen Seite kann es sich um Geräusche von Autos, Zügen oder Baustellen handeln. Im Haushalt sind ebenfalls zahlreiche unterschiedliche Schallquellen zu finden: technische Haushaltsgeräte, verschiedene Unterhaltungsmedien (Fernseher, Radio, Computer) oder auch akustische Spielzeuge. Die Erfahrungen hängen beispielsweise auch davon ab, ob in der Familie musiziert bzw. regelmäßig Musik gehört wird. Dabei ist den meisten Kindern die Vielfalt ihrer Schallerfahrungen möglicherweise nicht explizit bewusst: Durch Erfragen kann sie jedoch relativ einfach zugänglich gemacht und in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt werden.

Im Kindergarten kommen mit der Zeit weitere Schallerfahrungen hinzu. Vielleicht wird zunächst gemeinsam gesungen. Die älteren Kinder erlernen möglicherweise sogar ein erstes Instrument, welches ihnen erlaubt, systematische Erfahrungen mit der Tonerzeugung zu sammeln. In ihren Untersuchungen weisen sowohl Wulf und Euler (1995) als auch Kircher und Engel (1994) darauf hin, dass Grundschülerinnen und -schüler fundierte Erfahrungen bei der Erzeugung von lauten und leisen Tönen haben und diese Eigenschaften auch sicher benennen können. Es kann angenommen werden, dass bereits Vorschulkinder über diese Art von Erfahrungen verfügen und sprachlich in der Lage sind, sicher mit den Begriffen laut und leise umzugehen. Sie werden auch schon häufig beobachtet haben, bei welchen Gelegenheiten Töne laut und wann sie leise sind. Die Tonhöhe hingegen bereitet auch Grundschülerinnen und -schülern noch Schwierigkeiten (Kircher & Engel, 1994; Wulf & Euler, 1995). Somit werden Vorschülerinnen und -schüler eine korrekte Zuordnung dieser Toneigenschaft kaum bewältigen können und mit den Begriffen ‚hoch‘ und ‚tief‘ in diesem Zusammenhang nicht so vertraut sein. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass bereits Kinder dieser Altersgruppe Hörerfahrungen mit hohen und tiefen Tönen gesammelt haben, den Unterschied zwischen diesen Tönen erkennen und eventuell sogar Ideen entwickeln können, wann welcher Ton erzeugt wird. So erzeugen beispielsweise kleine Objekte eher hohe Töne und der Schlag mit einem Holzobjekt tiefere Töne als mit einem Metallobjekt. Wie bereits in Kapitel 1.1 dargestellt, beeinflusst eine bestimmte Tonhöhe jedoch auch immer die wahrgenommene Lautstärke, so dass es hier



für die Kinder zu einer Vermischung von Eigenschaften kommen kann, die sie spontan nicht lösen können. Denn der Ton, den ein Schlag mit einem Holzobjekt erzeugt, wird im Vergleich zu dem Schlag mit einem Metallobjekt gleichzeitig auch als leiser wahrgenommen.

Die von Mazens und Lautrey (2003) gerade bei jüngeren Kindern berichtete große Variabilität der Vorstellungen hinsichtlich des Phänomens Schall, gibt einen Hinweis, dass dieses Muster auch bei Vorschulkindern zu beobachten sein könnte. Dies

kann wiederum darauf hindeuten, dass vor allem jüngere Kinder in ihrem Alltag unterschiedlich vielfältige und unterschiedlich systematische Erfahrungen mit Schall erlebt haben.

Grundschul Kinder. Selbstverständlich teilen die Grundschul Kinder die Erfahrungen der Vorschulkinder, bzw. haben diese noch weiterhin angereichert (vgl. vorangegangenen Abschnitt). Im Alter von sechs bis zehn Jahren, nehmen die Möglichkeiten, sich systematisch mit Aspekten von Schall auseinander zu setzen überdies bedeutend zu: In den meisten Primarstufen wird das Erlernen eines Instruments gefördert. Je nach Instrument kann hierbei die Schwingung von Körpern (z.B. einer Saite), die mit der Erzeugung eines Klangs einher geht, beobachtet werden. Dies könnte zu einem besseren Verständnis der Entste-

hung von Schall führen. Ausgerechnet die bei Grundschulern sehr beliebte Flöte bildet hier jedoch eine Ausnahme: denn hier wird die Luft zum Schwingen gebracht und diese Bewegung ist nicht zu sehen und auch nur sehr schwer zu fühlen (vgl. Kircher & Engel, 1994). Somit ist dieses Instrument letztlich wenig geeignet, die Erzeugung von Schall besser nachzuvollziehen.

Generell hatten die Grundschul Kinder im Vergleich zu Kindern im Vorschulalter im besten Fall die Möglichkeit, ihren Erfahrungsschatz an auditiven Informationen zu erweitern. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass zu Beginn der Grundschule die Vorstellungen hinsichtlich des Phänomens Schall jedoch noch stark divergieren (Mazens & Lautrey, 2003). Ohne eine Instruktion in diesem Themenbereich nehmen die interindividuellen Unterschiede der Interpretationen erst gegen Ende der Primarstufe ab. Auch der Umgang mit der Eigenschaft der Tonhöhe bleibt in dieser Altersgruppe schwierig. Die Erzeugung – nicht jedoch unbedingt die Erklärung – von lauten und leisen Tönen gelingt hingegen gut.

2.2 Wichtige Aspekte bei der Auseinandersetzung mit dem Themengebiet Schall bei Kindern im Vorschul- und Grundschulalter

Vorschulkinder

Als erste Orientierung lassen die bisher vorgestellten Befunde aus dem Bereich der frühen Vorstellungen zu dem Phänomen Schall den Schluss zu, dass eine Auseinandersetzung mit diesem Themengebiet vor dem Eintritt in die Grundschule auf jeden Fall sinnvoll sein sollte. Auf diese Weise kann den Kindern die Möglichkeit gegeben werden, ihre Vorstellungen auf diesem Gebiet zu differenzieren und ein einfaches Basiswissen des physikalischen Phänomens zu erlangen. Hierin bietet sich die Chance, das Verständnis für ein Themengebiet zu fördern, welches ansonsten offenbar bis weit in das Jugendalter und sogar darüber hinaus oftmals missinterpretiert wird (vgl. Kapitel 1.2 und 1.3). Generell gilt es, die Faszination, die das Phänomen offensichtlich auf Kinder ausübt zu nutzen (Wulf & Euler, 1995). Wie zuvor dargestellt, verfügen Vorschulkinder bereits über ein breites Spektrum an naturwissenschaftlichem Wissen und sind in der Lage naturwissenschaftlich zu denken (vgl. Kapitel 1.5). Deswegen wird empfohlen, den Themenbereich Schall gezielt im Kindergartenalter zu fördern.

Gleichzeitig sollte eine solche Förderung im Kindergarten unbedingt mögliche Verständnisschwierigkeiten auf Seiten der Kinder berücksichtigen. Diese gründen bei dem Phänomen Schall auf die frühesten Erfahrungen der Kinder. So kann die Interpretation von Schall als der Eigenschaft eines Objekts vermutlich darauf zurückzuführen sein, dass Kinder bereits sehr früh zur intermodalen Wahrnehmung von auditiven und visuellen Reizen in der Lage sind und folglich Ton und Objekt eventuell zunächst als eine Einheit betrachten. (vgl. Kapitel 1.5). Zudem basieren die naiven physikalischen Theorien der Kinder meist auf Erfahrungen mit materiellen Einheiten, so dass sie anfangs dazu neigen, vertraute Materialeigenschaften auf das Phänomen Schall zu generalisieren. Da der Kausalmechanismus von Schall und Schallausbreitung

nicht direkt sichtbar ist, unterstellen die Kinder quasi kausale Vorgänge, die sie aus dem materiellen Bereich kennen. Dass diese Vorstellungen über einen langen Zeitraum bestehen bleiben, kann wiederum mit der Komplexität des Themengebiets zusammenhängen. Sogar Erwachsene, die im Vergleich zu Kindern über breiteres Wissen in Physik verfügen, können nicht immer einwandfrei nachvollziehen, dass Schall eine Energieausbreitung darstellt, die auf Druckschwankungen basiert.

Es ist deshalb wichtig, dass sich in einem ersten Schritt die erwachsenen Personen, die in der Vorschule den Themenbereich Schall fördernd umsetzen wollen, mit ihren eigenen Vorstellungen zu dem Thema Schall kritisch auseinandersetzen. Dabei muss selbstverständlich nicht auf komplexe physikalische Modelle zurückgegriffen werden. Jedoch sollte sichergestellt sein, dass die Vorstellung von Schall – sei es auch eine vereinfachte – solide und frei von Misskonzepten ist. Wie aus den berichteten Untersuchungen deutlich wird, muss dies auch bei Erwachsenen nicht unbedingt der Fall sein (vgl. Kapitel 1.2). Insbesondere sollte hier auf die sprachlichen Fallstricke geachtet werden. Viele Redewendungen, die wir im Alltag zur Beschreibung von Schall verwenden, sind zweideutig und könnten als Hinweise auf einen materiellen Charakter von Schall verstanden werden. Ganz vermeiden lassen, werden sich diese Beschreibungen wohl nicht. Dennoch sollte die Aufmerksamkeit für diesen Aspekt geschärft und nach Möglichkeit nach alternativen Beschreibungen gesucht werden.

Bei der Umsetzung des Themengebiets ‚Schall‘ mit jüngeren Kindern (drei bis vier Jahre), erscheint es sinnvoll, den Fokus hauptsächlich auf das Üben der Komponenten eines naturwissenschaftlichen Denkens zu legen. Das systematische Beobachten, Experimentieren und Ordnen von Erfahrungen kann ausgezeichnet im Rahmen der Auseinandersetzung mit Schall erfolgen. Diese Tätigkeiten können gut in den Kita-Alltag eingebunden werden, beispielsweise in eine Beschäftigung mit Musik. Dabei sollte den Kindern zum Einen wiederholt die Möglichkeit gegeben werden, auf gleiche wie auch auf unterschiedliche Art, selbständig Töne zu erzeugen. Dabei kann die Wahrnehmung für verschiedene Klänge, Lautstärken oder auch Tonhöhen geschult und der Zusammenhang mit der eigenen Handlung aber auch mit verschiedenen Faktoren wie Größe oder Länge der schallerzeugenden Objekte sowie dem jeweiligen Material aufgezeigt werden.⁷ Ein Vorhersagen, Beobachten und Erklären wiederkehrender Schallereignisse kann auf diese Weise gut geübt werden. Gleichzeitig können die Kinder sich auch untereinander über ihre individuellen Wahrnehmungen der Töne und Klänge austauschen. Zum Anderen bietet es sich an, mit den Kindern ein bewusstes Hinhören zu üben. Dies kann gleichzeitig dazu genutzt werden, die Kinder zur Ruhe kommen zu lassen und in der (vermeintlichen) Stille, Geräusche und Klänge zu entdecken und diese benennen zu lassen. Grundsätzlich kann ein solches Entdecken unterschiedlicher Geräusche sowohl drinnen als auch draußen umgesetzt werden. Dies könnte den Kindern ein besseres Bewusstsein der vielfältigen Geräusche, die sie täglich wahrnehmen, ermöglichen und sie für dieses allgegenwärtige Phä-

⁷Es sollte hierbei ausreichend Raum für Erfahrungen mit unterschiedlichen Materialien gegeben werden. Dies könnte letztlich zu einem verbesserten Verständnis des Konzepts ‚Material‘ beitragen, welches sich in diesem Alter ebenfalls in einer kritischen Entwicklungsphase befindet.

nomen sensibilisieren. Auch hierbei kann wieder verstärkt auf die Vermittlung und Klärung von Begriffen wie ‚laut‘ und ‚leise‘, ‚hohe‘ und ‚tiefe‘ Töne eingegangen werden, beispielsweise bei der Tatsache, dass wir ein Geräusch leiser wahrnehmen, wenn die Quelle weiter von uns entfernt ist. Bei dieser Art von Auseinandersetzung läge der Schwerpunkt somit darin, den Kindern in erster Linie zu vermitteln, welche unterschiedlichen Geräusche und Töne es gibt und eventuell auch wie sie erzeugt werden können. Dies wäre ein erster Schritt auf dem Weg zu einer Systematisierung der kindlichen Schallerfahrungen.

Bei den Jüngeren könnte eine vertiefte Beschäftigung mit Schall außerdem dazu führen, etwaige animistische Interpretationen seitens der Kinder zu überwinden, die sich aufgrund ihrer frühesten Beobachtungen und Erkenntnisse herausbilden. Wie zuvor beschrieben, bedienen sich jüngere Kinder teilweise animistischer Erklärungsansätze bei der Beschreibung von Schallentstehung und Schallausbreitung (vgl. Kapitel 1.3). Dies kann teilweise durch nicht eindeutige sprachliche Wendungen der Erwachsenen bedingt sein. Andererseits könnten Kinder auf diese Weise einem Phänomen begegnen, dessen Kausalmechanismus ihnen nicht direkt zugänglich ist. Durch einfache Erklärungen, bei denen jedoch auf animistische Redewendungen nach Möglichkeit verzichtet werden sollte, können die Kita-Fachkräfte den Kindern dabei helfen, Schall zumindest als Etwas zu begreifen, das nicht von Intentionen geleitet ist. Inwiefern sie Schall dennoch als eine Art Substanz begreifen werden, bleibt fraglich. Es ist davon auszugehen, dass diese Misskonzeption zunächst nur selten aufgegeben wird, da sich eine materielle Vorstellung von Schall noch bei Kindern bis zu einem Alter von ungefähr zehn Jahren beobachten lässt. In Anlehnung an die Untersuchungen von Mazens und Lautrey (Lautrey & Mazens, 2004; Mazens & Lautrey, 2003) könnte im Rahmen einfacher Experimente jedoch zumindest aufgezeigt werden, dass Eigenschaften wie beispielsweise Gewicht keinen Bestandteil von Schall darstellt. Offensichtlich stellt dieser Faktor für etwas ältere Kinder keine Kerneigenschaft von Schall dar.

Da ältere Kinder ein besseres Verständnis für kausal relevante, aber nicht unbedingt sichtbare Eigenschaften eines Ereignisses haben, können für diese Altersgruppe (fünf bis sechs Jahre), je nach Vorerfahrung und individuellem Vorstellungsmodell von Schall, die systematischen Erfahrungen mit dem Phänomen ausgeweitet werden. Hier könnte der Fokus beispielsweise auf der Visualisierung von Schwingungen eines Körpers liegen, d.h. auf der Frage danach, warum Objekte Töne erzeugen. Ein Sichtbar- und Fühlbar-Machen der Schwingungen könnte Kindern den Zugang zum Kausalmechanismus der Schallentstehung erleichtern. Inwiefern sie diese Beobachtungen tatsächlich kausal mit der Schallentstehung in Verbindung setzen, ist vor dem Hintergrund der berichteten Untersuchungen schwer vorherzusagen (Kircher & Engel, 1994; Wulf & Euler, 1995). Komplexer stellt sich offensichtlich die Vorstellung einer Ausbreitung von Schall durch Luft dar. Dennoch kann auch dieser Aspekt an die Kinder dieser Altersgruppe herangetragen werden. Hierzu sollte allerdings im Vorfeld unbedingt eine Einheit zu dem Themengebiet Luft durchgeführt werden. Wie zuvor berichtet sind Kinder in diesem Alter durchaus in der Lage, ein Mehr an Wissen in diesem Bereich aufzubauen (Rempp, 2007). Ein Verständnis dafür, dass Luft nicht ‚Nichts‘ ist, sondern ebenso materielle Eigenschaften wie Feststoffe und Flüssigkeiten besitzt, sollte den Kindern helfen, die Schallausbreitung in dem Medium Luft besser zu begreifen.

Gleichzeitig ist gut vorstellbar, dass auch einige Kinder dieses Alters noch über Vorstellungen verfügen, die eher jenen der jüngeren Kinder entsprechen. Generell lassen sich aufgrund fehlender wissenschaftlicher Untersuchungen mit dieser Altersgruppe keine Aussagen über altersbedingte Unterschiede in den Vorstellungen machen. Die Untersuchung von Mazens und Lautrey (2003) gibt einen Hinweis darauf, dass die Variabilität der Vorstellungen von jüngeren Kinder größer ist, als diejenige der Älteren, d.h. die individuellen Vorstellungen der jungen Kinder sind vielfältiger. Da in dieser Untersuchung die jüngsten Kinder durchschnittlich sechs Jahre alt waren ist anzunehmen, dass die Vorstellungen von Vorschulkindern demnach eine mindestens vergleichbar große Variabilität aufweisen. Deshalb ist es wichtig, die Vorstellungen von Kindern im Vorschulalter im Vorfeld zu erfragen, um besser einschätzen zu können, welche Aspekte sich bei dem Einzelnen für eine Förderung eignen.

An dieser Stelle, wird nochmals auf die geringe Konsistenz der individuellen Konzepte hinsichtlich des Themas Schall bei Schülern der Primar- und auch der Sekundarstufe hingewiesen (Eshach & Schwartz, 2006; Mazens & Lautrey, 2003). Eshach und Schwartz (2006) ziehen daraus den optimistischen Schluss, diese wenig gefestigten Vorstellungen könnten im Physikunterricht eventuell leichter zu Gunsten von korrekten Annahmen verändert werden. Die Vermutung liegt nahe, dass die Schallkonzepte von Kindern im Vorschulalter ebenfalls wenig konsistent sind. Dies würde auf jeden Fall dafür sprechen, bereits in diesem Alter mit einer Förderung auf dem Gebiet zu beginnen, um so dem Verfestigen von eventuellen Misskonzepten gegebenenfalls entgegen zu wirken.

Grundschul Kinder

Ab einem Alter von sieben Jahren können Kinder schlüssige Tests zum Überprüfen einfacher Hypothesen generieren (vgl. Kapitel 1.5). Somit hat sich ihre Fähigkeit zum naturwissenschaftlichen Denken im Vergleich zu Vorschulkindern weiter entwickelt. Dies sollte eine auf Experimenten und Demonstrationen basierende Auseinandersetzung mit dem Phänomen Schall in diesem Alter weiter begünstigen. Die Bereitschaft von Grundschulern, solche Experimente umzusetzen, ist den Beobachtungen zufolge, die Wulf und Euler (1995) in ihrer Untersuchung machen konnten, sehr groß.

Generell dominieren in diesem Alter unzulängliche Konzepte hinsichtlich Schallerzeugung und Schallausbreitung die Interpretationen der Kinder. Die Variabilität der Erklärungsmodelle ist gerade bei den jüngeren Kindern (1. und 2. Klassenstufe) noch relativ groß. In diesen Fällen ist eine Abklärung dieser Vorstellungen im Vorfeld wichtig, um sie in eine Auseinandersetzung mit dem Themenbereich einbinden zu können. Unter Berücksichtigung der individuellen Vorstellungen, sollte für die jüngeren Kinder eine schrittweise Annäherung an das physikalische Phänomen Schall in Anlehnung an die Umsetzung im Kindergarten gewählt werden. Hier kann zunächst prinzipiell ein ähnliches Vorgehen wie bei den älteren Vorschulkindern gewählt werden, d.h. die Umsetzung könnte sich auf ein Sichtbar- und Fühlbarmachen von Schall konzentrieren. Je nach Vorkenntnissen, ist aber auch gut vorstellbar, dass in einem ersten Schritt die systematische Schallerzeugung und Schallwahrnehmung sinnvoller sein könnte. Ebenso wie bei der Umsetzung des Themas mit Vorschulkindern, sollten die erwachsenen Fachkräfte sich zuvor ebenfalls mit ihren eigenen Vorstellungen von Schall kritisch auseinandersetzen. Insbeson-

dere sollten hier auch die sprachlichen Wendungen im Zusammenhang mit Schall beachtet werden (vgl. vorangegangenen Abschnitt).

Auch wenn die Schallkonzepte der Schüler in diesem Alter keine hohe innere Konsistenz aufweisen und somit eine korrigierende Veränderung der Erklärungsmodelle einfacher erscheint, sollte jedoch beachtet werden, dass Kinder dieser Altersgruppe (im Vergleich zu Vorschulkindern) bereits über einen längeren Zeitraum die Möglichkeit hatten, auditive Erfahrungen zu sammeln, die irreführende Annahmen begünstigen. Diese Misskonzepte könnten dementsprechend – wenn auch inkonsistent – relativ gefestigt sein. Ob und in welcher Weise Kinder zu Beginn der Grundschule über ein systematisches Wissen bezüglich Schall verfügen, hängt sicherlich auch davon ab, ob dieses Thema zuvor im Kindergarten, bzw. in der Familie aufgegriffen wurde.

Bei den älteren Kindern (dritte und vierte Klassenstufe) sollte auf jeden Fall das Sichtbar- und Fühlbar-Machen von Schall sowie die unterschiedliche Schallausbreitung in verschiedenen Medien experimentell umgesetzt werden. Sie sollten in ihrer Entwicklung unterstützt werden, Schall als etwas Immaterielles zu begreifen. Gerade bei Achtjährigen scheinen erste Ansätze zu einem alternativen Erklärungsansatz von Schallausbreitung erkennbar, der die Beschaffenheit der Materialien, durch die sich Schall ausbreiten kann, berücksichtigt (Mazens & Lautrey, 2003).

2.3 Zusammenfassung

Es gilt, die Vertrautheit der Kinder mit auditiven Erfahrungen und die Begeisterung junger Altersgruppen für das Phänomen Schall, welche teilweise in Studien berichtet wird, zu nutzen. Da Kinder von früh an über einen reichhaltigen Schatz an Alltagserfahrungen mit Schall verfügen, eignet sich dieser Themenbereich ausgezeichnet, um bereits in der Vorschule Komponenten naturwissenschaftlichen Denkens zu üben und zu festigen. Bereits das bewusste Hinhören auf alltägliche Töne bzw. das Berichten von früheren auditiven Erfahrungen der Kinder kann mühelos dazu genutzt werden, gemeinsam systematisierende Kriterien für Töne und Klänge zu entdecken. Der Vergleich der individuellen Wahrnehmungen und Beschreibungen der Kinder untereinander kann hierbei eine wichtige Rolle spielen. Ferner können die Kinder zunächst auch ohne viel Aufwand auf unterschiedliche Weise und mit verschieden beschaffenen Objekten selbständig und systematisch Töne erzeugen. Dabei können sie durch Beobachtung Regelmäßigkeiten und Zusammenhänge zwischen ihrem eigenen Handeln sowie den jeweiligen Objekten und den wahrgenommenen Tönen entdecken und beschreiben lernen. Durch die Einordnung von Tonwahrnehmungen nach bestimmten Kriterien können die Kinder so üben, gezielte Vorhersagen über unbekannte Schallereignisse zu treffen bzw. vertraute Klangergebnisse (neu) zu interpretieren. Diese Auseinandersetzung mit Schall kann zu einer bewussteren und geschärften Wahrnehmung des Phänomens führen. Diese sollte später den Zugang zu einer Auseinandersetzung mit den physikalischen Prinzipien von Schall erleichtern. Bei älteren Kindern sollte möglichst die Verbindung zwischen Schall und Bewegung für die Kinder erfahrbar gemacht werden. Eine frühe, gezielte Her-

vorhebung dieses Aspekts kann dazu führen, dass die Kinder den kausalen Zusammenhang zwischen dem Schwingen eines Körpers und der Schallentstehung nachvollziehen können. Die bisherigen Studien mit Grundschulern liefern diesbezüglich keine einheitlichen Erkenntnisse (vgl. Kircher & Engel, 1994; Wulf & Euler, 1995), es kann aber generell davon ausgegangen werden, dass sich eine frühe Wahrnehmung dieser Verbindung förderlich auf ein späteres Verständnis der Kinder auswirkt.

Die zahlreichen berichteten Misskonzepte von Grundschulern (und auch älteren Kindern sowie Jugendlichen und Erwachsenen) ohne besondere Förderung auf diesem Gebiet weisen auf die großen Chancen hin, die darin liegen, dieses Thema bereits früh an Kinder heranzutragen. Durch eine frühe Auseinandersetzung mit dem Phänomen Schall ergibt sich die Möglichkeit, einer eventuellen Festigung unzulänglicher Konzepte in diesem Bereich entgegenzuwirken. Dass diese Tendenzen ohne eine gezielte Förderung offensichtlich bestehen, wird aus den dargestellten Studien deutlich (vgl. Kapitel 1.3.1 und 1.3.2). Den jüngeren Kindern in der Vorschule sollte zunächst vor allem die Möglichkeit gegeben werden, durch eigene Handlungen und ein bewusstes Hinhören systematische Erfahrungen mit Tönen zu sammeln. Da sich die Komplexität und Abstraktheit dieses physikalischen Phänomens nicht von der Hand weisen lässt, sollte eine schrittweise und bewusste Vorgehensweise gewählt werden, die den Verständnisraum und das jeweilige Vorwissen der Kinder berücksichtigt. Kinder konzeptualisieren Schall zunächst offensichtlich als eine Art Substanz und sprechen ihm im Verlauf ihrer Entwicklung nur langsam materielle Eigenschaften ab. Diese Entwicklung sollte auf jeden Fall frühzeitig unterstützt werden. Je näher die Kinder ihre eigenen Konzepte von Schall früh an eine (einfache) physikalisch korrekte Definition von Schall heranbringen können, desto besser sollte ihnen eine Anpassung dieser (dann eventuell immer noch nicht ganz ausgereiften) Konzepte an die später im naturwissenschaftlichen Unterricht vorgestellten Thesen gelingen. Eine gezielte Anreicherung des Wissens zu Schallphänomenen (z.B. wie breitet sich Schall in verschiedenen Medien aus, worauf basieren hierbei die Unterschiede etc.) empfiehlt sich vor allem für Grundschulkindern. In jedem Fall sollte allen Altersgruppen die Möglichkeit gegeben werden, akustische Phänomene direkt durch eigene Handlungen nachzuvollziehen. Diese persönlichen Erfahrungen scheinen einen Faktor zu bilden, der die Glaubwürdigkeit neuer naturwissenschaftlicher Konzepte stützen und somit die Veränderung bestehender Konzepte bei Kindern beeinflussen kann (vgl. Kapitel 1.3.3).

Ferner wird empfohlen, einer Auseinandersetzung mit dem Thema Schall im Kindergarten bzw. in der Grundschule gegebenenfalls eine Einheit zu dem Themenbereich Luft vorzuschalten. Ein grundlegendes Verständnis des Konzepts Luft ist für eine bereichernde Auseinandersetzung mit dem Phänomen der Schallausbreitung letztlich unabdingbar. Das Themengebiet Schall bietet außerdem vor allem für Vorschulkindern Anknüpfungspunkte zu dem Bereich der Materialkunde.

Generell sollten bei der Umsetzung des Themengebiets Schall mit Kindern im Vorschul- und Grundschulalter die Vorstellungen der Erwachsenen berücksichtigt und kritisch hinterfragt werden. Der sprachlichen Vermittlung von Schallphänomenen sollte dabei insbesondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.



D

Bemerkungen zu den Konzepten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

**Prozesse des Lehrens und Lernens aus der
Sicht der kognitiven Wissenschaften**

Salman Ansari

- 1 Prozesse des Lehrens und Lernens
aus der Sicht der kognitiven
Wissenschaften**
- 2 Kindern dabei helfen, Wissen zu
konstruieren**
- 3 Fehlvorstellungen und Bewusst-
werdung von Weltwissen**
- 4 Empfehlungen zu Angeboten der
Stiftung „Haus der kleinen Forscher“**
- 5 Schlussfolgerungen und Ausblick**
- 6 Grundlagen der vorliegenden
Expertise**

1. Prozesse des Lehrens und Lernens aus der Sicht der kognitiven Wissenschaften

Im Folgenden will ich versuchen, anhand von praktischen Beispielen die Erkenntnisse der kognitiven Wissenschaften über die Prozesse des Lernens exemplarisch zu erläutern. Ich hoffe, dass dadurch deutlicher wird, welche Defizite diesbezüglich bei den von mir beobachteten Vorgehensweisen der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ bestehen. Ich hoffe auch, dass es möglich sein wird zu erkennen, ob das pädagogische Anliegen, das Konzept und die konzipierten Experimente tatsächlich miteinander korrespondieren.

Als Hintergrund gehe ich von folgenden Fragen aus:

- Warum fällt Kindern das Verstehen von naturwissenschaftlichen Konzepten schwer?
- Was sind die Gründe für ihre Schwierigkeiten?
- Wie können wir diese Probleme lösen?

Diese Fragen führten mich zur kognitiven Wissenschaft und Entwicklungspsychologie. Durch die neuen Erkenntnisse haben sich folgende Fragestellungen entwickelt:

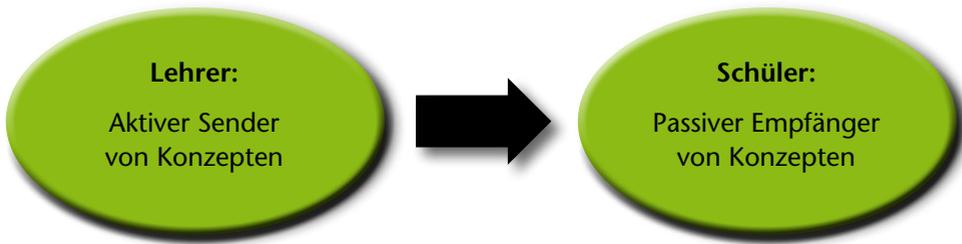
- Wie sind der naturwissenschaftliche Schulunterricht und die naturwissenschaftlichen Projekte in den Kitas strukturiert?
- Werden sie von der Forschung über die Prozesse des Lehrens und Lernens beeinflusst oder gibt es eine Kluft zwischen Forschung und Praxis?
- Was haben wir über das Lernen gelernt?
- Welchen Beitrag könnten die Erkenntnisse der kognitiven Wissenschaften und der Entwicklungspsychologie zu unserer Unterrichtspraxis leisten?

Daraus ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Wissen wird nicht passiv erworben.
- Wissen ist ein Prozess aus Erfinden und Gestalten.
- Kinder haben ein Repertoire an Strategien, um eigene Vorstellungen zu konstruieren.
- Verstehen braucht Kommunikation.

1.1 Wissen wird nicht passiv erworben

- In diesen Zusammenhängen müssen Pädagogen, Kinder und Wissenschaftler denken und handeln.
- Dies impliziert jedoch einen allmählich fortschreitenden Erkenntnisprozess, wobei neue Fragen, Vorstellungen, Konzeptionen und Fertigkeiten entwickelt werden.
- Das traditionelle Lehrer-Schüler-Modell:



Dies entmutigt die Kinder,

- sich *aktiv* mit Konzepten auseinanderzusetzen.
- ihre eigenen Vorstellungen einzubringen.
- ihre eigenen Fragen zu beantworten, statt Antworten auf Fragen zu erhalten, die sie nie gestellt haben.

1.2 Wissen: Ein Prozess aus Erfinden und Gestalten

Forscher der Kognitionswissenschaften (z.B. Brown, Bruner, Carey, Gelman, Goswami) haben einen wertvollen Beitrag für unser Verständnis, wie Wissen erworben wird, geleistet:

- Kinder sind gewohnt, selbstständig zu lernen. Sie haben eine eigenständige Methodik zur Bewältigung von Problemen. Sie sind in gewisser Weise „kleine Wissenschaftler“, befähigt, Hypothesen und Theorien aufzustellen.
- Lernstrategien, die auf eine Bewusstwerdung der Phänomene aus der Anschauungswelt der Kinder zielen, können Übergänge zwischen „implizitem“ und „explizitem“ Wissen begünstigen.

1.3 Kinder haben ein Repertoire von Strategien, um Wissen zu konstruieren

Studien von kognitiven Wissenschaftlern (z.B. Brown, Karmiloff-Smith, Vosniadou) zeigen Folgendes:

- Die Kenntnis darüber, welche Vorstellungen die Kinder bereits über einen Sachverhalt besitzen, der gelernt werden soll, ist beim Erwerb von nachhaltigem Wissen von großer Bedeutung.
- Sehr junge Kinder können zwischen belebten und unbelebten Objekten unterscheiden, haben ein intuitives Verständnis von Ursache und Wirkung, von Zahlen etc.
- Wir Lehrer müssen lernen, die frühen Kompetenzen (Prädispositionen) der Kinder zu erkennen und gezielt anzuregen.
- Das Verstehen von kindlicher Weltsicht, von den Ursachen kindlicher Fehlinterpretationen der Naturphänomene ist hilfreich, Lehrstrategien zu entwickeln, die Kinder ermutigen, ihre Vorstellungen zugunsten von wissenschaftlich gesichertem Wissen zu revidieren.

1.4 Verstehen braucht Kommunikation

- Kinder lernen nicht in Isolation (z.B. Vygotsky, Johnson, Slavin, Kagan, Rogoff)
- Lernumgebungen, die aus kleinen Gruppen mit unterschiedlichen Talenten, Alter, Geschlecht und Hintergrund bestehen, begünstigen das Lernen.
- In einer kooperativen Lernatmosphäre werden Kinder ermutigt, ihre Vorstellungen untereinander zu vergleichen.
- Sie lernen, ihr individuelles Verständnis von Naturphänomenen zu artikulieren.
- Angeregt durch die Fragen der Jüngeren erlangen die Älteren ein höheres Bewusstsein der Zusammenhänge.
- Die Vorstellungen der gemeinschaftlich Lernenden werden dadurch zunehmend konkreter, erreichen eine kognitiv höhere Lernstufe.

Wie können diese Forschungserkenntnisse genutzt werden, um die Denkprozesse der Kinder zu fördern und ihnen dabei helfen, sich neue Kompetenzen anzueignen? Hierzu wären Strategien hilfreich, die auf die Verwirklichung folgende Prinzipien achten:

- Stimulierung von manifesten Fähigkeiten (Prädispositionen)
- Ermöglichung von gemeinschaftlichem Lernen
- Lehrer als Mentor, ohne Einmischung durch Instruktion

Folgender Abschnitt möge die oben angesprochen Aspekte verdeutlichen.

2. Kindern dabei helfen, Wissen zu konstruieren

Im Rahmen eines viertägigen Ferienprojekts an der Odenwaldschule mit Kindern der dritten bis sechsten Klasse nahm ich folgende vier unterschiedlichen Aussagen als Ausgangspunkt:

- Franziska wundert sich darüber, dass eine Möwe auf dem Wasser sitzen kann, ohne sich zu bewegen. Selbst eine gewaltige Welle vermag die kleine Möwe nicht umzuwerfen.
- Julia sagt: „ Schau diese Schnecke hat ein Haus und diese nicht!“
- Katinka meint, auch eine Ente könne ein Haustier sein.
- Max sagt, er kann auch im Dunklen sehen.

Nehmen wir als Beispiel das erste Problem und schauen, wie die Kinder und ich es diskutiert und gelöst haben.

2.1 Gegenüberstellung von Wirklichkeitsbildern

Folgenden Ideen und Vorstellungen kamen dabei zum Ausdruck (Abb. 1):

- Samantha* (6. Klasse): Ich denke, dass die Möwe unter Wasser ihre Füße bewegt, um nicht unterzugehen.
- Franziska* (6. Klasse): Ich denke, dass die Federn der Möwe wasserabweisend sind, wegen des hohen Fettgehalts.
- Felicia* (3. Klasse): Ich denke, dass die Möwe so leicht ist, dass sie ohne sich zu bewegen auf dem Wasser bleiben kann.
- Lukas* (5. Klasse): Ich denke, die Möwe bleibt auf der Wasseroberfläche, weil ein Liter Wasser schwerer ist als Volumen „ein Liter Möwe“.
- Erik* (5. Klasse): Ich glaube, die Möwe bleibt auf der Wasseroberfläche, weil Luft unter ihren Federn sitzt.
- Anna* (4. Klasse): Ich glaube, sie schwimmt auf den Wellen und sie hält Gleichgewicht.

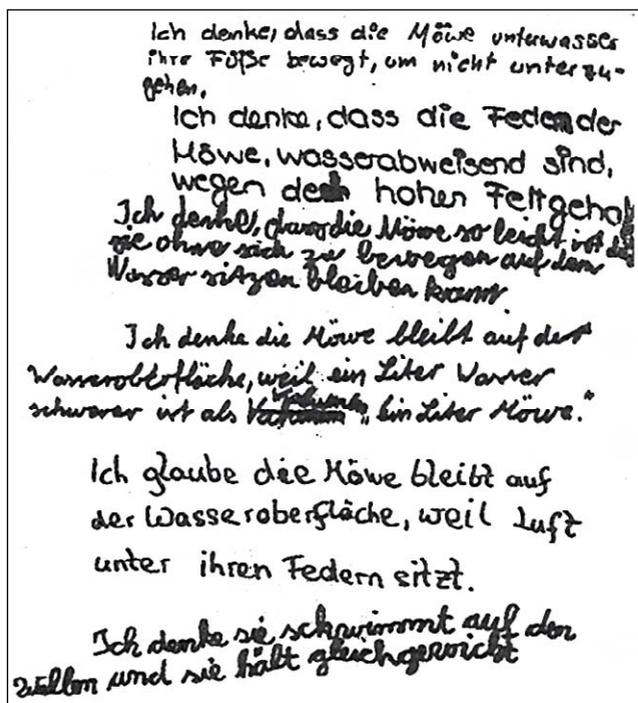


Abbildung 1: Vorstellungen und Ideen der Kinder zur Möwe auf dem Wasser

Sechs ganz unterschiedliche Meinungen und Vorstellungen kommen hier zum Ausdruck. Bemerkenswert dabei ist, dass kein Kind fachliche Begriffe wie „Verdrängung“ oder „Auftrieb“ benutzt, um seine Vorstellungen über die Ursachen von Schwimmen bzw. Sinken zu untermauern. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass auch Schülerinnen und Schüler der Klassen acht bis elf und selbst Universitätsstudentinnen und -studenten der Fachrichtungen Chemie, Physik, Biologie und Mathematik ganz ähnlich lautende Antworten zu dieser Frage-

stellung formulieren. Auffallend ist auch, wie ein Schüler (Lukas) versucht, die Bedeutungsinhalte von Gewicht und Volumen des Wassers mit dem Volumen der Möwe zu korrelieren, wobei sein eigenständig formuliertes Postulat den wissenschaftlichen Erklärungsmustern des Phänomens sehr nahe kommt.

Nun weiß ich, wie die Kinder denken und kann mir überlegen, wie ich unter Berücksichtigung ihrer naiven Vorstellung fortfahren könnte.

2.2 Vergegenwärtigung von eigenen Erfahrungen als Hilfe zur Bildung von neuen Konzepten

In einer anschließenden Phase wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, sich zu erinnern, was mit ihrem Körper geschieht und welche Bewegungsabläufe notwendig werden, wenn sie sich im Wasser schwimmend fortbewegen wollen. Bei dieser Diskussion wurde Übereinstimmung über folgende Erfahrungen erzielt (es handelt sich hierbei um eine Zusammenfassung der Schülerformulierungen):

- Der eigene Körper hängt teilweise im Wasser und schiebt das Wasser weg. Der Körper im Wasser nimmt also den ursprünglichen Platz des Wassers ein. Das Wasser weicht dem Körper aus.
- Die bewegenden Hände und Füße schicken ebenfalls das Wasser weg. Die Füße drücken das Wasser dauernd nach unten oder treiben es auseinander.
- Das weggeschickte Wasser verschwindet nicht, sondern bleibt im Becken, will wieder zurückkommen und seinen Platz einnehmen.
- Wenn man aus dem Schwimmbad die Treppe hinausgeht, muss man mehr Kraft aufwenden, sobald sich die Treppe außerhalb des Wassers befindet.

Wir können davon ausgehen, dass Kinder bei unterschiedlichen Anlässen erfahren haben, dass Gegenstände im Wasser sich leichter anfühlen. Ebenso wissen sie, dass schwimmende Gegenstände, wie zum Beispiel ein Spielzeug aus Plastik oder ein Gummiball sich im Wasser zwar nach unten drücken lassen, jedoch sofort wieder an die Oberfläche befördert werden, sobald sie losgelassen werden. Diese erlebten Bilder sind gleichwohl als etwas Selbstverständliches präsent und bieten sich dem Kind nicht als ein Problem an. Andererseits lassen die Erklärungen der Schüler erkennen, dass sie bei dem Phänomen Sinken und Schwimmen verschiedenen Faktoren wie Gewicht, Luft unter den Federn und Fettgehalt der Federn eine besondere Rolle beimessen (siehe Abbildung 1).

2.3 Experimentelle Erkundungen zur Entwicklung von neuen Fragestellungen und Revision von manifesten Vorstellungen

In der nächsten Stunde führten die Kinder Experimente durch. Sie sollten überprüfen, was Materialien befähigt zu schwimmen oder zu sinken.

Um ihre Versuchsdurchführung zu gestalten, erhielten sie:

- Wassereimer
- Alufolie
- Bälle aus unterschiedlichen Materialien (Glas, Holz, Metall)
- Knete, Öl und Fett, Sirup und Zucker

Mit Hilfe von einfachen Versuchen sollten die Schülerinnen und Schüler selbst erfahren, welche Bedeutung den verschiedenen Parametern wie Gewicht, Luft, Größe usw. beim Schwimmen zukommt.

Für die Versuchsdurchführung wurden ihnen Wassereimer, Knete, eingefettete und nicht eingefettete Holzkugeln und Glaskugeln, Gummibälle und Alufolie zur Verfügung gestellt.

Warum schwimmt eine Möwe auf dem Wasser, ohne sich zu bewegen?
 Ich denke, dass die Federn von der Möwe wasserabweisend sind, wegen dem Fettgehalt in den Federn.
 Was schwimmt, was nicht?

Stoß	Gewicht	Verhalten im Wasser
Kugel (Glas)	2,11 g	X
Gummiball	21,54 g	✓
Holzkugel	5,87 g	✓
Holzei	29,23 g	✓

Versuche (1)

Abbildung 2: Schülervorstellung zur Frage „Warum schwimmt eine Möwe aus dem Wasser ohne sich zu bewegen?“

2.4 Interpretationen der Beobachtungen

Als Ergebnis der durchgeführten Versuche konnten die Schülerinnen und Schüler unter Anderem folgende Erkenntnisse zu Protokoll geben:

Postexperimentelle Betrachtungen

- „Wenn etwas Flaches auf dem Wasser liegt, gibt es viele Stellen, die nur wenig Last tragen und wenn etwas senkrecht steht, gibt es weniger Stellen die die ganze Last tragen müssen ...“.
- „Knete geformt als Kugel geht unter. Die gleiche Kugel als Schiff geformt schwimmt ...“.
- „Wenn ein Gegenstand im Wasser ist, nimmt er den Platz des Wassers ein. Da das Wasser aber nicht für immer wegbleibt, sondern zurück will, drückt es den Gegenstand nach oben ...“.
- „Der Gegenstand, der ins Wasser kommt, nimmt den Platz ein, das Wasser steigt. Das Wasser will zurück an seinen Platz. Wenn genügend Wasser verdrängt wurde, drückt das Wasser den Gegenstand an die Oberfläche. Genau so ist es bei der Möwe auch ...“.
- „Wir nahmen ein Stück Alufolie und falteten es immer kleiner zusammen, bis es unterging, denn es hat nicht genug ins Wasser hinein geragt und deswegen hat es auch nicht genug Wasser weggedrückt. Dasselbe Gewicht formten wir zu einer Kugel, die an der Oberfläche schwamm, weil sie halb im Wasser schwimmt ...“.
- „Wenn ein Gegenstand genügend Wasser wegdrückt, drückt das Wasser den Gegenstand hoch. Deswegen muss die Möwe sich nicht bewegen“.
- „Wenn man vorsichtig ein halbes Glas Sirup in ein halbes Glas Wasser schüttet, dringt der Sirup durch das Wasser und setzt sich, weil Wasser Löcher hat. Wenn man aber Wasser in ein Glas mit Sirup schüttet, bleibt es über dem Sirup, weil der Sirup keine Löcher hat, um das Wasser durchzulassen“.

Diese Aussagen zeigen:

- „Die Schülerinnen und Schüler haben durch experimentelle Erkundungen und den Austausch von Reflexionen mit anderen ihre ursprünglichen Vorstellungen aufgegeben und neue Konzepte gebildet.“
- „Ihre Antworten, obwohl nicht immer ganz korrekt, sind den wissenschaftlichen Erklärungsmustern (Dichte & Auftrieb) sehr nah.“
- „Die Kinder erlangen auf der Grundlage von konstruktivem und gemeinschaftlichem Lernen eine Bewusstheit der Zusammenhänge, die ihnen hilft, ihre naiven Theorien selbstständig zu revidieren“

2.5 Reorganisation von Wissen

Aus den nachfolgenden Protokollen ist der Weg der Erkenntnisgewinnung ersichtlich. Es fällt auf, dass unabhängig von der Altersstufe die physikalischen Zusammenhänge richtig erfasst und in eigenständiger Sprache formuliert werden. Obwohl physikalische Größen wie Dichte oder Auftrieb erwartungs-

gemäß von den Kindern nicht in wissenschaftlichen Kategorien formuliert werden, wird der Wesensinhalt dieser Größen im Kontext von „Schwimmen und Sinken“ dennoch klar erkannt:

- „Knete geformt als Kugel geht unter. Die gleiche Kugel als Schiff geformt schwimmt ...“.

Oder:

- „Wenn etwas Flaches auf dem Wasser liegt, gibt es viele Stellen, die nur wenig Last tragen und wenn etwas senkrecht steht, gibt es weniger Stellen, die die ganze Last tragen müssen ...“.

Ferner ist festzuhalten, dass alle Schülerinnen und Schüler ihre Meinungen über die möglichen Ursachen, die dem Phänomen Schwimmen und Sinken zugrunde liegen, revidiert und infolgedessen ihr Wissen reorganisiert bzw. neue Erkenntnisse gewonnen haben.

2.6 Resümee Wissenskonstruktion

- Schülerinnen und Schüler können neue Ideen und Konzepte selbstständig bilden, wenn der Weg der Erkenntnisgewinnung durch eine Belebung und Bewusstwerdung erlebter Phänomene begleitet wird.
- Das selbstständige, unbefangene, instruktionsfreie Handeln begünstigt eigenständige Theoriebildung.
- Kleine und jahrgangsübergreifende Lerngruppen fördern die Wahrnehmung von unterschiedlichen Herangehensweisen anderer Schülerinnen und Schüler und deren sprachlichen Ausdrucksmustern. Diese Form der kooperativen Interaktionen erleichtert offensichtlich den Zugang zum Verstehen von abstrakten Sachverhalten.
- Entdeckendes Lernen, das laborpraktische Untersuchungen als Reduktionen der äußeren Wirklichkeit begreift, hilft den Schülerinnen und Schülern, gewonnene Erkenntnisse auf erlebte Phänomene zu übertragen, diese im Kontext der Naturgesetzmäßigkeiten zu interpretieren und gegebenenfalls manifeste „misconceptions“ selbstständig zu überwinden.

Diese Protokolle beziehen sich auf die vorangegangenen Experimente:

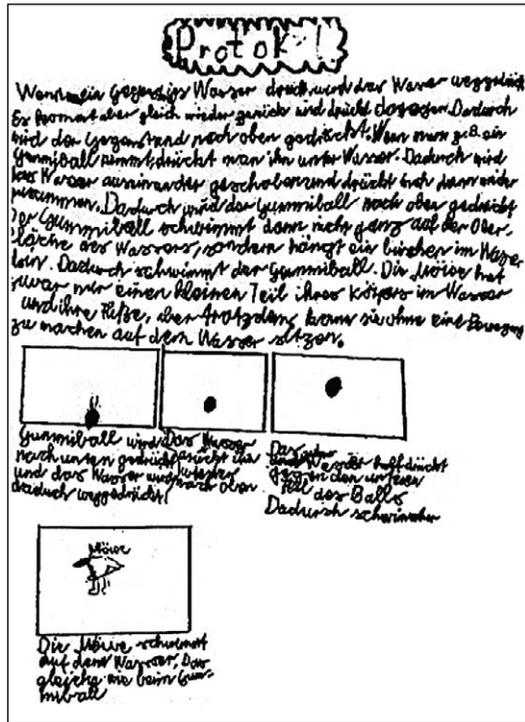


Abbildung 3: Schülervorstellung, warum die Möwe schwimmt: Protokoll 1 – „Gummiball wird nach unten gedrückt und das Wasser wird dadurch weggedrückt. Das Wasser drückt ihn wieder nach oben. Das Wasser drückt gegen den unteren Teil des Balls. Dadurch schwimmt er. Die Möwe schwimmt auf dem Wasser. Das Gleiche wie beim Gummiball.“

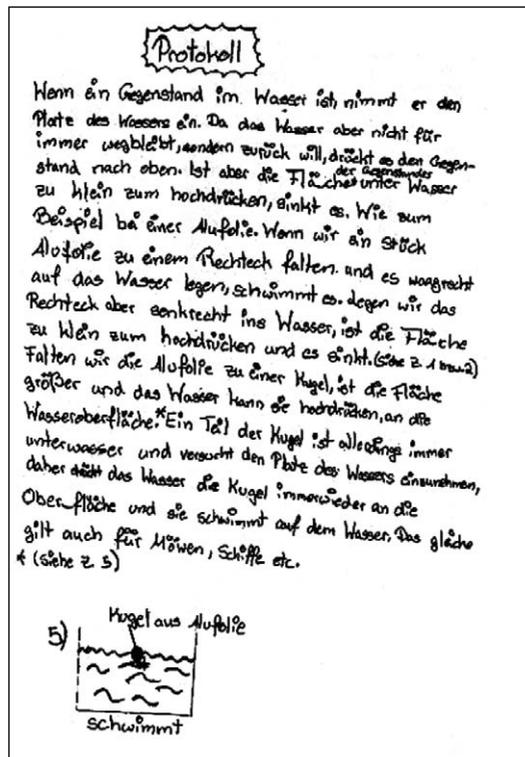
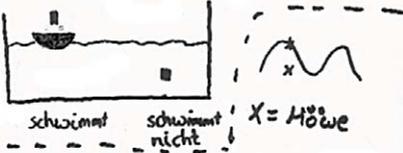


Abbildung 4: Schülervorstellung, warum die Möwe schwimmt: Protokoll 2

Ergebnisse:

Der Gegenstand, der ins Wasser kommt, nimmt den Platz ein, das Wasser steigt. Das Wasser will zurück an seinen Platz. Wenn genügend Wasser verdrängt wurde, drückt das Wasser den Gegenstand an die Oberfläche. Genauso ist es bei der Möwe auch.



schwimmt schwimmt nicht $x = \text{Möwe}$

→ Warum wirft die Welle die Möwe nicht um?

- Die Welle wirft die Möwe nicht um, weil man mit der Welle nach oben geht. Man kommt ungefähr auf der gleichen Stelle wieder herunter.

6

Abbildung 5:
Schülervorstellung, warum die Möwe schwimmt: Protokoll 3

3. Fehlvorstellungen und Bewusstwerdung von Weltwissen

3.1 Wie Experimente Fehlvorstellungen begünstigen

Kinder untersuchen mit einem Experiment das Verhalten von warmer Luft.

In vielen Zeitschriften und Büchern wird folgendes Experiment für die Grundschule und sogar für die Kindergärten vorgeschlagen:

Eine Flasche, die auf ihrem Hals mit einem Luftballon versehen ist, (siehe Abbildung 6) wird in einem heißen Wasserbad erwärmt:



Abbildung 6: Flasche mit „Luftballonmütze“ (li.) erwärmte Flasche mit „Luftballongeist“ (re.)

Die Flasche wird in ein Wasserbad mit heißem Wasser gestellt, der Luftballon richtet sich auf. Wir stellen folgende Fragen:

Frage 1: Warum bläht sich der Luftballon auf?

Frage 2: Warum bleibt der Luftballon nur wenig aufgebläht, selbst wenn wir die Flasche länger erhitzen?

Zu Frage 1: Warum bläht sich der Luftballon auf?

Erklärungen der Kinder auf die erste Frage.

- „Wasserdampf geht in den Luftballon hinein“.
- „Die warme Luft steigt nach oben.“

Auf die Frage wie Wasserdampf in den Luftballon hineingelangen kann, bekommen wir fast immer die folgende Antwort:

- „Luftballon sitzt undicht auf der Flasche“.

Wir dichten die Stelle mit Klebeband ab und führen den Versuch noch einmal durch.

Einige Kinder wissen, dass Wasserdampf beim Abkühlen Wassertropfen bildet. Sie schlagen vor, wir sollten den Wasserdampf auffangen. Wir lassen den aufsteigenden Dampf sich an einer Schale absetzen, und es bilden sich bald Wassertropfen. Danach lassen wir die Flasche mit dem leicht aufgeblähten Luftballon abkühlen. Hier können wir keine Wassertropfen beobachten.

Nun sind die Kinder überzeugt, dass nicht der Wasserdampf die Ursache ist. Zwei Kinder meinen, dass die Luft in der Flasche aufgestiegen ist.

Auf die Frage: „Wie meint ihr das?“ erhält man folgende Antwort: „Die Luft in der Flasche ist jetzt im Luftballon.“

Ich habe dieses Experiment mit Kindern der Jahrgangsstufen 3 bis 6 und auch mit Kindern vieler Kitas wiederholt und stets festgestellt, dass die Kinder tatsächlich meinen, die Luft in der Flasche sei in den Luftballon übergegangen. Um dieses Missverständnis auszuräumen, hatten die Kinder die Gelegenheit zu überprüfen, ob der Luftballon sich auch ausdehnt, wenn man die Flasche waagrecht bzw. mit ihrer Öffnung nach unten zeigend hält. Ebenso sollte sie die Flasche kühlen und das Ergebnis beschreiben.

Schüler, 3. Klasse :

- „Wo wir die Flasche mit unseren Händen gewärmt haben, ist die warme Luft in den Luftballon gegangen und der Luftballon hat sich aufgeblasen.“
- „Die warme Luft steigt nicht nur nach oben, sondern auch zur Seite, weil warme Luft sich ausbreitet und kalte Luft sich zusammenzieht.“
- „Warme Luft steigt nach oben, weil sie mehr Platz braucht als die kalte Luft.“

Versuch : Was geschieht bei einem Glas, bei dem die Öffnung nicht nach oben zeigt, wenn die Luft warm wird?

Zeichnung des Versuchs:



Was ist passiert?

Wo wir die kalte Flasche mit den Händen gewärmt haben ist die warme Luft in den Luftballon gegangen.

Ergebnis:

Luft steigt nicht immer oben weil sie kann nach unten zur Seite und nach oben weil warme Luft sich ausbreitet und kalte Luft sich einzieht

Abbildung 7: Schülererklärung 1, warum sich der Luftballon aufbläht: „Luft steigt nicht immer oben weil, sie kann nach unten zur Seite und nach oben weil warme Luft sich ausbreitet und kalte Luft sich einzieht.“

Versuch : Was geschieht bei einem Glas, bei dem die Öffnung nicht nach oben zeigt, wenn die Luft warm wird?

Zeichnung des Versuchs:



Was ist passiert?
 Der Luftballon, den wir über einer Flasche gemacht haben, und die Flasche umgedreht haben. Der Luftballon aufgeblasen worden.

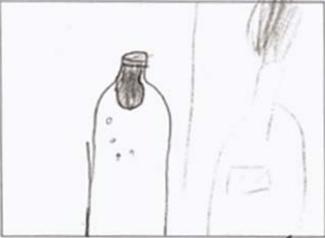
Ergebnis:
 Warme Luft steigt auch nach unten, weil Sie mehr Platz braucht als die kalte Luft.

Abbildung 8: Schülererklärung 2, warum sich der Luftballon aufbläht: „Warme Luft steigt auch nach oben, weil Sie mehr Platz braucht als die kalte Luft.“

Luft wird erwärmt und abgekühlt

Versuchsbeschreibung: Wir wollten das sich der Luftballon was zusammenzieht.

Zeichnung des Versuchs:



Vermutung: Die Kälte zieht den Luftballon nach innen

Beobachtung: Der Luftballon hat sich ganz langsam & durch die Kälte nach innen gezogen weil sich die Luft zusammenzieht & was wir sie ins Kältebad gelegt haben

Ergebnis: Der Luftballon hat sich durch die Kälte nach innen gezogen weil sich die Luft zusammenzieht und wenn die Luft warm ist dehnt sie sich aus und der Luftballon bläht sich auf.

Abbildung 9: Schülererklärung 3, warum sich der Luftballon aufbläht

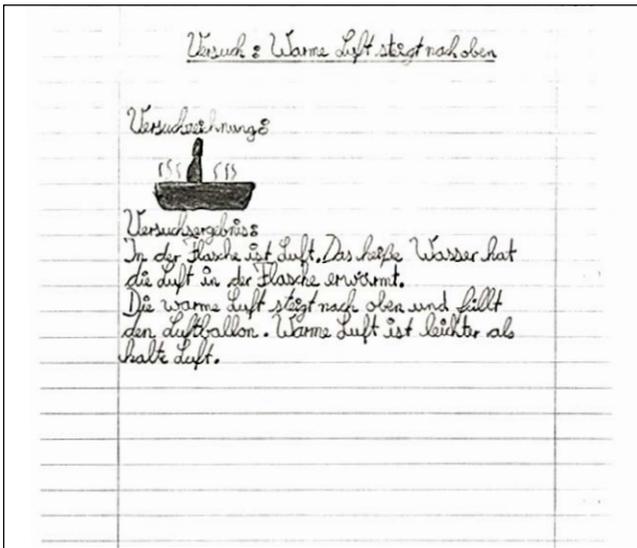


Abbildung 10: Schülererklärung 4, warum sich der Luftballon aufbläht

Schüler, 5. Klasse:

- „Der Luftballon, den wir über eine Flasche gemacht haben und die Flasche umgedreht haben, der Luftballon (ist) aufgeblasen worden.“
- „Warme Luft steigt auch nach unten, weil sie mehr Platz braucht als die kalte Luft.“

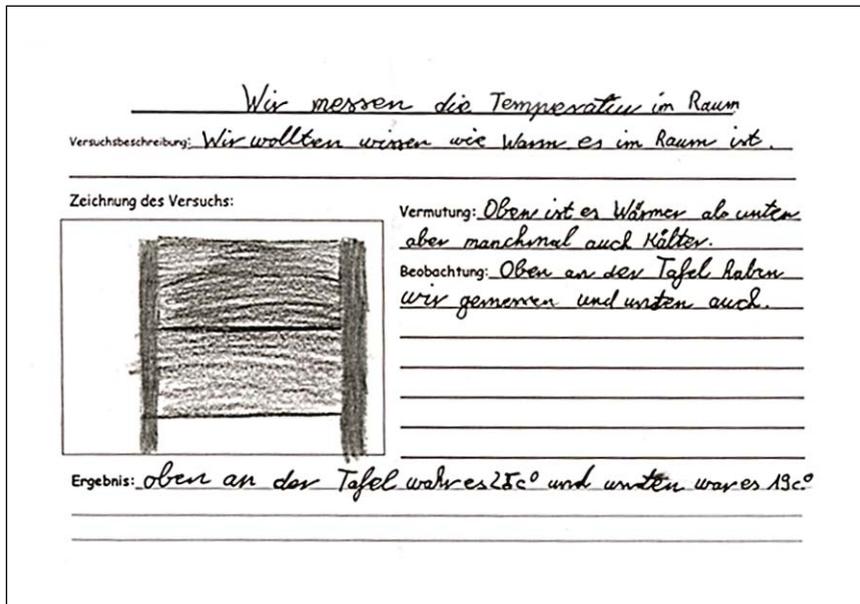
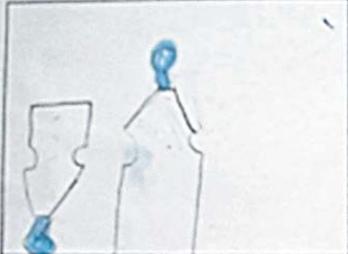


Abbildung 11: Protokoll zur Messung der Temperatur im Raum

Versuch: Was geschieht bei einem Glas, bei dem die Öffnung nicht nach oben zeigt, wenn die Luft warm wird?

Zeichnung des Versuchs:



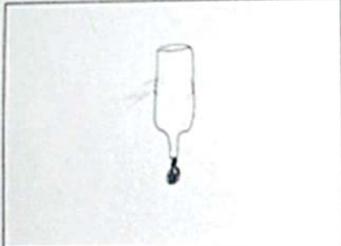
Was ist passiert?
Die Luft ist nach oben gestiegen und in den Luftballon. Der Luftballon ist deshalb nach oben gestiegen. Wenn man die Flasche zur Seite hält, passiert das Gleiche.

Ergebnis:
Die heiße Luft kann überall sein.

Abbildung 12: Schülererklärung 5, warum sich der Luftballon aufbläht: „Die Luft ist nach oben gestiegen in den Luftballon. Der Luftballon ist deshalb nach oben gestiegen. Wenn man die Flasche zur Seite hält, passiert das Gleiche.“ „Die heiße Luft kann überall sein.“ (Schüler, 3. Klasse)

Versuch: Was geschieht bei einem Glas, bei dem die Öffnung nicht nach oben zeigt, wenn die Luft warm wird?

Zeichnung des Versuchs:



Was ist passiert?
Der Luftballon den wir über einer Flasche gemacht haben und die Flasche umgedreht haben. Der Luftballon aufgeblasen worden.

Ergebnis:
Warme Luft steigt auch nach unten weil sie mehr Platz braucht als die kalte Luft.

Abbildung 13: Schülererklärung 6, warum sich der Luftballon aufbläht: „Der Luftballon, den wir über eine Flasche gemacht haben und die Flasche umgedreht haben, der Luftballon (ist) aufgeblasen worden.“ „Warme Luft steigt auch nach unten, weil sie mehr Platz braucht als die kalte Luft.“ (Schüler, 5. Klasse)

Eine kalte Glasflasche wurde mit der Öffnung zur Seite mit einem leeren Luftballon verschlossen und mit den Händen erwärmt.

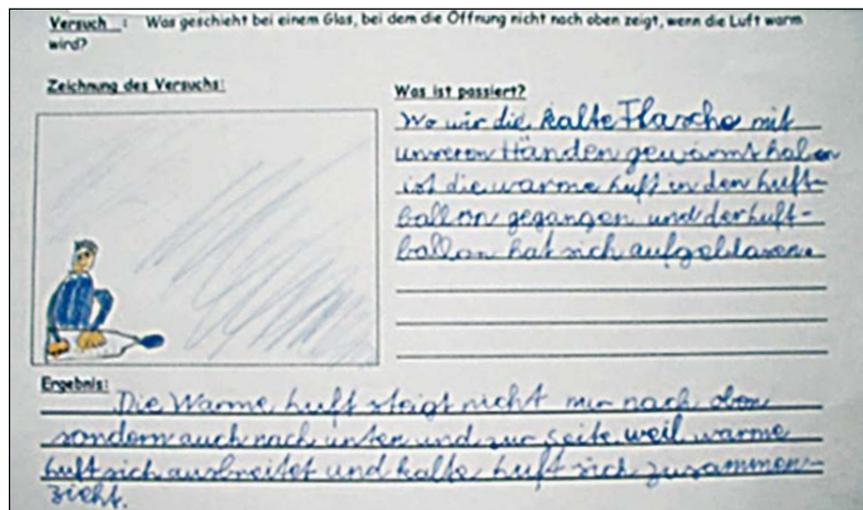


Abbildung 14: Schülererklärung 7, warum sich der Luftballon aufbläht: „Wo wir die kalte Flasche mit unseren Händen gewärmt haben, ist die warme Luft in den Luftballon gegangen und der Luftballon hat sich aufgeblasen.“ „Die warme Luft steigt nicht nur nach oben, sondern auch zur Seite, weil warme Luft sich ausbreitet und kalte Luft sich zusammenzieht.“ (Schüler, 3. Klasse)

Aufgrund der neuen Erkenntnisse konnten einige Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellungen revidieren. Doch aus ihren Aussagen geht hervor, dass sie die Zusammenhänge dennoch nicht korrekt verstanden haben. Einige haben sogar zusätzliche naive Vorstellungen durch die durchgeführten Versuche entwickelt. Dies konnten wir in Gesprächen mit den Kindern deutlich erkennen. Wir haben sie darum gebeten, uns ihre schriftlichen Erklärungen näher zu erläutern. Nachfolgend sind einige Schlussfolgerungen der Kinder wiedergegeben.

„Die Kälte zieht den Luftballon nach innen.“

Diese Vorstellung ist so manifest, dass selbst viele Pädagogen behaupten, Vakuum würde die Luft hineinziehen. Nun kann Vakuum keine Kräfte entfalten. Man hat zwar irgendwann von Magdeburger Kugeln gehört, dennoch ist die Aussage des Experiments unklar geblieben. Die Kugeln wären auseinander geflogen, wenn sie nicht absolut luftdicht gewesen wären.

Bei dem oben beschriebenen Versuch wird durch das Kühlen der Flasche ein kleiner Unterdruck bewirkt, wobei ein Druckgefälle entsteht. Es wird jedoch sofort durch die äußere Luft ausgeglichen, wobei gleichzeitig der Luftballon hineingedrückt wird.

„Warme Luft ist leichter als kalte Luft.“

Die Schülerinnen und Schüler geraten immer wieder in einen semantischen Konflikt, weil für sie hinter den Wörtern konkrete Bilder stecken. Wenn also

nicht die ganze Luft in den Luftballon übergeht, dann, so vermuten sie, muss es in der Flasche warme und kalte Luft geben. Dem warmen Luftanteil messen sie ein geringeres Gewicht zu, denn nur so kann sie leichter nach oben steigen als die schwerere kalte Luft.

„Warme Luft steigt auch nach unten, weil sie mehr Platz braucht als die kalte Luft.“

Auch hier scheinen die Schülerinnen und Schüler einen ähnlichen Ausweg zu suchen wie bei dem obigen Beispiel. Interessant ist hierbei, dass die warme Luft nach unten „steigt“ und nicht nach unten fällt oder sich ausdehnt. Hinzu kommt, dass die Verteilung der Luft als ungleichmäßig vorgestellt wird, wobei die warme Luft mehr Raum beansprucht.

„Warme Luft sich ausbreitet und kalte Luft sich zusammenzieht.“

Wenn die warme Luft mehr Raum beansprucht, dann muss die kalte Luft Platz dafür schaffen. Daher die Schlussfolgerung, dass die kalte Luft sich zusammenzieht.

„Oben ist wärmer als unten aber manchmal auch kälter.“

Im Gespräch stellt sich heraus, dass es für den Schüler zwei Wahrheiten gibt. Die eine hat er im Experiment erfahren. Die andere in den Bergen. Das Ergebnis des Experiments steht im Widerspruch zur Wirklichkeitserfahrung. Denn es sagt, dass oben in den Bergen die Luft warm sein sollte. Um mehr Einblick in die Denkprozesse der Kinder zu erhalten, haben wir folgende Tests durchgeführt:

Test I

Fragebogen für Schülerinnen und Schüler

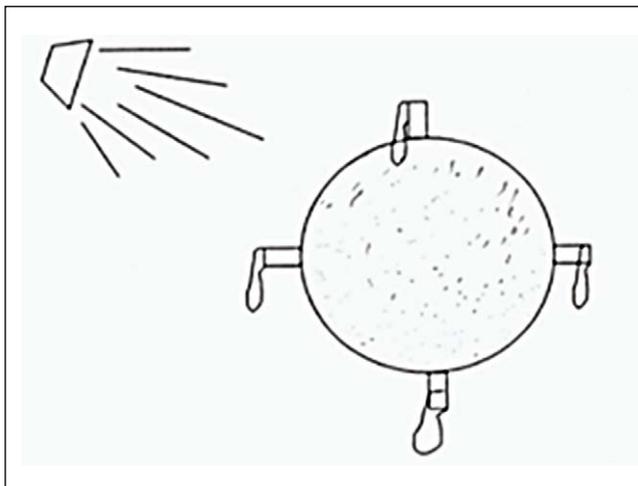


Abbildung 15: Zeichnung einer Glaskugel, die innen hohl ist, und die oben, unten und an zwei Seiten Öffnungen hat, die durch Luftballons verschlossen sind. Die Glaskugel wird von einer Wärmelampe angestrahlt.

Eine Glaskugel, innen hohl, mit Öffnungen oben, unten und an zwei Seiten, die durch Luftballons verschlossen sind, wird von einer Wärmelampe angestrahlt. Die Kugel und die Luft darin werden warm.

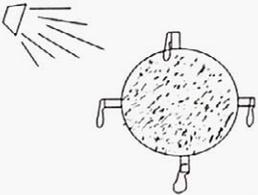
„Male, wie die Kugel mit den Luftballons nach dem Erwärmen aussieht.“

Hier beispielhaft einige Darstellungen der Schülerinnen und Schüler:

Forscherstunden
Name:

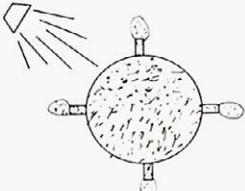
Klasse: 4a
Datum: 15.01.05

Fragebogen für Schüler



Eine Glaskugel innen hohl, mit Öffnungen oben, unten und an zwei Seiten, die durch Luftballons verschlossen sind, wird von einer Wärmelampe angestrahlt. Die Kugel und die Luft darin werden warm.

Male, wie die Kugel mit den Luftballons nach dem Erwärmen aussieht.



Und die Luftteilchen darin durch eine magische Brille gesehen?
Wie könnten sie vorher aussehen?
Und wie nach dem Erwärmen?

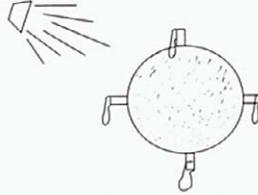
Begründung: Dem Luftteilchen wird es zu warm und wollen nach draussen. Weil die Lampe die Kugel erhitzt. Aber sie sind verklebt geblieben weil sie durch alle Öffnungen nach draussen wollen.

Abbildung 16: Schülerdarstellung und -begründung 1, wie die Luftballons nach dem Erwärmen aussehen

Forscherstunden
Name:

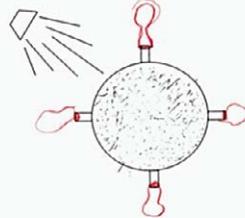
Klasse: 4a
Datum: 15.01.05

Fragebogen für Schüler



Eine Glaskugel innen hohl, mit Öffnungen oben, unten und an zwei Seiten, die durch Luftballons verschlossen sind, wird von einer Wärmelampe angestrahlt. Die Kugel und die Luft darin werden warm.

Male, wie die Kugel mit den Luftballons nach dem Erwärmen aussieht.



Und die Luftteilchen darin durch eine magische Brille gesehen?
Wie könnten sie vorher aussehen?
Und wie nach dem Erwärmen?

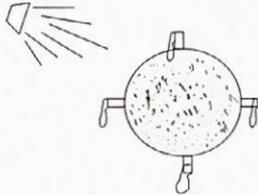
Begründung: Bei dem kalteren Luftballon war die Luftmoleküle eingengt aber bei der erwärmung der Luft haben sich die Luft-Kugel

Abbildung 17: Schülerdarstellung und -begründung 2, wie die Luftballons nach dem Erwärmen aussehen

Forscherstunden
Name:

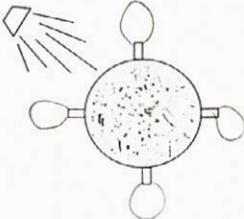
Klasse: 4a
Datum: 15.2.05.....

Fragebogen für Schüler



Eine Glaskugel innen hohl, mit Öffnungen oben, unten und an zwei Seiten, die durch Luftballons verschlossen sind, wird von einer Wärmelampe angestrahlt. Die Kugel und die Luft darin werden warm.

Male, wie die Kugel mit den Luftballons nach dem Erwärmen aussieht.



Und die Luftteilchen darin durch eine magische Brille gesehen?
Wie konnten sie vorher aussehen?
Und wie nach dem Erwärmen?

Begründung: kalte Luft zieht sich zusammen deshalb ist oben zwischen den Teilchen weniger Platz als bei dem unteren Bild weil warme Luft sich ausbreitet und geht in die Ballons dadurch.

Abbildung 18: Schülerdarstellung und -begründung 3, wie die Luftballons nach dem Erwärmen aussehen

Zusammenfassung und Reflexion der Antworten

Der Test wurde in Klassen vier und sechs an der Grund- und Realschule in Haueneberstein durchgeführt.

Klasse 4 gesamt: 25 Schülerinnen

Elf Schülerinnen haben mehr oder weniger große Luftballons an die Öffnungen gemalt und Luftteilchen gleichmäßig in Glaskugel und Luftballons verteilt. Allerdings gehen alle davon aus, dass die Teilchen sich vor dem Erwärmen nur in der Glaskugel befinden.

Begründungen:

- „Wenn die Flasche erwärmt ist, wollen die Luftteilchen raus. Deswegen gehen die Luftteilchen in die Luftballons.“
- „Beim Bild Nr. 1 ist die Kugel kalt und die Luft bleibt. Bei Bild Nr. 2 ist sie warm geworden und die Luft dehnt sich aus und geht in die Luftballons.“
- „Ich habe es so gemalt, weil wenn ich die Kugel erwärme, sich die Luft ausbreitet, und bei der Kalten zieht sie sich zusammen.“
- „Am Anfang ist kalte Luft in der Glaskugel gleichmäßig verteilt. Wenn die Luft erwärmt wird, dehnt die Luft sich in die Luftballons aus.“
- „Den Luftteilchen wird es zu warm und sie wollen nach draußen, weil die Lampe die Kugel erhitzt. Aber sie sind verteilt geblieben, weil sie durch alle Öffnungen nach draußen wollen.“

- „Ich habe es so gemalt, weil wenn die Luft warm wird, sie sich ausdehnt und in die Luftballons geht. Aber in der Kugel ist auch noch Luft.“
- „Die Luft erwärmt sich und die Luft breitet sich aus, und dann werden die Luftballons aufgeblasen.“
- „Die Luft wird erwärmt und dehnt sich aus und ein bisschen entwischt in die Luftballons.“
- „Wenn Luftteilchen erwärmt werden dehnen sich die Luftteilchen aus und beanspruchen mehr Platz. Zwar geht ein Teil nach oben aber unten und rechts und links werden auch welche hingedrückt.“

Sechs Schülerinnen haben ebenfalls mehr oder weniger große Luftballons an die Öffnungen gemalt, aber die Luftteilchen sind nur in die Glaskugeln gemalt worden. Die Begründungen passen aber zu den obigen.

- „Bei der kälteren Kugel waren die Luftmoleküle eingeeengt, aber bei der Erwärmung der Luft haben sich die Luftmoleküle ausgebreitet. Deswegen haben sich die Luftballons aufgeblasen.“
- „Die Luft verteilt sich und geht so in jeden Luftballon gleich.“
- „Die Luft zieht sich bei kalt zusammen und bei warm dehnt sich die Luft aus.“
- „Weil die warme Luft sich ausdehnt, weil sie heraus will und dadurch die Luftballons aufgeblasen.“
- „Wenn die Luft erwärmt wird, breitet sie sich aus.“ (Dehnt sie sich aus.)
- „Wenn Luft erwärmt wird, dehnt sie sich aus und sie will raus und der Luftballon bläst sich auf.“
- „Kalte Luft zieht sich zusammen. Deshalb ist oben zwischen den Teilchen weniger Platz als bei dem unteren Bild. Weil warme Luft breitet, sich aus und geht in die Öffnungen. Dadurch blasen sich die Luftballons auf.“

Sieben Schülerinnen haben die Luftteilchen in der unteren Kugel verstärkt und außen in die Kugel gemalt. Die aufgeblasenen Luftballons sind aber ohne Luftteilchen. Einige Begründungen sind:

- „Ich habe gesehen, dass wenn es kalt ist, hängen die Luftballons runter und wenn es warm ist, steigen sie hoch.“
- „Oben bei der Kugel, wo es noch kalt ist, da ist nicht genug Sauerstoff und deswegen füllen sich auch nicht die Luftballons. Unten ist der Ball wärmer und deswegen drückt der Sauerstoff gegen alles und füllt damit die Luftballons.“
- „Weil die warme Luft nach oben steigt. Die Luftballons mit dem Kreuz da ist weniger Luft drin.“

Klasse 6 mit insgesamt 12 Kindern:

Neun Kinder haben an den Öffnungen jeweils etwa gleich große Luftballons mit Luftteilchen gezeichnet. Einige Begründungen sind:

- „Durch das Erwärmen dehnt sich der Luftballon.“
- „Die Luft breitet sich aus und steigt in die Luftballons. So werden sie aufgeblasen.“
- „Die Luft wird erwärmt und die Luftballons blasen sich auf und die Luft dehnt sich auch aus.“
- „Die Luft dehnt sich aus und steigt in die Luftballons.“

- „Beim Erwärmen dehnt sich die Luft aus und so werden die Luftballons aufgeblasen.“
- „In dem oberen Ballon (gemeint ist wohl die Glaskugel) ist die Luft noch kalt und breitet sich noch nicht aus, im unteren Ballon dehnt sich die Luft und steigt in die Ballons. Das geschieht dadurch, weil die Luft erwärmt wird.“
- „Die Luftballons blasen sich auf durch die Wärme der Lampe, weil die Luft dann in die Ballons strömt.“
- „Die Luft in der Glaskugel will durch die Wärme entfliehen. Dadurch blasen sich die Luftballons auf.“
- „Beim Erwärmen bläst sich der Luftballon auf. Die Luft will raus.“

Ein Schüler und eine Schülerin haben ebenfalls mehr oder weniger große Luftballons an die Öffnungen gemalt, aber die Luftteilchen sind nur in die Glaskugel gemalt worden. Ihre Begründungen sind:

- „Nach dem Erwärmen der Kugel breiten sich die Luftteilchen aus und die Luftballons blasen sich auf.“
- „Weil die Wärme die Luftballons aufbläst.“

Zu Frage 2: Warum bleibt der Luftballon nur wenig aufgebläht, selbst wenn wir die Flasche länger erhitzen?

Zunächst können die Schülerinnen und Schüler keine Erklärung für diese Frage finden. Wir führen diesen Versuch mit unterschiedlich großen Flaschen durch und stets bläht sich der Luftballon nur wenig auf. Dies hilft den Schülerinnen und Schülern zu vermuten, dass die ganze Luft in der Flasche doch nicht in den Luftballon übergeht. Allerdings haben sie keine Erklärung für diese Vermutung, und Zweifel überwiegen deutlich.

Resümee: Insgesamt ist festzuhalten, dass selbst für Grundschülerinnen und -schüler dieser Versuch voller Rätsel steckt und zu zahlreichen Missverständnissen führt. Bei Kindergartenkindern hat der Versuch lediglich einen magischen Charakter und fasziniert die Kinder.

Zusammenfassung: Die auf Ursache und Wirkung beruhende Interpretation der Experimente setzt mehrere Kenntnisse von naturwissenschaftlichen Zusammenhängen voraus. Ich erwähne nur einige davon:

- Alle Energieerscheinungen sind ineinander umwandelbar. Die Wärmeenergie kann sich in Bewegungsenergie umwandeln. Beim Erwärmen eines Stoffes wird die Wärmeenergie von den Stoffteilchen in kinetische Energie umgewandelt. Bei Gasen hat dies zur Folge, dass sie in einem geschlossenen Raum höheren Druck ausüben. Im Sommer z.B. muss man also die Autoreifen mit weniger Luft füllen als im Winter und dennoch erreicht man die gleichen Druckverhältnisse. Auch die Verdunstungsvorgänge beruhen auf der Umwandlung von Wärme in größere Bewegungsenergie der Teilchen.
- Wenn die Flasche erwärmt wird, nimmt die Dichte des Gases ab. Der Luftballon hat noch Platz für die Gasmenge und bläht sich nur so weit auf, bis der Druck im Luftballon und der Flasche bei erhöhter Temperatur dem Aussendruck entspricht.

- Bei der Erhöhung der Temperatur eines Stoffes bewegen sich alle Teilchen mit fast gleicher kinetische Energie. Daher gibt es beim Erwärmen der Flasche mit dem Luftballon keine Temperaturunterschiede. Der Autoreifen bläht sich gleichmäßig auf.
- Die Masse der Teilchen bleibt stets gleich und ist nicht von der Temperatur abhängig. Kühlt oder erhitzt man die verschlossene Flasche mit dem Luftballon, dann bleibt das Gesamtgewicht der Teilchen gleich. Es gibt also keine unterschiedliche Anzahl von leichteren oder schweren Teilchen.
- In einem scheinbar luftleeren Ballon ist so viel Luft, dass die darin enthaltene Luftmenge bzw. ihre kinetische Energie bei der jeweilig herrschenden Temperatur dem atmosphärischen Druck entspricht. Bläht man einen Behälter (Luftballon, Papiertüte usw.) auf, denn merkt man, wie man gegen den atmosphärischen Druck pusten muss.
- In einem Behälter bewegen sich Gasteilchen in sämtliche Raumrichtungen und übertragen auf die Wände des Gefäßes gleichmäßig die kinetische Energie (der Luftballon bläht sich entsprechend seiner Form auf)
- In Höhenlagen fühlt sich Luft kühler an, weil die Luftdichte mit der Höhe aufgrund verminderter Erdanziehung abnimmt. Es gibt also weniger Luftteilchen in den Bergen als am Meeresspiegel, die Sonnenenergie aufnehmen und auf den Körper als Wärme übertragen können.

Es dürfte einleuchten, dass die Interpretationen eines Experiments von dem Wissen geprägt werden, das die Schülerinnen und Schüler bereits erworben haben. Die oben erwähnten Zusammenhänge sind den Schülerinnen und Schülern noch nicht zugänglich. Sie hatten Spaß beim Experimentieren und konnten sich durch eine intensive Betreuung ermutigt fühlen, konkrete Bilder in abstrakten bzw. in mikroskopischen Dimensionen zu betrachten. Sie haben auf der Grundlage ihres vorhandenen Wissens nach Erklärungen gesucht. Dies ist erstaunlich genug, denn die Frage wurde ihnen gestellt, weil die Lehrpläne dies so vorschreiben („Schüler sollen Eigenschaften von Luft kennenlernen“, Auszug aus Lehrplan Hessen und Baden-Württemberg). Vermutlich hätten sie erheblich kreativer mitarbeiten können, wenn es sich um eine Forschungsaufgabe gehandelt hätte, auf die sie selber gekommen wären. Dennoch bleibt die Frage, welche neue Erfahrungen die Schülerinnen und Schüler mit dem Wissen, dass die warme Luft nach oben geht, machen könnten? Denn diese Erkenntnis wird ja nicht weiterverfolgt und herangezogen, um neue Zusammenhänge zu entdecken.

Eine Sache, die man nicht wirklich verstanden hat, taugt nicht, um neue Erfahrungen zu vermitteln. Insgesamt scheinen mir derartige experimentelle Belehrungen weder für die Grundschule noch für Kindergärten in irgendeiner Weise sinnvoll. Sie sind bestens geeignet, den Vorgang des Verstehens, die unbefangene Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, Theorien und Hypothesen zu bilden, im Keime zu ersticken. Jeder Jugendliche besitzt genügend Erfahrung und intellektuelles Potenzial, um sich ausgehend von konkretem Alltagsverständnis in die mikroskopischen Abstraktionen hineinzudenken. Damit dieses Potenzial sich entfalten kann, brauchen die Kinder eine gezielte Förderung ihrer Denkprozesse. Es gibt keine genetisch verankerten Dispositionen, nur eine spezifische Art des Denkens erwerben zu können; also nur Zugang zu den mathematischen Zusammenhängen zu finden, jedoch nicht zum Erlernen einer Sprache.

Einfachheitshalber könnte man in diesem Kontext die Energieverteilung der Teilchen vernachlässigen. Weiterführende Informationen hierzu sind zum Beispiel in den drei Bänden von Leonard De Vries zu finden (The Book of Experiments, John Murry Verlag, 1958).

3.2 Wie Kinder darin gehindert werden, die Bewusstwerdung ihres Weltwissens zu erlangen

Um zu beweisen, dass Luft Masse hat, wird folgendes Experiment durchgeführt: Ein leeres Glas, in dem sich ein Stück Papier befindet, wird in eine Wasserwanne eingetaucht.

Hier beispielhaft eine Erklärung der Kinder:

Versuch 1:
Ist das Glas leer? Was vermutet ihr?
Das Papier wird nicht nass.

Arbeitsanweisung:
Zerknüllt das Schmierpapier und steckt es tief in das Glas! Füllt das große Gefäß mit Wasser. Drückt anschließend das Glas falsch herum und schnell in das große, mit Wasser gefüllte Gefäß! Nehmt das Glas wieder aus dem Gefäß!

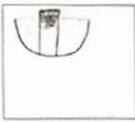
Zeichnung des Versuches:  **Was ist passiert:**
Das Papier wurde nicht nass weil fast das ganze Glas mit Luft gefüllt war: die Luft war so stark das sie es verdrängte halt, und das wenige Wasser was rein konnte konnte drinhalten sein weil ein wenig Luft raus konnte.

Abbildung 19:
Schülerprotokoll, was mit dem Stück Papier im leeren Glas geschieht, wenn es kopfüber in eine Wasserwanne eingetaucht wird

Versuch 2:
Arbeitsanweisung:
Nun drückt das Glas schräg in das große, mit Wasser gefüllte Gefäß! Nehmt es anschließend wieder heraus!

Zeichnung des Versuches:  **Was ist passiert:**
Als das Glas schräg in das Gefäß gelegt wurde ließ das ganze Glas fast ganz mit Wasser voll: weil die Luft oben entweichen konnte.

Ergebnis von Versuch 1 und 2:
Bei dem ersten Versuch drückte das die Luft das Wasser regelrecht mit voller Kraft nach unten deshalb wurde das Papier nicht nass beim zweiten Versuch konnte die Luft entweichen nach außen.

Abbildung 20:
Schülerprotokoll, was mit dem Stück Papier im Glas geschieht, wenn das Glas schräg in das Gefäß mit Wasser gedrückt wird

Dieser Versuch wird von Grundschulkindern fast immer ähnlich, wie oben im Protokoll beschrieben, erklärt bzw. verstanden. Ihre Interpretationen lassen erkennen, dass sie der Meinung sind, dass die Luft im Glas so stark ist, dass das Wasser nicht in das Glas hineingelangen kann. Dabei herrscht im Glas der Luftdruck. Diesen Sachverhalt können Grundschülerinnen und -schüler

schwer verstehen, und Kindergartenkinder können dieses Experiment nicht deuten. Dabei soll dieser Versuch den Kindern verdeutlichen, dass Luft tatsächlich eine Substanz bzw. Masse besitzt. Dies wissen die Kinder allerdings ohnehin und werden (siehe unten) durch diesen Versuch nur noch verunsichert bzw. zur Bildung von Fehlvorstellungen animiert.

4. Empfehlungen zu Angeboten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

4.1 Bemerkungen zu den Versuchen zum Themenschwerpunkt „Luft“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Wenn wir über das Verhalten von Luft sprechen, dann sprechen wir über den gasförmigen Zustand der Materie. Kinder sind mit dem Begriff „Luft“ vertraut, weniger jedoch mit „Gas“. Mit kleinen Kindern kann man also durchaus über Luft sprechen, und man lernt dann, dass sie in der Lage sind, damit unterschiedliche Beobachtungen zu beschreiben. Ähnliches berichtet auch Jean Piaget (1928) in seinem Buch „The Child’s Conception of the World“. Will man den Kindern die Eigenschaften von Luft experimentell näher bringen, dann wird ein Verstehen nur dann erreicht, wenn Kinder mit einigen grundlegenden physikalischen Begriffen vertraut sind. Hierzu zählen beispielsweise: Menge, Volumen, Masse, Druck, Temperatur. Alle vorliegenden Versuche beinhalten all diese Dimensionen der Physik. Können Kindergartenkinder diese Dimensionen verstehen?

Wissenschaftliche Studien (vgl. Sere, 1982) zeigen, dass Kinder unter 11 Jahren in der Regel die Luft als etwas begreifen, das da ist, das man nicht sehen und nicht anfassen kann. Ab elf Jahren existiert die Luft als etwas Substantielles. Auf die Frage „Enthält ein offenes Gefäß Luft?“ antworten 83% der 11-12-Jährigen mit einem „Ja“. Diese Kinder werden unsicher, wenn man fragt, ob in einem leeren Reifen auch Luft vorhanden sei. Für sie ist alle Luft zischend aus dem Reifen entwichen. Kinder wissen auch, dass die Luft sich bewegt, auch andere Gegenstände bewegen kann und durch kleinste Öffnungen hindurch kann. Implizit denken sie auch, dass von Natur aus die Luft warm und kalt sein kann. Sie begreifen die Luft als etwas Lebendiges. Die Kategorien „Luftdruck“ oder „Ausdehnung“ sind Kindern weniger zugänglich. Dass Wissen darüber, dass Luft „etwas“ sei, bedeutet jedoch nicht, dass damit auch verstanden wird, dass die Menge und Masse der Luft in jeder Transformation erhalten bleiben. Fast alle Kinder im Alter von 11-12 Jahren meinen auch, dass man Luft nicht künstlich erhitzen könne. Selbst, wenn sie erfahren, dass Luft heißer gemacht werden kann, verbinden sie damit nicht, dass sich dadurch die Eigenschaften der Luft verändern; dann wird sie eben wärmer. Verbindet man Temperatur mit der Menge, dann meinen die Kinder, dass die erhitzte Luft leichter sei. Dass in einem verschlossenen Gefäß die Luft einen Druck (besser „Kraft“) ausübt, und bei erhöhter Temperatur der Druck steigt, können sich die Kinder nicht vorstellen. Den Begriff „Kraft“ assoziieren

sie Kinder stets mit bewegter Luft (Sturm, Orkan usw.). Eine typische Antwort in diesem Zusammenhang lautet: „Wenn man das Gefäß mit der Luft verschließt, dann kann sie sich nicht frei bewegen, weil sie wie ein Gefangener eingesperrt ist, der Druck wird daher sinken.“

Bei allen vorliegenden Versuchen der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ zum Thema Luft⁸ fällt auf, dass gerade die oben erwähnten Kategorien präsent sind. Der Rückgriff auf all diese Begriffe ist versuchsimmanent. Hierzu einige Beispiele:

Phänomen: Luft ist nicht nichts.

„Luftabfüllstation oder die Luft sichtbar machen“ – *Experiment Nr. 1:*

Es gibt viele Kinder, die nie von der Lunge gehört haben und schon gar nicht, dass sie Luft enthält. Selbst wenn man mit ihnen vorher darüber ein Gespräch führen würde, müsste man erst verständlich machen, dass das Ein- und Ausatmen mit dem Bau der Lunge zusammenhängt. In der Lunge werden beim Ein- und Ausatmen kontinuierlich die Druck- und Volumenverhältnisse verändert. Auch die Kategorie Volumen (Menge Luft in der Lunge) ist den Kindern nicht zugänglich. Das Experiment korrespondiert auch nicht mit den Versuchen, die als Fortsetzung konzipiert sind. Kinder können nicht wissen, dass das Wasser im Glas durch den Aussendruck darin verhindert wird, in das Becken zu laufen. Ebenso können sie nicht verstehen, dass beim Pusten in das Glas die leichtere Luft aufsteigt, selber Raum beansprucht und folglich das Wasser hinausdrängt. Selbst wenn die Kinder diese schwierigen Sachverhalte irgendwie begreifen können, bleibt die Frage offen, welche konkreten Kompetenzen sie dadurch erwerben können. Auch die Erklärung (leeres Glas unter Wasser), dass Luft nur senkrecht aufsteigen kann, ist missverständlich. Der eigentliche Grund ist der atmosphärische Druck. Die Schräghaltung des Glases kann ebenso zu der Vorstellung führen, dass die Luft nur „schräg“ hinausgehen kann. Luft kann sich in alle Raumrichtungen ausdehnen. Durch das Schräghalten des Glases ermöglicht man, dass das schwerere Wasser ins Glas laufen kann, wobei die leichtere Luft hinausgelangen kann.

„Flaschentaucherglocke und Seifenblasenmaschine“ – *Experiment Nr. 2:*

Auch dieser Versuch steckt aus den besagten Gründen voller Rätsel für die Kinder (vgl. Experiment Nr.1). Unklar bleibt auch hier, ob das Wasser sich gegen die Erdanziehung nach oben bewegt oder von der Luft nach oben gedrückt wird. Ferner können Kinder durchaus fragen, warum das Wasser nur ein wenig hinaufsteigt und nicht die ganze Flasche füllt. Dass die Versuche Spaß machen, ist klar, doch Spaß können auch eine ganze Reihe von anderen Versuchen bereiten. Gemessen am Kriterium „Spaß“ wäre also gleichgültig und beliebig, welchen Versuch man den Kindern anbietet.

⁸Kartensatz „Luft“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2008.

Phänomen: Luft bewegt.

„Ein kleiner Wind weht durchs Zimmer“ – *Experiment Nr.1:*

Mit dem Papierkarton werden Gegenstände bewegt. Kinder können nicht verstehen, weshalb die Luft im Karton erst durch das Verringern des Volumens des Kartons hinausgeht. Sie sagen zwar, dass die Luft aus dem Karton geht, doch dies bedeutet nicht, dass sie wirklich meinen, im Karton befände sich tatsächlich Luft. Denn Kinder in diesem Alter meinen in der Regel, dass in einem Raum keine Luft vorhanden sei. Man müsse erst die Fenster aufmachen, damit sie hinein kommen könne. Ich habe dieses Experiment in einer Kita wiederholt, und kein Kind konnte sagen, weshalb der Tischtennisball bewegt wird. Erst als ich sagte, ob vielleicht die Luft den Ball bewegt, bejahten einige Kinder meine Vermutung. Fast alle Kinder wollten immer wieder gegen den Papierfächer schlagen. Offensichtlich waren sie von dem erzielten Effekt fasziniert.

4.2 Alternative zum Phänomen „Luft bewegt“

Protokoll der Experimente und Gespräche mit Dr. Salman Ansari
und den Kindern

10 drei- bis sechsjährige Kinder der Kita in Offenbach, eine Stunde

Die übergroße Mehrheit der Kinder hat Eltern, die nicht aus Deutschland stammen.

Dr. Ansari (E. = Erwachsener) stellt sich als Salman vor und sagt auf Nachfrage, dass er in Indien geboren wurde, aber seit langem in Deutschland lebt.

Dann fragt er jedes einzelne Kind nach seinem Namen.

Ist die Antwort unverständlich, fragt er nach, bis der Name klar ist. Er wiederholt jeden Namen.

E. „Heute wollen wir über LUFT sprechen.“

Mit dieser Ankündigung beginnt die Veranstaltung tatsächlich als „Gespräch über Luft“. Der Verlauf des Gespräches wird zwar moderiert und geleitet, aber der Gesprächsverlauf hängt doch davon ab, was die Kinder sagen.

E. „Was meint ihr, ist Luft hier im Raum?“

Viele Kinder haben eine Meinung zu dieser Frage und möchten sie am liebsten spontan mitteilen.

Dr. Ansari moderiert die Runde. Stellt fest, wer etwas beitragen möchte und in welcher Reihenfolge sich die Kinder gemeldet haben.

K. „Wenn man das Fenster aufmacht, kommt Luft rein.“

K. „Sauerstoff“

E. „Ok. Aber was ist Sauerstoff?“

E. „Du musst auch noch gar nicht wissen, was Sauerstoff ist.“

E. „Habt ihr schon mal gesehen, wie die Vögel fliegen?“

„Was machen die denn da mit den Flügeln? Zeig mal, wie sie fliegen: das sind unsere Flügel (benutzt stattdessen die Arme).“

Die ganze Gruppe hebt und senkt die seitlich ausgestreckten Arme, als wollten sie fliegen.

E. „Warum machen die das, ich würde gerne wissen, wozu das gut ist.“

K. „Die fliegen, da ist Luft.“

E. „Bewegen die die Luft denn, wenn sie so („fliegt“)machen?“

K. „Ja.“

E. „Also schauen wir mal, ob wir hier auch die Luft bewegen können. Wie wollen wir das machen?“

Nimmt einen Pappteller in jede Hand und erklärt sie zu seinen Flügeln. Gibt an jedes Kind ein paar Pappteller aus. Die Kinder helfen bereitwillig, die Teller aus- und weiterzugeben. E. bemerkt und lobt das. Ermuntert dazu, es zu tun.

K. „Das ist genau wie beim Schwimmen“.

E. Da sprechen wir drüber, das würde mich sehr interessieren, warum das genau so ist wie beim Schwimmen.“

Das Austeilen der Teller geht weiter, der Faden geht wieder verloren:

E. „So, wie kann man nun die Luft bewegen mit diesen Dingen? Mach mal vor.“

Alle Kinder wedeln mit ihren Tellern und können den Luftzug spüren.

E. fordert die Kinder dazu auf, das Mobile aus Holz und Papierfiguren über dem Tisch, um den herum man sitzt, durch das Luftfächeln mit den Tellern zu bewegen.

Alle Kinder wedeln Luft dorthin und versetzen das Mobile in starke Bewegungen.

E. vergewissert sich durch Nachfragen, ob jetzt alle gemerkt hätten, dass Luft im Raum ist.

Alle Kinder sind überzeugt.

Erneute Nachfrage, wie man die Luft spüren kann und der Vorschlag den Zeigefinger kurz unterhalb der Nase zu halten und kräftig ein und aus zu atmen.

K. „Die Luft spürt man, wenn es kalt ist und dann die Haare so hoch gehen.“

E. „Kann man sehen, dass draußen Luft ist? Schau mal aus dem Fenster.“

K. „Nein, das kann man nicht sehen.“

E. „Wann kann man es sehen?“

K. „Wenn die Bäume wackeln und wenn die Blätter runter fallen.“

E. „Was bewegt die Luft noch? Habt ihr mal ein Segelschiff gesehen? Erzähl mal, wie funktioniert das.“

K. „Wenn die Luft in die Segel kommt, fährt das Schiff los.“

E. „Erzählt mir jemand noch, wo er gesehen hat, wie Luft etwas trägt oder bewegt. Habt ihr mal Drachenflieger gesehen?“

Die Kinder beschreiben Drachenflieger, so gut sie können und kommen darauf, dass die Luft das Segel in der Luft hält.

E. „Jetzt wollen wir Luft hören, mit einer ganz einfachen Methode, vielleicht kennt ihr das auch? Ich gebe euch jetzt allen einen Luftballon.“

Teilt Luftballone aus, jedem Kind einen. Alle Kinder blasen ihre Ballons auf und halten sie zu und fest.

Auf ein Zeichen: 1, 2, 3, lassen alle Kinder ihre Ballons los.

Alle zischen nach oben ab.

E. schlägt vor, das Ganze zu wiederholen, jetzt aber die Luftballons andersherum (Öffnung nach oben) zu halten.

E. moderiert erneut. Fordert zu Geduld auf und darauf zu warten, bis alle ihre Ballons gefüllt haben.

Auf das Zeichen 1, 2, 3, von E. lassen alle Kinder ihre Ballons nach oben los.

Die entstandene, allgemeine Unruhe besänftigt E., indem er die Kinder bittet still zu sitzen, die Handflächen auf die Knie zu legen, die Augen zu schließen und zu schweigen, bis er das Zeichen gibt, die Augen wieder zu öffnen.

Dieser Vorschlag wird sehr gerne angenommen, und es kehrt völlige Stille ein.

Nachher fragt E. nach, ob es gut getan habe und die Kinder bejahen.

E. fragt, was die Kinder während der Stille gehört haben.

Ein Kind berichtet, seine Atmung gehört zu haben.

E. „So jetzt möchte ich aber doch mal wissen, das habe ich nicht verstanden: wenn man den Luftballon so rum (hält die Öffnung nach unten) hält und los lässt, wohin fliegt er dann?“

K. „Nach oben!“

E. „Und wenn ich ihn so rum halte (hält die Öffnung nach oben), wohin fliegt er dann?“

K. „Nach unten!“

E. „Kann mir jemand erzählen, warum das so ist?“

K. „Wie ne Rakete fliegt er dann.“

E. „Natürlich, wie bei einer Rakete, da kommt ja unten auch was raus.“

K. „Da ist ein Stoß.“

E. „Ihr habt ja die Luftpumpe gesehen, mit der ihr die Ballons aufgepumpt habt, ist da ein Lufttank drin? Was ist da los, wieso kann man damit Luft in die Ballons reinpumpen? Hat jemand eine Idee, wer erzählt mir das?“

Stellt die Reihenfolge der Meldungen fest.

Die Kinder kommen dahinter, dass die Luft durch die Löcher am Boden der Pumpe einströmt.

E. „Und wie kann man das überprüfen? Wer hat eine Idee, wie man prüfen kann, ob die Luft wirklich durch diese Löcher in die Pumpe kommt?“

K. „Man kann die Löcher zuhalten.“

Alle überzeugen sich davon, dass es viel schwerer und nur ein bisschen geht, wenn man die Löcher zu hält.

E. stellt wieder die Frage, wie man Luft sehen kann.

Ein Kind schlägt „Nebel“ vor.

E. stellt die Frage, ob Nebel Wasser oder Luft sei und wann man den Nebel sieht: wenn es heiß sei oder kalt.

Die Kinder wissen, dass der Nebel mit Kälte verbunden ist.

E. fragt, ob Nebel Luft sei und ob man vom Nebel nass werden könne.

Die Kinder verneinen beides.

Die Kinder werden aufgefordert, einen Wassertropfen auf die Tischoberfläche zu setzen und darauf zu pusten. Der Tropfen verschwindet.

Ein Kind meint, Nebel sei Wolken.

E. „Was sind Wolken?“

Die Meinungen darüber gehen stark auseinander. Ein Kind meint, Wolken machen Regen.

E. versucht, durch Fragen herauszubekommen, ob sie meinen, dass es nur regnet, wenn es kalt ist. Die Kinder haben jedoch keine Erklärung dafür.

E. geht weiter: Er macht vor, wie er mit einer Nähnadel ein kleines Loch in einen Luftballon sticht.

E. „Wie kann ich nun dieses winzige, unsichtbare Loch in dem großen Ballon wiederfinden?“

K. „Mit der Hand kann ich das spüren.“

E. gibt ihr den Ballon und bittet: „Kannst du mir das zeigen?“

Das Kind nimmt den Ballon und versucht, das Löchlein zu ertasten.

Ein anderes Mädchen schlägt vor, den Ballon aufzublasen, weil die Luft dann an dem Löchlein wieder raus geht.

Man beschließt, gemeinsam die leeren Ballons anzustechen, aufzublasen und mit der Hand den Strom der entweichenden Luft zu spüren.

E. „Wer hat noch keinen gelochten Luftballon?“

Mittlerweile lauschen die ersten Kinder bereits der aus dem Löchlein zischend aus ihren Ballons entweichenden Luft.

*Andere Ballons zerplatzen. Es herrscht lautstarker, hoch konzentrierter Arbeits-
trubel.*

*E. kündigt an, dass jetzt alle Wasser bekommen und fragt, ob jeder eine Wasser-
schale haben möchte, um das Löchlein zu sehen.*

Allgemeine begeisterte Zustimmung.

*Bald steht vor jedem Kind eine mit Wasser gefüllte Schale. Die Kinder pumpen
bereits wieder ihre gelochten Ballone auf. Die ersten tauchen schon ihre Ballone
ins Wasser und beobachten die aus dem Wasser an der Stelle des Lecks im Ballon
aufsteigenden Luftblasen.*

Das nächste Experiment dient nochmals der Sichtbarmachung von Luft:
Die Kinder pusten Luft schräg über die Oberfläche des Wassers in den Schalen
vor sich und beobachten die entstehenden Wellen.

Nächster Versuch:

Die Raumluft in das Wasser hinein holen.

*Dazu wird mit den Fingern in dem Wasser hin und her gewackelt. Man sieht die
entweichenden Luftbläschen.*

Alle Kinder trocknen anschließend Tisch und Boden.

*E. bedankt sich bei allen Kindern ausdrücklich für die gute Arbeit, erklärt ihnen,
dass sie alle kluge Kinder seien und dass es ihm viel Spaß gemacht habe, mit
ihnen zu forschen.*

Wiederholung mit der Klasse 4

Wie die gleiche Thematik auf einer höheren kognitiven Ebene sich entwickeln
kann.

Vierte Klasse, 18 Kinder, weniger als 1 Stunde

Unplanmäßig und in ein kleines Zeitfenster wird der Besuch einer vierten
Klasse eingeschoben.

*E. schlägt ein Gespräch über LUFT vor. Er fragt, ob Luft mit den Kindern im
Raum sei. Die Kinder bringen sofort das Stichwort Sauerstoff und Atmung, ohne
das aber verstanden zu haben.*

E. sagt, die Menschheit hätte Jahrhunderte gebraucht, um diese Frage zu beantworten. Sie brauchten also kein Problem damit zu haben, diese Frage nicht spontan beantworten zu können.

K. „Ohne Luft würden wir ersticken.“

K. „Luft ist auch Energie.“

(Gespräch über Windräder)

E. fragt, was Luft noch alles bewegen kann.

Die Kinder zählen auf:

Blätter, das Mobile über dem Tisch, (alle Kinder pusten), die Haare, eine Mühle/ Windmühle, (Gespräch über Getreidekörner, mahlen, Mehl, Brot. Alle Kinder tragen etwas zur Erklärung der Funktionsweise der Mühle bei. Die Einzelteile werden benannt: Mühlstein, Flügel, Achsen), Wasser, Drachen, ein „Schiff-Wettrennen, (es folgt ein Gespräch über Segelschiffe/Segelschiffahrt. Die Kinder benennen Einzelteile der Schiffe: Segel, Mast, Mastkorb, Fernrohr, Steuer), Surfboard (mit Segel und ohne).

E. fragt: „Wie würdest du (jedes einzelne Kind fühlt sich von diesem „du“ angesprochen) jemandem klar machen, dass hier, im Raum Luft ist. Was würdest du machen, wenn dein kleiner Bruder sagen würde, dass hier im Raum keine Luft ist?“

K. „Ich würde ihn anpusten.“

Alle Kinder atmen tief ein und aus. Jetzt halten sie dabei ihre Zeigefinger unter die Nase.

E. schlägt den Kindern das erste Experiment vor:

Alle verfügbaren Plastikflaschen werden geleert. Alle Kinder helfen eifrig.

Die Flaschen werden alle verschlossen und vor den Kindern auf den Tisch gestellt.

Das erste Kind stellt fest, dass man die verschlossene Flasche nur sehr schwer zusammen drücken kann und meint, wenn sie offen wäre, könne man sie ganz leicht zusammen drücken.

Alle Kinder versuchen ihre verschlossenen Flaschen zusammenzudrücken – ohne Erfolg.

Jetzt werden die Flaschen aufgeschraubt und mit großer Freude zerdrückt.

Das Kind, welches den Sachverhalt benannt hat, erhält ein dickes Lob. Es hat E. und die Kinder restlos davon überzeugt, dass Luft im Raum ist.

Ein anderes Kind schlägt vor, Wasser in die Flasche zu füllen und ein Löchlein in den Boden zu stechen, so dass das Wasser herausfließt. Dann schnell den Deckel

draufschauben und den Wasserverlust stoppen.

E. fragt durch diesen Vorschlag angeregt nach, wie viele Löcher man in eine Kondenzmilchdose sticht, damit Milch herausfließt.

K. „Weil, wenn man nur ein Loch macht, kann nicht Luft rein und die Milch kann nicht schneller raus kommen, aber wenn man zwei Löcher rein macht, kann die Luft von hier rein und dann kommt hier die Milch raus.“

K. „Damit Luftdruck rein kommt.“

E. „Wie ist das mit der Luft, drückt sie die Milch raus?“

Alle bejahen.

E. fragt weiter, wie das mit einem Strohhalm ist: Braucht man auch zwei Löcher?

Alle Kinder verneinen.

E. „Wieso denn das?“

K. „Weil, oben ist ja der Becher offen.“

E. „Stell dir vor, du machst nur ein ganz kleines Loch, nur gerade so groß, dass der Strohhalm rein passt. Könntest du dann etwas raus saugen?“

K. „Wenn man an dem Strohhalm saugt, wird er dünn und es kommt nichts mehr raus.“

Die Kinder vermuten mehrheitlich (Handzeichen), dass die Luft beim Saugen am Strohhalm die Flüssigkeit hoch drückt.

E. fragt: „Kann es sein, dass die Luft die Flüssigkeit hoch drückt?“

Um an einem weiteren Beispiel zu veranschaulichen, dass Luft in der Lage ist, etwas hoch zu drücken, fragt E. nach den Badewannentieren – Hohlkörpern – die die Kinder früher mit in der Wanne hatten.

E. „Was passiert, wenn man die leeren Tiere unter Wasser drückt?“

Die Kinder wissen, dass das hohle – mit Luft gefüllte – Gummitiere von der Luft an die Wasseroberfläche gedrückt wird.

Sie vollziehen diese Erinnerung nach, indem sie eine mit Luft gefüllte und fest verschlossene Flasche versuchen, unter das Wasser in den Schalen auf dem Tisch zu drücken. Die in den Flaschen eingeschlossene Luft machen sie anschließend sichtbar, indem sie die Flaschen aufschrauben und ohne Deckel langsam, hori-

zontal in das Wasser legen. An der Flaschenmündung beobachten sie die Blasen der aus der Flasche austretenden Luft. Eine Flasche mit einer kleinen Öffnung zeigt diese Blasen besser als eine mit einer großen.

Eifrig und begeistert hantieren die Kinder mit Wanne, Wasserkanne und leeren Flaschen. Beim selbstständigen Herausnehmen der unter Luftaustritt mit Wasser voll -gelaufenen Flaschen zeigt sich einigen Kindern, dass die Flasche, wenn sie sie senkrecht, Öffnung nach unten, aus dem Wasserbecken nehmen, eine Wasserfüllung beibehält, deren Spiegel wesentlich über dem Wasserspiegel in dem umgebenden Becken liegt, ohne dass das Wasser aus der Flasche heraus- fließt.

E. „Wie kriegen wir denn jetzt das Wasser aus der Flasche, ohne die Flasche ganz aus dem Wasser zu heben?“

Ein Kind schlägt vor, in den Flaschenboden ein Loch zu bohren.

E. möchte kein Loch bohren.

E. fragt nach Strohhalmen.

Es werden Strohhalme gebracht. Mit deren Hilfe soll nun das Wasser, das in den Flaschen steht, herausgeholt werden.

Ein Kind schlägt vor, das Wasser herauszusaugen, herauszutrinken.

E. meint, das Trinken sei auch nicht erlaubt, und man müsse das Wasser aus den Flaschen auch anders heraus bekommen.

Einige Kinder platzieren jetzt die Strohhalme unter dem Mündungsrand der Flaschen hindurch und in die Wasserfüllung der Flaschen hinein.

Sobald sie mit dem Strohalm über den Wasserspiegel der Flaschenfüllung herausragen, läuft das Wasser aus den Flaschen ab. Die Kinder sehen wieder, dass der Druck der Luft die Flüssigkeit aus der Flasche drückt.

Nach einer kurzen Phase der absoluten Stille, von der die Kinder auf Nachfrage bestätigen, dass sie ihnen gut getan habe, versuchen alle durch heftiges Umrühren des Wassers Luft in das Wasser hineinzubekommen.

Die aus dem Wasser aufsteigenden Luftblasen machen den Erfolg des Versuchs, Luft in das Wasser zu bringen, augenfällig.

E. „Warum kommen die Luftblasen aus dem Wasser, warum bleiben sie denn nicht da drin, wer kann mir das erklären?“

Ein Kind meint der „Wind“ über der Wasseroberfläche nähme die Luftbläschen weg.

Ein Kind meint, dass das so in der Natur wäre, dass die platzen.

Dann erklärt das Kind, die Luft ginge nach oben weg. Ein anderes Kind erklärt, die Luft sei leichter als Wasser und steige deshalb nach oben.

E. bestätigt diese Erklärung und zeigt sich beeindruckt und zufrieden.

Als nächstes stellt E. fest, dass die Kinder ja mit einem Tuch sehr schön die Tische abgetrocknet hätten und möchte nun von den Kindern wissen, ob man auch mit der Haut der Hand das Wasser aufsaugen könne.

Die Kinder sind sich einig, dass das unmöglich ist.

E. schlägt zur Veranschaulichung vor, dass sich alle Kinder einige Wassertropfen auf die Haut setzen (wie das geht, wissen die Kinder ja inzwischen).
Ende der Veranstaltung

4.3 Alternative zum Phänomen „Luft ist nicht nichts“

Ich habe immer wieder die Erfahrung gemacht, dass Kinder sehr viel über die Luft wissen. Dies erfährt man jedoch nur, wenn man mit ihnen ein Gespräch auf einer Augenhöhe führt. Das Lernen bei Kindern sollte immer ein dialogischer Prozess sein, was in meisten Fällen zu wenig berücksichtigt wird.

Folgendes Beispiel möge diesen Gesichtspunkt näher erläutern:

Vor Kurzem wurde ich von Erzieherinnen eingeladen, im Kindergarten den Kindern die Eigenschaften von Luft näher zu bringen. Ich denke, dass sie bereits sehr viel über die Luft wissen. Ich weiß auch, dass Kinder von sich aus kaum über die Eigenschaften von Luft nachdenken oder Fragen zu dieser Thematik stellen, weil die Beschreibung der Eigenschaft von Stoffen sich ihnen nicht als ein Problem anbietet.

Ich habe mir einige Tage vorher überlegt, wie ich vorgehen möchte. Als Ausgangsphase werde ich den Kindern eine Episode aus dem Buch „Pu der Bär“ vorlesen, beginnend mit dem Satz „Eines Tages, als er im Wald herumspazierte, kam er zu einer Lichtung“⁹.

In dieser Geschichte gelingt es Pu, mit Hilfe eines Luftballons hoch hinaufzusteigen. Später schafft es Christopher Robin, der Held der Geschichte im Vorschulalter, in den Ballon ein kleines Loch hineinzuschießen, sodass die Luft aus dem Ballon langsam entweichen kann und Pu unverletzt herunter befördert wird.

In der Regel wird die Geschichte von den Kindern als logisch und durchaus reell empfunden. Nun wissen aber Kinder auch, dass ein mit Luft gefüllter Bal-

⁹S. 13-23 in Salman Ansari. Schule des Staunens, *Forschen und entdecken mit Kindern*. Wissenschaft Akademischer Verlag (Springer Verlag), Heidelberg.

Ion kaum hochsteigen kann. Sollte es hier zum Widerspruch kommen, dann werde ich die Kinder um Geduld bitten, bis wir es herausgefunden haben, welches Gas Luftballons enthalten, die beim Loslassen schnell hinauffliegen. Viele Kinder werden auch beobachtet haben (Kirmes), wie in den Luftballon ein Gas aus einer Flasche gefüllt wird. Ebenso wird ihnen bekannt sein, dass aus einem undichten Reifen oder einem Luftballon Luft mit einem zischenden Geräusch schlagartig hinausströmt. Ich werde mit ihnen auch darüber sprechen, dass Pu hinabgesegelt kommt, nachdem ein Loch in den Ballon entstanden ist, und ob das überhaupt sein kann. Ich werde auch wissen wollen, ob die Blätter eines Baumes sich von sich aus bewegen oder vielmehr von der Luft bewegt werden. Wir werden gemeinsam überlegen, ob der Wind und die Luft zwei verschiedene Sachen seien. Da Kinder vermutlich einige Geräte wie zum Beispiel Fön oder Wäschetrockner kennen werden, wird dies auch besprochen werden. Begriffe wie „feuchte und trockene Luft“ werden dabei sicher eine Rolle spielen. Kinder werden vermutlich wissen, dass nasse Kleider an der Luft wieder trocken werden. Ich werde sie fragen, warum man manchmal von der „frischen Luft“ spricht. Gibt es vielleicht auch „unfrische Luft“ usw.

Das zentrale Ziel wird dabei sein, den Kindern Anregungen zu geben, damit sie sich an erlebte Bilder, die Erfahrungen mit der Luft beinhalten, erinnern und sprechen können. Den Prozess dieser Bewusstwerdung werde ich mit Hilfe von einfachen Versuchen vorantreiben, damit die Kinder immer wieder die Möglichkeit erhalten, eigene Vorstellungen darzulegen. Wie weit dieser Prozess voranschreitet, hängt natürlich davon ab, wie gut es mir gelingen wird, selber Fragen zu stellen und neue Fragestellungen anzuregen.

Mit folgenden Fragen, Anregungen werde ich beginnen:

- Wieso kann Pu hinauffliegen?
- Wiegt Pu wenig oder viel?
- Warum musste Christoph Robin ein Loch in den Luftballon schießen? Was wäre geschehen, wenn die ganze Luft mit einem Schlag aus dem Ballon entwichen wäre?

I. Versuche hierzu:

Geräte: Luftpumpen (Spielwarengeschäft), durchsichtige Plastiktüten und Luftballons, die unterschiedliche Formen annehmen können, Plastikwanne, Bindfaden, Lineal, große Plastikspritzen, Sand und andere feste Gegenstände, Wasser, großer Ball (geeignet für gymnastische Übungen), leere Plastikflaschen, Plastikspritze.

In der Grundschule:

Fragen, die ich implizit hierzu habe und zum Gegenstand meines Vorgehens mache, sind unter anderem:

- Was ist wohl eine Luftpumpe? Wozu braucht man sie?
- Enthält die Luftpumpe drinnen eine Art Lufttank? Wie kommt die Luft in die Luftpumpe hinein?
- Muss man unbedingt den Autoreifen, Fahrradreifen wechseln, wenn man einen Platten hat?

- Gibt es außer Reifen noch andere Sachen, die eingesperrte Luft enthalten?
- Wie kann man feststellen, ob ein Fahrradreifen ein Loch hat
- Was geschieht, wenn man die Öffnung einer leeren Plastikflasche ins Wasser taucht oder die Flasche kräftig zusammendrückt?

Eine Luftpumpe aus Plastik werde ich den Kindern zur Verfügung stellen. Damit werden sie kleine Plastiktüten und Luftballons (unterschiedlicher Formung bzw. Figuren) füllen können. Mit Hilfe dieser gefüllten Tüten oder Ballons sollen die Kinder selbstständig Versuche durchführen, die u.a. zu folgenden Erkenntnissen führen könnten:



1. Die Luft nimmt die Gestalt der Ballons und Tüten ein.
2. Hält man den Luftballon ein wenig unter Wasser und gibt die Öffnung ein klein wenig frei, dann bilden sich Bläschen und man vernimmt Geräusche.
3. Mit einer Nadel wird ein Loch im Luftballon erzeugt. Danach wird der Luftballon aufgeblasen und zugebunden unter Wasser (Wassereimer) gehalten. Man kann die Stelle finden, wo sich das Loch befindet.
4. Der Luftballon (zugebunden) oder die Tüte lässt sich zusammendrücken, allerdings weicht die Luft aus und verändert die Form des Behälters.
5. Die in einer Spritze eingeschlossene Luft lässt sich mit viel Kraft etwas zusammendrücken.
6. Mit Sand und Wasser gefüllte Tüten (Luftballons) verhalten sich ganz anders.
7. Füllt man einen Gymnastikball prall mit Luft, dann kann man sich darauf setzen und darauf rollen.
8. Die leere Plastikflasche enthält Luft, weil beim Zusammendrücken Luftbläschen aus dem Wasser steigen, ähnlich wie beim undichten Luftballon.

Zu den gewonnenen Erkenntnissen sollten die Kinder ihre Erklärungen und besondere Beobachtungen artikulieren.

Weitere Experimente:

Das Hochschwimmen und Niedersinken im Meer von Luft

Ich werde verschiedene Ballons oder besser durchsichtige Plastiktüten mit Helium, Luft aus der Lunge, Wasser und Sand füllen (heliumgefüllte Luftballons sind in Spielwarengeschäften erhältlich). Die Ballons bzw. Tüten werde ich so füllen, dass sie einen vergleichbaren Umfang besitzen. Ich werde sie alle gleich hoch halten und gleichzeitig fallen lassen.

Fragen und Beobachtungen der Kinder könnten sein:

- Was ist gleich und was ungleich?
- Welche Luftballons sinken im Meer von Luft, welche schwimmen hoch, welche fallen sofort auf den Boden?

Die Kinder werden von mir drei unterschiedlich große, mit Helium gefüllte Luftballons an einer langen Schnur bekommen und genügend Knete. Ich werde sie dazu ermuntern, diese erst einmal loszulassen. Alle Ballons werden bis zur Decke hochsteigen. Nun werde ich die Kinder auffordern, sich eine Möglichkeit auszudenken, dass die Ballons nicht an der Decke kleben, sondern unterhalb der Decke bleiben. Ich erwarte, dass die Kinder die Bindfäden mit der Knete beschweren und dabei feststellen, dass sie unterschiedliche Mengen Knete für die Ballons brauchen, damit sie nicht die Decke berühren.

Im Kindergarten:

Wie erwartet wussten die Kinder viel über die „Luft“ zu sagen. Es wurde wieder deutlich, wie bereichernd es ist zu erfahren, was Kinder bereits wissen. Alle Kinder waren sofort der Meinung, dass ein Bär mit einem Luftballon nicht hochfliegen könne. Er sei ja schwerer als die Luft. Auch meinten alle Kinder, dass ein Luftballon mit einem Loch sofort die Luft verliert und nicht segelnd hinabgleiten kann. Es gab kein Kind, das Luft als ein „nichts“ bezeichnete. Alle Kinder wussten, dass ein leeres Glas Luft enthält. Nachdem wir die Öffnung eines luftgefüllten Ballon unter Wasser öffneten und die Bläschen blubbernd hinaufstiegen, schlugen die Kinder selbstständig vor, dass man dies auch mit einem leeren Glas machen könne, denn darin sei ja auch Luft. Sie nahmen daraufhin herumstehende leere Plastikflaschen und tauchten sie langsam ins Wasser ein. Als fragte, wie man es verhindern könne, dass ein Heliumballon nicht die Decke berührt, kam sofort der Vorschlag, ihn mit einem Gewicht zu beschweren. Bis auf die ganz kleinen Kinder gelang es allen, die Ballons mit Knete so zu beschweren, dass sie im Raum schwebend blieben. Die Kinder konnten auch feststellen, dass man umso mehr Knete braucht, je größer der Ballon ist, damit er nicht bis zur Decke hinauffliegt. Alle vierjährigen Kinder fanden sehr schnell heraus, dass die Luftpumpe unten Löcher besitzt, hält man diese zu, dann kann sie keine Luft saugen und es wird schwer, den Kolben hochzuziehen. Die Luftpumpe holt die Luft aus dem Zimmer.

Natürlich, wie immer, verlief der tatsächliche Ablauf der Aktivitäten sehr viel anders, als ich es mir vorgestellt hatte. Auch sind mir einige technische Unzulänglichkeiten aufgefallen. Zum Beispiel:

- Kleine Kinder tun sich schwer, einen Luftballon mit dem Mund aufzublasen. Daher lohnt es sich, die Luftballons vorher aufzublasen, sie zu entleeren und dann diese den Kindern zur Verfügung zu stellen. Vielleicht sollte man mehrmals die Luftballons aufblasen, dadurch wird das Gummi lockerer.
- Einige Kinder haben anfänglich Schwierigkeiten, mit der Luftpumpe umzugehen. Diese Kinder brauchen also Zeit, und man soll sie ermuntern, nicht aufzugeben. Hierbei müssen sie Bewegungsabläufe koordinieren lernen. Nötigenfalls sollte ein Kind, das mit der Luftpumpe besser umgehen kann, Hilfen geben.
- Man muss sich vorher davon überzeugen, dass die „Lochbohrung“ mit der Nadel funktioniert hat.
- Man muss möglich große Luftballons mit Helium füllen, damit sie mit Gewicht beladen werden können.

Alle Kinder wissen, dass es windstille Tage gibt. Die Kategorie „windstill“ ist ihnen also vertraut. Man muss mit ihnen besprechen, was an windstillen

Tagen besonders auffällig ist. Kinder wissen auch über die enorme Kraft des Windes zu berichten. „Im Wald fallen Bäume um. Die Dachziegel werden vom Winde weggefegt. Orkan kann sogar große Städte wegfeigen“. Alle Kinder beschreiben, wie man die Luft fühlen, hören und sogar sehen kann („Wenn Luft über stilles Wasser geht, wenn Luft etwas bewegt, dann sieht man sie.“) Implizit wissen Kinder, dass die Luft sich bewegt, eine enorme Kraft entwickeln kann und auch Gewicht hat. Als ich sie fragte, wie ein Segelschiff sich fortbewegt, wissen alle Kinder, dass der Wind die Segel aufbläht und das Schiff bewegt. Wir unterhalten uns über Drachen und Drachenflieger. Einige Kinder nennen auch Segelflugzeuge. Meine Frage, ob Segelflugzeuge auch Segel brauchen, finden alle Kinder zum Lachen. Allerdings können sie nicht erklären, wie ein Segelflugzeug ohne Motoren das Fliegen bewältigt.

4.4 Bemerkungen zu den Versuchen zum Themenschwerpunkt „Wasser“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“



Hier einige Beispiele vorliegender Versuche der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ zum Thema Wasser¹⁰:

Phänomen: Sinken und Schwimmen

„Wasser, Sand und Öl“ – *Experiment Nr. 1*

In diesem Versuch können die Kinder beobachten dass es Stoffe gibt die schwerer sind als Wasser und andere Stoffe, die leichter sind als Wasser und deshalb entweder sinken oder schwimmen. Sand oder Kies sinken im Wasser herab, Öl schwimmt auf Wasser.

„Der tauchende Strohhalm“ – *Experiment Nr. 2*

Kinder, die bereits erste Erfahrungen im Schwimmbad oder am See hinter sich haben, werden wissen, dass sich Gegenstände im Wasser viel leichter anfühlen. Warum ist das so? Warum kann ein U-Boot sowohl schwimmen als auch abtauchen? In dem Experiment „Der tauchende Strohhalm“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ können die Kinder selber Tauchermännchen bauen die sowohl sinken als auch steigen können. Dazu werden die Schenkel eines gekürzten und geknickten Strohhalmes mit einigen Büroklammern verbunden bis der „Taucher“ senkrecht schwimmt. In einer gefüllten Flasche, sinkt der „Taucher“ nun wenn man sie zusammendrückt und steigt wieder hoch, sobald der Druck verringert wird.

¹⁰Kartensatz „Wasser“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2008

Phänomen: Oberflächenspannung

„Der wacklige Wasserberg“ – Experiment Nr. 1

In diesem Experiment der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ benutzen Kinder Pipetten um ein Glas mit Wasser zu füllen bis ein „Wasserberg“ entsteht. Dann können die Kinder diesen „Berg“ mit anderen Dingen aus dem Alltag vergleichen.

„Schwimmende Reißzwecken“ – Experiment Nr. 2

Wer kann die meisten Reißzwecken oder Büroklammern auf eine Wasseroberfläche legen? Wenn man sie sehr vorsichtig auflegt, gehen die Reißzwecken dank der so genannten „Oberflächenspannung“ nicht unter. Die Kinder können nun genau beschreiben, wie man die Reißzwecken auf das Wasser legen muss damit sie nicht untergehen und wie die Wasseroberfläche rings um die Reißzwecken aussieht.

4.5 Alternativen zum Themenschwerpunkt „Wasser“

Beim Thema Wasser „Sinken und Schwimmen“ gehe ich folgendermaßen vor: Kinder bekommen eine Episode (Pu entdeckt den Nordpol) aus „Pu der Bär“ vorgelesen. Danach beschäftigen sie sich mit folgenden Fragen und Vermutungen:

1. Pu rettet Ruh. Können Tiere nicht schwimmen?
2. Ein Gummibärchen geht im Wasser unter, oder?
3. Marianne sagt, sie kann eine Gummiente oder einen Gummiball in die Wasserwanne tauchen und beide bleiben auf dem Boden der Wanne liegen. Muss Pu der Bär sie herausfischen?
4. Alexander sagt, dass er im Wasser seinen Vater auf bloßen Händen tragen kann.
5. Marianne meint, eine Luftmatratze kann man leicht unter Wasser halten.
6. Materialien aus der Küche (Zucker, Salz, Erbsen, Linsen, Sirup, Marmelade, Mehl, Rosinen, Holzlöffel, Teelöffel, usw.) werden auf ihre Schwimmfähigkeit getestet. Ebenso verschiedene Gemüse und Obst.
7. Eine Kugel aus Knete kann nicht schwimmen. Kann man sie so umformen, dass die Knete schwimmt?
8. Können wir so nass werden wie unsere Kleider?
9. Wir machen einen Perlenwald mit Wassertropfen.
10. Wir bilden Tropfen auf unserem Körper, auf Alufolie, auf Glas, auf Papier, auf Watte usw.
11. Wir stellen eine mit Wasser gefüllte Glasflasche in das Tiefkühlfach.
12. Können Tiere ohne Wasser leben?
13. Kann man verschmutztes Wasser reinigen?
14. Warum muss man die Zimmerpflanzen immer wieder begießen, fressen sie das Wasser auf?
15. Kann man mit dem Wasser heiße Steine oder heißen Boden kühlen?

16. Martina sagt, sie braucht sich nach dem Schwimmen nicht abzutrocknen. Die Luft trocknet sie von alleine und sie friert dabei gar nicht.
17. Kann man mit Wasser, einer Heizplatte und einem Topf mit Deckel Geräusche erzeugen

Beispiel: Alternativen zum Thema Wasser

Dialog: Ausgangspunkt ist die Überlegung, wie viel Wasser Kinder pro Tag trinken. Ein kleines Kind trinkt 2-3 Liter Wasser. 3-5 jährige Kinder trinken 3-4 Liter Wasser.

Aktivität 1: *Vermuten und Ähnlichkeiten entdecken:*

Man verteilt 4 Liter Wasser in 16 Trinkgläser (Fassungsvermögen 25 mL).

Frage: „Wer trinkt so viel Wasser jeden Tag?“

Antworten sammeln.

In der Regel wird sich herausstellen, dass Kinder diese Menge Wasser nicht allein in reiner Form, sondern auch in Form von diversen anderen Getränken zu sich nehmen und sich nicht über die tatsächliche Menge bewusst sind, auch kennen sie die Kategorie Volumen nicht. Vielen Kindern ist nicht deutlich, dass alle Getränke, auch Milch, hauptsächlich Wasser enthalten. Diesen Aspekt muss man mit Kindern diskutieren. Sie haben sicher beobachtet, dass man Milcpulver mit Wasser zu Milch verrühren kann. Ebenso wissen sie, dass Teeblätter und Kaffeepulver für die Zubereitung von Tee und Kaffee verwendet werden. Vielleicht kennen sie auch diverse Brausepulver.

Aktivität 2: *Herstellung von Limo.*

25 mL Wasser, Saft einer Limone, Zucker.

Frage: „Trinken auch alle Tierarten Wasser? Wie trinken Hunde, Katzen, Pferde, Elefanten, Fische usw. Wasser? Wie bekommen die Lebewesen in der Wüste das Wasser?“

Aktivität 3: *Schätzen, Vergleichen, Messen, Prüfen, ein neues Konzept bilden.*

Frage: „Hat Wasser Gewicht?“

Man gießt den Inhalt der 16 Trinkgläser in einen Plastikeimer und lässt die Kinder schätzen, ob der Eimer mit seinem Inhalt schwer bzw. leicht ist. Danach heben die Kinder den Eimer so hoch, wie sie es können. Man kann auch den Kindern das Gewicht mitteilen. Hier könnten die Kinder versuchen, verschiedene Objekte zu wiegen und Begriffe wie „leichter bzw. schwerer als ...“ üben, zum Beispiel so:

Kinder erhalten fünf gleich große Dosen. Jede Dose enthält eine unterschiedliche Menge von Sand, allerdings ist der gewichtsmäßige Unterschied gering. Die Öffnung der Blechdosen wird bedeckt, die Kinder können nicht sehen, welche Dose mehr bzw. weniger Sand enthält. Die Dosen werden mit un-

terschiedlichen Tierbildern gekennzeichnet. Im ersten Schritt vergleichen die Kinder zwei Dosen miteinander durch Heben (welche ist schwerer?). Da die Gewichte nicht stark variieren, können sie allein durch das Heben der Dosen schlecht den Gewichtsunterschied feststellen. Nun wiegen die Kinder die beiden Dosen auf einer Balkenwaage und können so Unterschiede im Gewicht feststellen. So werden alle Dosen gewogen und in eine Reihenfolge mit zunehmendem Gewicht aufgestellt. Im darauf folgenden Schritt erhalten die Kinder kleine identische Objekte, zum Beispiel Büroklammern usw., als Gewichtseinheit. Damit können sie kleine Gegenstände wiegen.

Aktivität 4: *Schätzen, Messen, Vergleichen, Daten sammeln.*

Frage: „Ist Salzwasser schwerer als Trinkwasser?“

Jedes Kind erhält zwei kleine, jedoch gleichgroße Gläser. In einem Glas wird zwei Teelöffel Salz aufgelöst und das Glas bis zum Rand mit Wasser aufgefüllt. Das zweite Glas enthält nur Wasser. Die Gläser werden auf die Waagschalen gelegt bzw. nacheinander gewogen.

Aktivität 5: *Schätzen, Evaluieren, neues Konzept bilden.*

Kinder erhalten drei unterschiedlich große Einmachgläser (25, 50 und 75 mL).

Frage: „Welches Glas kann mehr Wasser aufnehmen?“

Kinder sollen vorschlagen, wie man es zeigen kann, dass das größte Glas tatsächlich mehr Wasser aufnehmen kann als die anderen. Hierzu sollten die Kinder das 25-mL-Glas nehmen, um die anderen aufzufüllen. Ergebnisse diskutieren.

Mögliche Vertiefung: Hypothesen bilden, Versuche entwerfen.

Man benötigt zwei Glasbehälter mit einem Volumen von 25 ml, ein Messzylinder. Ein Behälter wird mit einem schwarzen Papier so umhüllt, dass man nur den oberen Teil sehen kann. In diesem Glas befindet sich eine Kugel aus Knete. Kinder dürfen dies nicht wissen. Beide Gläser werden nun mit Wasser so aufgefüllt, dass das Wasserniveau in beiden identisch ist.

Frage: Enthalten beide Gläser gleichviel Wasser? Zur Beantwortung dieser Frage sollen die Kinder eine Methode vorschlagen. Als Anregung erhalten sie zwei gleichgroße, leere Gläser.

Versuch durchführen, Ergebnis mit den Kindern diskutieren.

Aktivität 6: *Beobachten, Prüfen, Berichten und Beschreiben.*

Kinder erhalten kleine Kristalle von Zucker und Salz. Diese legen sie in zwei flache Schalen und geben dazu wenig Wasser. Es darf nicht gerührt werden. Mithilfe einer Lupe können die Kinder betrachten, wie sich die Kristalle auflösen. In einem dritten Versuch kann man ein kleines Kriställchen von Kaliumpermanganat in ein hohes Wasserglas geben und darüber vorsichtig ein wenig Wasser gießen. Kinder können nun beobachten, wie sich das Kristall im Wasser verteilt und das Wasser färbt. Kann man das Kristall sehen?

Dialog: *Unterschiede entdecken*

Gespräch über Regenwasser, Teichwasser, Flusswasser, Quellwasser, Seewasser, Meereswasser. Kinder beobachten Bilder von Meer, einem See. Vielleicht kennen sie auch den Unterschied zwischen Süßwasser und Salzwasser.

Dialog: *Vermuten, Beschreiben, Berichten, Hypothesen bilden.*

Man regt die Kinder an, darüber nachzudenken, ob sie außer Leitungswasser auch andere Erscheinungsformen des Wassers kennen. Danach kann man mit der folgenden Fragestellung fortfahren:

Frage: „Bleibt das Regenwasser liegen? Es kann sehr lange und heftig regnen, doch das Regenwasser verschwindet bald. Wohin geht das Wasser?“
 Viele Kinder wissen, dass die Sonne beim „Verschwinden“ des Wassers eine Rolle spielt, weniger ist ihnen bewusst, dass die Luft große Mengen Wasser aufzunehmen vermag. Andererseits wissen die Kinder, dass Wäsche trocken wird, wenn sie im Freien aufgehängt wird, selbst wenn die Sonne nicht scheint. Kinder wissen auch, dass man mit dem Föhn die Haare trocknen kann. Vielleicht wissen Kinder auch, dass es Wäschetrockner gibt. Über all dies muss man mit Kindern sprechen.

Dialog: *„Wie kühlen sich die Tiere im Sommer?“***Aktivität 7:** *Prüfen, Theorien bilden.*

Kinder erhalten zwei Schalen. In beiden Schalen wird gleiche Menge Wasser gegeben und der Wasserrand mit einem Stift markiert. Die eine Schale wird bedeckt. Man lässt die Schalen übernacht stehen. Am nächsten Tag beobachten die Kinder, ob das Wasserniveau gleich geblieben ist. Ergebnis diskutieren.

Aktivität 8:

Kinder befeuchten die Oberseite ihrer Hand und fächern mit einem Pappteller Luft darüber.

Kinder setzen einen Tropfen Wasser in eine Schale und leiten Luft darüber (Pappteller)

Kinder befeuchten leicht eine Handvoll Erde und leiten Luft darüber (Pappteller)

Kinder lassen Wassertropfen in eine warme Pfanne fallen und beobachten.

Dialog: *„Im Winter schneit es, wo bleibt der Schnee im Sommer?“*

Gemeinsamkeiten entdecken:

Im Gespräch wird Kindern bewusst, dass Schnee auch Wasser ist, da er schmilzt.

Frage: „Kann man Wasser kühlen und dadurch Schnee erhalten?“

Kinder wissen, dass beim Gefrieren des Wassers Eis gebildet wird. Im Winter gibt es Glatteis.

Frage: „Wie bildet sich Glatteis?“

Bei dieser Fragestellung sollen die Kinder Klarheit darüber gewinnen, dass die Vorgänge des Schmelzens und Gefrierens mit Änderungen der Wärmeverhältnisse (Lufttemperatur) einhergehen.

Aktivität 9: *Vergleichen, Hypothesen bilden, diskutieren, Planen.*

Fragen: „Wiegt Eis mehr als Wasser? Wie kann man dies erfahren?“

Diese Fragen mit Kindern diskutieren und mit ihnen gemeinsam ein Experiment entwickeln, um die Antwort zu finden. Hierbei wird die Überlegung, dass man gleiches Volumen von Wasser in zwei Gefäße füllen und anschließend eins von den beiden Gefäßen in den Kühlschrank stellen muss, zusammen mit den Kindern entwickeln. Durch Wiegen kann man feststellen, ob das Gewicht gleich geblieben ist. Kinder werden beobachten können, dass die gleiche Menge Wasser in Eisform mehr Raum beansprucht.

Aktivität 10: *Planen, Diskutieren, Versuche entwerfen.*

Frage: „Wie schmilzt Eis?“ (5-6 Jahre)

Die Kinder erhalten je einen Eiswürfel in einer Schale und eine Lupe. Sie sollen zunächst beobachten, wie ein Eiswürfel schmilzt und was dabei passiert. Nach einiger Zeit erhalten sie einzelne Eiszürfelsplitter, welche sie mit den großen Würfeln vergleichen.

Mögliche Vertiefungsaufträge:

1. „Wir könnten Eiswürfel in ganz heißes Wasser legen.“
2. „Schmilzt Eis im geschlossenen Glas schneller?“
3. „Schmilzt Eis im Wasser schneller, wenn man es rührt?“



Die Kinder brauchen sehr viel Zeit zum Beobachten und Vermuten. Sie werden Ideen formulieren. Anschließend werden die Ergebnisse gemeinsam besprochen.

Frage: „Wie schmilzt Eis im Wasser?“

Um dieser Frage näher auf den Grund zu gehen und um zu beobachten, ob Eis tatsächlich schneller im Wasser schmilzt, erhalten die Kinder ein Glas und zwei neue Eiswürfel. Zusätzlich stehen Thermometer bereit.

Die Kinder füllen die Gläser mit Wasser und vergleichen die Eiswürfel im Wasser mit dem Eiswürfel in der Schale. Einige Kinder können vielleicht auch mit dem Thermometer umgehen und die Temperatur des Eiswürfels im Wasser, als auch des Eiswürfels an der Luft messen.

Aktivität 11: *Beobachten, Planen, entdecken, Wissen verallgemeinern und übertragen.*

Können wir so nass werden wie unsere Kleider. Können Pflanzenblätter, Federn von Vögeln, Butterbrotpapier, Schreibpapier, Baumwolle, Haare, ungeschältes Obst und Gemüse Wasser trinken?

Kinder erhalten die oben genannten Stoffe und setzen einen Tropfen Wasser darauf. Sie werden beobachten können, dass es zwei Stoffkategorien gibt. Anschließend setzen sie mit der Fingerkuppe (man taucht den Finger ins Wasser) einen Tropfen auf den Arm. Das Wasser wird von der Haut nicht aufgenommen.

Transfer: „Wie nehmen die Pflanzen Wasser auf. Über die Blätter oder über die Wurzeln?“

Obst und Gemüse sind „verpackt“. „Was würde geschehen, wenn sie die entsprechenden Verpackungen (Schalen, Haut usw.) nicht hätten?“

4.6 Bemerkungen zum Workshop „Luft“ für Trainerinnen und Trainer der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Der Workshop¹¹ beginnt mit der Aufforderung, frei zu experimentieren und dies vollzieht sich wie folgt: Die Trainer und Trainerinnen verteilen sich um zwei große Tische. Auf beiden Tischen befinden sich diverse Gerätschaften. Die Gegenstände sind so ausgewählt, dass sie in Einsatz gebracht werden können, um bestimmte Eigenschaften der Luft zu überprüfen. Dabei soll alles „spielerisch“ ablaufen und „Spaß“ machen. Hierdurch sollen die Teilnehmer die Möglichkeit erhalten, ihre latenten Ängste gegenüber Geräten und Experimenten zu überwinden. Im Mittelpunkt stehen Spiel und Spaß, jedoch nicht Verstehen lernen durch Hinterfragen, Erkenntnisgewinnung durch zielgerichtetes Handeln.

Da viele der vorgesehenen Experimente nicht eindimensional sind, und infolgedessen bei diesen mehrere physikalische Gesetzmäßigkeiten synchron zusammenspielen, wird betont, dass es nicht darauf ankäme, alle beobachtbaren Abläufe und das Ergebnis zusammenhängend zu verstehen. Vielmehr ist von Bedeutung, dass Teilnehmende genau wie später die Kinder Spaß daran haben und möglicherweise zu vielfältigen Fragestellungen eben durch das Hantieren mit Geräten und der Durchführung von Experimenten animiert werden können.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sind meiner Beobachtung nach von vornherein davon überzeugt, dass es nicht notwendig sei, Erklärungen für

¹¹ „Workshop 2 – Luft“ für Trainerinnen und Trainer, Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, Berlin, 2010.

ihre Beobachtungen zu suchen. Sollten Kinder Fragen stellen, dann kann man ihnen Antworten geben, die quasi als Gesamtergebnis des Experiments von Anfang an feststehen. Denn jedes Experiment ist so konzipiert, dass es auf die Beweisführung eines Sachverhalts hinausläuft: Also Luft kann Gegenstände bewegen, Luft wird beim Verbrennen verbraucht usw. Dabei ist augenfällig, dass nie ein Rückgriff auf Naturphänomene und erlebbare Bilder der Wirklichkeit gemacht wird. Viele Zusammenhänge, die die Kinder anhand der Experimente erfahren sollen, kennen sie eigentlich aufgrund der erlebten Ereignisse im Alltag bereits. Eine selbstständige Antwortfindung wird nicht stimuliert. Das Experiment per se wird hier als das geeignete Mittel zur Bildung von naturwissenschaftlichen Konzepten angesehen.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer werden aufgefordert, unter anderem folgende Fragen an die Kinder zu richten, während sie experimentieren bzw. nachdem ein Experiment durchgeführt worden ist: Was fällt dir auf? Was denkst du? Was hast du beobachtet?

Da die Experimente auf Gesetzmäßigkeiten beruhen, die Kinder unmöglich durchschauen können, werden sie auf diese Fragen gar nicht sinnvoll antworten können. Bestenfalls können sie beschreiben, was ihnen aufgefallen ist. Und was ihnen naturgemäß dabei überhaupt auffallen kann, wird das bildliche Geschehen sein, z.B. der Tischtennisball fliegt weg.

Im Gespräch stellt sich heraus, dass die Teilnehmenden selber die beobachtbaren Phänomene nicht im Kontext von Ursache und Wirkung interpretieren können. Eine Teilnehmerin ist davon überzeugt, dass dies überhaupt nicht notwendig sei. Stellt ein Kind dennoch eine Frage, sagt sie, „Dann antworte ich so, dass zunächst Ruhe in der Kiste ist.“ Die Antwort, die sie als Beispiel für diese Vorgehensweise bei der Durchführung eines Experiments angibt, ist allerdings völlig falsch. Die falsche Antwort wird nicht beanstandet und da ich nicht möchte, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer diese falsche Antwort als korrekt mitnehmen, erlaube ich mir, sie zu korrigieren.

Entdecken und Lernen ist meiner Wahrnehmung nach nicht das Ziel des Workshops. Frage ich einen Teilnehmer, was er selber denkt, dann erhalte ich in der Regel keine Antwort, und wenn eine Antwort überhaupt gegeben wird, dann ist sie falsch. Hier ein Beispiel: Bei dem Thema Luft und Temperatur will ich erfahren, ob die Teilnehmenden grundsätzliche Kenntnisse zu diesem Fragenkomplex haben. Daher bitte ich sie, erst die Tischplatte, auf dem die Gerätschaften liegen, zu berühren und danach die Tischfüße (die Tischplatte ist aus Kunststoff und die Tischbeine sind aus Metall) zu berühren und mir zu sagen, ob die Temperatur in beiden Fällen die gleiche sei. Alle antworten, dass die Temperatur nicht gleich sei. Tatsache ist jedoch, dass in einem Raum alle Gegenstände die gleiche Temperatur haben wie die Luft. Denn Wärme wird über die Luftteilchen auf die Gegenstände übertragen. Dass sich das Tischbein kühler als die Tischplatte anfühlt, kommt daher, dass Metall leitet und somit die Körpertemperatur aufnimmt, wodurch ein Wärmeverlust sinnlich erfahrbar wird.

Es ist oft die Rede von „Kokonstruktion“, ein recht ungenauer Begriff, den die Teilnehmerinnen und Teilnehmer selber nicht verstehen. Gemeint ist mit diesem Topos, dass pädagogische Fachkräfte und Kinder gemeinsam entde-

cken sollen. Die Prozesse der gemeinschaftlichen Erforschung sind jedoch nur dann realisierbar, wenn die Wahrnehmungsmöglichkeiten der Beteiligten nicht überschritten werden. Darüber hinaus kann man gemeinsam nur etwas entdecken, wenn man Umwege und Fehlermachen zulässt. Kein Prozess des Lernens ist gradlinig. Umwege kann man nur dann zulassen, wenn man sich frei fühlt und auf unerwartete Situationen innerlich vorbereitet ist. Voraussetzung dafür ist die Durchschaubarkeit aller Aktivitäten. Die Natur der vorliegenden Experimente ist jedoch so beschaffen, dass ein gemeinsames Entdecken gar nicht stattfinden kann, weil die pädagogischen Fachkräfte den dafür erforderlichen Durchblick im Rahmen des Workshops nicht erwerben können. Eigentlich sollte jeder Workshop damit beginnen, dass die Trainerinnen und Trainer erst in Erfahrung bringen, welches Wissen die Teilnehmenden überhaupt zu der jeweiligen Thematik besitzen und welche Grundkonzepte ihnen fehlen. In einem folgenden Schritt sollten die Trainerinnen und Trainer zusammen mit den Teilnehmenden so agieren, dass Zusammenhänge gemeinsam entdeckt werden können. Doch hierzu fehlt nach meiner Beobachtung ein geeignetes und exemplarisches Konzept.

4.7 Resümee des pädagogischen Konzepts der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Kreative pädagogische Konzepte kommen einem verbindlichen Handlungsauftrag gleich. Sie haben daher einen Adressaten. In diesem Fall sind die Erzieherinnen und Erzieher die Zielgruppe. Für sie muss der Handlungsauftrag im Hinblick auf seine Realisierbarkeit nachvollziehbar sein. Es handelt sich dabei also nicht um einen theoretischen Appell an die Adressaten, sondern um ein Modell der Praktikabilität. Ein Modell kann nicht in allen Einzelheiten die Wirklichkeit abbilden, sondern zeigt, wie die Wirklichkeit sein könnte; macht also exemplarisch sichtbar, wie die pädagogischen Zielsetzungen eingelöst werden könnten. Letztlich geht es darum, einen Umdenkungsprozess anzuregen. Umdenken setzt voraus, dass man die Überzeugung gewinnt, dass man seine eingeübte Praxis ändern muss.

Das vorliegende pädagogische Konzept der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2009) ist jedoch ein allgemein gehaltenes theoretisches Dokument und gibt diesbezüglich wenig Orientierung. Wenn beispielsweise bemerkt wird, dass Kinder „ihre Bildung und Entwicklung aktiv mitgestalten“ oder „von sich aus lernen wollen“, dann muss für die Erzieherinnen auch deutlich werden, wie man dies genau erreichen kann. Das pädagogische Konzept muss sichtbar machen, wie man im Alltag der Kitas eine Lernatmosphäre schaffen kann, die Kinder ermutigt, ihre individuellen Ressourcen und Kompetenzen zu entdecken und diese weiter zu entwickeln. Es geht also darum, die Erzieherinnen dazu zu befähigen, eigenständig und schöpferisch zu handeln. Wie dies pädagogisch im Alltag der Kitas tatsächlich und schrittweise erreicht werden kann, ist jedoch auf der Grundlage der Broschüre zum pädagogischen Ansatz der Stiftung nicht erfahrbar.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Schlussfolgerungen:

1. In der Schule werden uns häufig Experimente gezeigt, die mit bestimmten Themen einhergehen. Zum Beispiel lernen wir bereits in der Grundschule etwas über die Zusammensetzung der Luft. Wir lernen, dass die Luft aus verschiedenen Gasen besteht und davon der Sauerstoffgehalt einen bestimmten Prozentsatz ausmacht. Wir schauen einigen aufregenden Experimenten zu und schreiben die Merksätze auf. Doch die zentrale Frage ist, ob wir als Lernender in einer alltäglichen Situation jemals auf die Frage gestoßen wären, dass die Luft ein Gemisch von verschiedenen Gasen sein könnte. Es sind Hunderte von Jahren vergangen, bis sich Wissenschaftler diese Frage gestellt haben. Daher ist es nicht wahrscheinlich, dass Kinder in der Grundschule und in weiterführenden Schulen aufgrund eines Erlebnisses oder Phänomens wirklich einmal auf die Idee kommen könnten, die Frage nach der Zusammensetzung der Luft zu stellen. Wir lernen dies sozusagen völlig übermittelt. Aber selbst dann können wir damit kaum eine weitere Erfahrung selbstständig machen. Dieses Wissen erstarrt dann zum inerten Wissen und kann selbst bei Bedarf nicht aktiviert werden, um Geschehnisse in unserer Wirklichkeit zu deuten. Solch ein Wissen können wir folgerichtig auch nicht benutzen, um Verknüpfungen herzustellen. Die Ausgestaltung all dieser Vorschläge berücksichtigten zu wenig die Wahrnehmungsmöglichkeiten der Kinder.
2. In der Geschichte der naturwissenschaftlichen Forschung war nicht das Experiment, sondern die Faszination über Naturphänomene die Voraussetzung für eine Fragestellung an die Natur. Es wird übersehen, dass erst im Vollzug des Forschens die Idee der Überprüfbarkeit einer Hypothese durch ein Experiment überhaupt in Betracht gezogen wurde. Selbst dann haben die Forscherinnen und Forscher die Ergebnisse ihres Experiments oft nicht richtig interpretieren können. Denn jede Interpretation ist naturgemäß von dem jeweiligen Wissensstand des Forschers abhängig. Darüber hinaus sind Experimente prinzipiell Reduktionen und Manipulation der Wirklichkeit. Denn jedes Experiment setzt Technik und Kontrolle voraus. Experimente wie im Bildungsangebot der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ können nicht Kindern dabei helfen, Bekanntschaft mit komplexeren Zusammenhängen mit Hilfe von vertrauten Bildern und Phänomenen zu machen und dabei ihre Fähigkeit, Verknüpfungen herzustellen, zu entfalten. Mit dem Prädikat „Verknüpfung“ ist die Fähigkeit der Vernetzbarkeit von vorhandenem Wissen und Erfahrung gemeint, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Wir wollen diese archaische Fähigkeit der Menschen, Verknüpfungen von erlebten Ereignissen herzustellen, als ein Ergebnis der Erweiterung und Vertiefung von Erfahrung und Lernen bezeichnen. Denn das menschliche Denken selbst ist ein Ergebnis der Lernprozesse solcher Verknüpfungen, deren Aussagen von Generation zu Generation weitergegeben und weiterentwickelt werden und zu verschiedenen Begriffen geführt haben. Die Begriffe gewinnen nur dann eine Bedeutung, wenn wir die Möglichkeit erhalten, die Wege kennen zu lernen, die zu ihrer Bildung geführt haben. Gerade diese Lernprozesse kann aus meiner Sicht das Angebot der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ nicht einlösen. Es unterstützt eher die Bildung von Fehlvorstellungen, zumal die Experimente, wenn überhaupt, eher für die Jugendliche zwischen dem 13. und 16. Lebensjahr geeignet wären.

3. Die Überwindung von naiven Vorstellungen gelingt erst durch eine selbstständige Konstruktion von Konzepten und deren Implementation auf Vorgänge des Verstehens und Forschens. Dabei sind folgende Aspekte von bedenkenenswert:

- Jugendliche haben über viele Naturphänomene eigene Vorstellungen, die weder durch die Gesellschaft, noch durch Medien, kulturelle Aktivitäten oder schulisch vermitteltes Wissen nachhaltig erschüttert werden.
- Die Kluft zwischen erworbenen naturwissenschaftlichen Kenntnissen in der Schule und der Fähigkeit, erlebte Alltagsphänomene im Kontext der Naturgesetzmäßigkeiten interpretieren zu können, ist nur für eine geringe Zahl von Menschen überwindbar.
- Manifeste Vorstellungen können nur dann verändert und erweitert werden und zu einer neuen Erfahrung heranreifen, wenn sie mit all ihren Bedeutungen signifikant in einen Lernprozess eingehen.
- Der Erwerb von Wissen ist kein spontaner Vorgang, sondern entfaltet sich stufenweise; ist also in einen Entwicklungsprozess integriert.
- Wissensbildung basiert auf einem Zusammenspiel zwischen dem, was man bereits weiß und dem, was man neu lernen will.
- Was man bereits weiß, wird erst dadurch sichtbar, dass man die Gelegenheit bekommt, seine Vorstellungen über Naturphänomene zu artikulieren und mit anderen auszutauschen. Hierbei erkennt man, was man wirklich versteht, welche Zusammenhänge einem rätselhaft erscheinen und was man noch lernen muss. Gerade dieser Aspekt ist aus meiner Sicht nicht im Angebot mitbedacht.

Ausblick:

Das Erleben der Wirklichkeit geschieht als ein ganzheitlicher Vorgang: Die Jahreszeiten kommen und gehen, dem Tag folgt die Nacht, auf den Blättern der Bäume bildet das Regenwasser Perlen, Schnecken sind vermehrt zu sehen, wenn es häufiger regnet, im Herbst vergilben die Blätter und im Frühling belauben sich die Bäume immer wieder neu usw. All diese und viele andere Bilder versickern in irgendwelchen Kanälen unseres Gehirns, ohne dass wir innehalten und die erlebten Bilder auf einmal als rätselhaft empfinden. Das Erleben der Naturphänomene bewirkt also nicht unmittelbar, dass wir uns darüber wundern, weshalb die Erscheinungsmuster der Wirklichkeit so sind, wie sie sich uns anbieten, und für unsere Orientierung unabdingbar notwendig sind.

Die Frage nämlich, wie naturwissenschaftliche Zusammenhänge entdeckt werden, die bereits in der äußeren Wirklichkeit vorhanden sind, ist für kognitive Lernprozesse von Bedeutung. Denn verbunden damit ist die Frage nach der Gestaltung von naturwissenschaftlicher Vorgehensweise im Kindergarten, die geeignet sein könnte, erlebte Naturphänomene als Frage im Denken und Bewusstsein der Kinder zu beleben. Hier kann man von einer Lehrstrategie sprechen, die bemüht ist, Übergänge zwischen „implizitem“ und „explizitem“ Wissen zu induzieren, damit ein individueller, bewusster und entdeckender Zugang zu den erlebten Wirklichkeitsbildern erleichtert wird.

Zentrales Anliegen aller Aktivitäten in Kindergärten sollte meines Erachtens darin bestehen, die Kinder zu einem selbstständigen und unbefangenen Handeln zu stimulieren, damit sie unterschiedliche Aspekte der Wirklichkeit

erfahren und diese mit Hilfe von individuellen Theorien bzw. Hypothesen interpretieren können. Von Bedeutung dabei ist nicht, was ein Kind in einem bestimmten Alter, im Kontext von Piaget, nicht lernen kann, sondern vielmehr, welche manifesten Fähigkeiten (Prädispositionen) der Kinder bei solchen Lernsituationen zur Geltung kommen und wie diese mit der Unterstützung pädagogischer Fachkräfte entfaltet werden können.

Die Themen des Curriculums sollten naturgemäß so ausgewählt werden, dass sie von den Kindern im Rahmen ihrer Erfahrungsmöglichkeiten bewältigbar sind, wobei sie sich folgende universell einsetzbare Kompetenzen aneignen können:

- Beobachten
- Schätzen
- Vergleichen
- Voraussagen machen
- Hypothesen aufstellen
- Theorien formulieren
- Neues Verständnis über vertraute Erscheinungen erlangen
- Messen
- Prüfen
- Kommunizieren
- Berichten
- Neue Ideen entwickeln
- Vermutungen aufstellen
- Schlussfolgern

Hierdurch wird den Kindern die Möglichkeit angeboten, sich je nach Neigung und Individualität zu profilieren (vgl. Ansari, 2003) zum Beispiel als:

- Theoretiker
- Praktiker
- Erfinder
- Entdecker usw.

Im Idealfall könnte das Curriculum helfen, folgende Strategien zu verwirklichen:

	Aktivität der pädagogischen Fachkraft	Aktivität der Schülerinnen und Schüler
Einstieg		
	Schafft sich Einblick in die bereits vorhandenen Vorstellungen, Ideen der Kinder. Bewertet diese im Kontext der Fragestellung. Sucht nach Möglichkeiten, vorhandene Einsichten zugunsten von wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen zu vermitteln. Entwirft eine Vorgehensweise dazu. Wählt Ereignisse, Bilder und Sprache, die den Erfahrungsmöglichkeiten der Kinder entsprechen	Erhält die Möglichkeit, vorhandene Vorstellungen darzulegen und gegebenenfalls experimentell zu überprüfen. Erfährt Ermunterung und Unterstützung darin, eigene Ideen zu entwerfen, sich aktiv und kooperativ an der jeweiligen Forschungsaufgabe zu beteiligen.
Fokussierung		
	Sorgt für motivierende Gespräche, Vermittlung von Erfahrungen. Beteiligt Kinder mit gezielten Fragen an der Diskussion. Interpretiert und erläutert Ansichten von Kindern. Denkt über die Ursachen von Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler nach. Stellt divergierende Ansichten der Kinder deutlich vor. Schafft Gelegenheiten für Kinder handelnd und nachdenkend sich von neuen Erkenntnissen zu überzeugen.	Macht sich mit den Untersuchungsmaterialien vertraut. Entwirft diese gegebenenfalls selbst. Denkt über das Forschungsvorhaben nach, stellt Fragen, die helfen, sich ein neues Konzept anzueignen. Beschreibt oder erzählt Ereignisse, Vorstellungen aus seiner Erfahrungswelt, die im Lichte neuer Erkenntnisse anders zu interpretieren sind. Hält sich zurück, wenn andere zu Wort kommen. Lässt sich helfen und ist bereit anderen zu helfen.
Herausforderung		
	Behält den Überblick über die Ansichten und Vorstellungen der Kinder. Sorgt dafür, dass alle Ansichten zu Sprache kommen. Betrachtet die vorläufigen Meinungen der Kinder als unabdingbar notwendig und strukturiert sie. Stellt Fragen, welche die Neugier der Kinder wecken und eine höhere Stufe des Denkens ansprechen. Fördert Problemlösungskompetenz der Kinder, behält dabei die unterschiedlichen Lernentwicklungen im Auge und trägt somit zur Kompetenzentwicklung aller Kinder bei. Betrachtet „Trial and Error“ als Intensivierung des Lernens. Ist bereit, gemeinsam mit den Kindern Zusammenhänge zu verstehen.	Denkt über die Ansichten anderer Kinder nach, bewertet sie im Kontext von wichtig und unwichtig. Sucht nach Wegen der Überprüfbarkeit verschiedener Ideen. Strukturiert eigene Vorstellungen und entwirft einen Weg zu ihrer Überprüfung. Begreift die Bewältigung einer Aufgabe als Ergebnis gemeinschaftlicher Arbeit. Erkennt die Notwendigkeit der Protokollführung. Lernt erworbene Methodenkompetenzen auf neue Aufgaben zu übertragen.
Verwirklichung		
	Fasst Ergebnisse der Diskussion und Untersuchungen zusammen auch im Kontext von wissenschaftlichen Befunden. Beachtet die Formenvielfalt der Kinderfragen. Hilft Kindern dabei, im Lichte der neu gewonnen Erkenntnisse eigene Erfahrungen zu interpretieren. Achtet darauf, dass Kinder Erkenntnisse verbalisieren können. Sucht nach neuen Problemen, die mit Hilfe der erworbenen Kompetenzen und Erkenntnissen bewältigt werden könnten. Schafft Raum für das Entfalten von verschiedenen Fertigkeiten wie zum Beispiel: Kinder als Handwerker, Kinder als Theoretiker, Kinder als Entdecker.	Bewältigt Probleme unter Anwendung von selbst entwickelten, von der Gruppe modifizierten Konzepten bzw. Kompetenzen. Stellt seine Problemlösungsstrategien ändern vor und erläutert sie. Akzeptiert Einwände bzw. Verbesserungsvorschläge anderer. Diskutiert weitergehende Fragestellungen, die beim Bewältigen des Problems sichtbar geworden sind, gemeinsam. Erkennt die Vielfalt von Ideen und Kompetenzen seiner Mitschüler an.

Diese Ziele lassen sich nur in einem dialogischen Prozess erreichen. Dialog ist ein Vorgang der personalen Begegnung, der uns hilft, Kinder als Wissende zu erleben. Wir erfahren dann, wie Kinder über ihre Erfahrungen reflektieren und welche Aspekte ihrer „Weltbegegnung“ ihnen rätselhaft erscheinen. Im dialogischen Prozess wird uns auch deutlich, dass Kinder für das Verstehen und Erlernen von Zusammenhängen über Fähigkeiten verfügen wie z.B. der Analogiebildung und Nachahmung; des Argumentierens und Schlussfolgerns; der Unterscheidung zwischen Ursache und Wirkung; des zufälligen und des unbewussten Registrierens von Ereignissen und Bildern und dergleichen mehr. Insgesamt beschreiten Kinder gleiche Wege des Lernens wie die Erwachsenen auch. Im Vergleich zu den Erwachsenen verfügen sie naturgemäß über wenig Erfahrung. Der Zuwachs an Erfahrung setzt voraus, dass sie immer wieder angeregt werden, ihr vorhandenes Wissen mit neuen Erlebnissen zu vernetzen, um weitere Zusammenhänge zu verstehen.

6. Grundlagen der vorliegenden Expertise

- Auswertung von Materialien der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“
 - Broschüre „Philosophie, pädagogischer Ansatz und praktische Hinweise zur Umsetzung“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 1. Auflage, 2009)
 - Film „Kleine Forscher pädagogisch begleiten“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2010)
 - Broschüre „Ihr Weg zum Haus der kleinen Forscher – Anleitung und Materialien zur Auszeichnung“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 1. Auflage 2010)
 - Kartensätze zu den Themen „Wasser“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, Version 2008) und „Luft“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, Version 2008)
 - Handbuch für Trainerinnen und Trainer „Teil E - Workshop 2 – Luft“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, Stand 2010)
- Besuch eines Workshops für Trainerinnen und Trainer der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ zum Themenschwerpunkt Luft (Dezember, 2010)
- Eigene Umsetzung von Projekten zu Wasser und Luft mit Kindern der Odenwaldschule, der Horn-Eberstein Schule, und der Jenaplan Schule sowie mit Kindern aus 30 Kitas aus der Region Offenbach.



**Fazit und Ausblick –
Wie das „Haus der kleinen
Forscher“ mit diesen
Erkenntnissen umgeht**

Zentrale Aspekte der Expertisen

Der Fokus dieses Bandes liegt auf der Bedeutung aktueller Erkenntnisse aus der Entwicklungspsychologie für die Ausgestaltung von Inhalten und Materialien zu Themenschwerpunkten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“. Alle vier Expertisen machen deutlich, dass die derzeit wichtigste Aufgabe für den Bereich der frühen Bildung – in Forschung wie Anwendung – darin liegt, die konzeptionellen und empirischen Lücken zwischen entwicklungspsychologischen Grundlagen und praktischen Bildungsansätzen zu schließen. Dabei halten die Expertinnen und Experten folgende vier Aspekte für zentral:

- Essentielle Voraussetzung für den Zuwachs an Wissen ist, an bereits vorhandenes Wissen anzuknüpfen und darauf aufzubauen.
- Die Integration von Alltagserfahrungen spielt dabei eine zentrale Rolle. Nur so kann zuvor erworbenes Wissen geprüft und gegebenenfalls angepasst werden.
- Lernen sollte immer ein dialogischer Prozess sein. Die Aufgabe der Lernbegleitung besteht darin, den Kindern Anregungen für die Weiterentwicklung ihres Verständnisses von Phänomenen zu geben und Gelegenheiten zu schaffen, Erfahrungen zu kommunizieren und somit bewusst zu machen.
- Die möglicherweise großen individuellen Unterschiede im Vorwissen der Kinder müssen berücksichtigt werden. Bildungsprogramme müssen dementsprechend flexibel genug ausgerichtet sein, um eine individuelle Passung zwischen entwicklungspsychologischen Voraussetzungen, Bildungsanforderungen und damit Chancengerechtigkeit zu ermöglichen.

Als lernende Organisation mit einem klaren Fokus auf stetiger Qualitätsentwicklung hat die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ bereits viele der Empfehlungen der vorliegenden Expertisen in ihre Angebote integriert.

Umsetzung der Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Formate zum pädagogischen Ansatz

Der pädagogische Ansatz der Stiftung ist in der Broschüre „Pädagogischer Ansatz der Stiftung ‚Haus der kleinen Forscher‘ – Philosophie, Konzept und praktische Hinweise zur Umsetzung“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 3. Auflage, 2011a) dargestellt und beeinflusst Inhalt und Struktur der spezifischen Themenmaterialien. Ein zentrales Element dabei ist die Methode „Forschungskreis“ (siehe Abbildung 20 auf S. 165), deren Grundidee auch auf einer separaten Karte „Der Forschungskreis – Hinweise für Lernbegleiterinnen und Lernbegleiter“ ausgeführt ist¹².

Der pädagogische Ansatz wird in der Stiftung kontinuierlich reflektiert und wurde bereits mehrfach aus externer Sicht bewertet. Laut Spindler und Berwanger (2011) steht das pädagogische Konzept des „Hauses der kleinen Forscher“ im Einklang mit „den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen darüber, wie Kinder lernen und wie die Lernprozesse nachhaltige Ergebnisse für die Kinder

¹²Der Forschungskreis ist zum Download unter www.haus-der-kleinen-forscher.de verfügbar.

haben. Das konzeptionell verankerte Verständnis von Bildung, das Bild vom Kind sowie das Verständnis vom Lernen sind fachlich sehr gut begründet und finden auch in der frühpädagogischen Forschung empirische Evidenz“ (Spindler & Berwanger, 2011, S. 47). Nach Preissing und Heller entspricht die pädagogische Orientierung der Stiftung „dem Anliegen der Frühpädagogik, die Mädchen und Jungen vom jüngsten Alter an in ihrer Entwicklung allseitig zu fördern und ihnen frühzeitig nachhaltige Zugänge zu den verschiedenen Bereichen der Lebenswelt zu ermöglichen“ (Preissing & Heller, 2011, S. 151).

Die erste Auflage der Pädagogikbroschüre „Philosophie, pädagogischer Ansatz und praktische Hinweise zur Umsetzung“ der Stiftung (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 1. Auflage, 2009) wurde als Folge externer Empfehlungen kontinuierlich weiterentwickelt und ergänzt. In der zweiten Auflage der Broschüre „Philosophie, pädagogischer Ansatz und praktische Hinweise zur Umsetzung“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2. Auflage, 2010) wurden erstmals entwicklungspsychologische Erkenntnisse thematisiert.

Ansari betont in seiner Expertise, dass Lernen bei Kindern stets ein dialogischer Prozess sein sollte. Die Aufgabe der Lernbegleitung besteht somit darin, Anregungen zu geben und Gelegenheiten zu schaffen, um Erfahrungen zu kommunizieren und somit den Kindern bewusst zu machen. Dabei sollte immer auf bereits vorhandenes Wissen aufgebaut werden. Das Prüfen und möglicherweise Anpassen von vorhandenem Wissen spielen eine zentrale Rolle. Der Zuwachs an Erfahrung setzt also voraus, dass Kinder immer wieder angeregt werden, „ihr vorhandenes Wissen mit neuen Erlebnissen zu vernetzen, um weitere Zusammenhänge zu verstehen“ (S. 155). Ansari hebt außerdem hervor, dass die gewählten Themen nicht zu komplex sein sollten, um dem Entstehen von Fehlvorstellungen entgegenzuwirken.

Diese Empfehlungen sind in die aktuelle dritte Auflage der Broschüre „Pädagogischer Ansatz der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ – Philosophie, Konzept und praktische Hinweise zur Umsetzung“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher, 2011a) eingeflossen. Die Methode „Forschungskreis“, die u.a. in Zusammenarbeit mit Herrn Ansari entstanden ist, und die die Bedeutung des dialogischen Vorgehens betont, wird erstmals in dieser Auflage der Broschüre ausführlich behandelt. Sie wird auch in der Themenbroschüre „Forschen mit Magneten“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher, 2011c) anhand konkreter Beispiele aufgegriffen. Die Methode „Forschungskreis“ verdeutlicht, wie Kinder forschend lernen, und hilft pädagogischen Fachkräften dabei, den Vorgang des Erkenntnisgewinns der Kinder optimal zu begleiten¹³.

Ein Bericht der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) zur Stiftungsarbeit betont: “The emphasis on the scientific method in the “research circle” shows the initiative’s focus on promoting cognitive and problem-solving skills, designed to help children acquire learning skills in various disciplines, the ability to acquire knowledge themselves and sagacity.” (S. 38, OECD).

¹³Weitere Informationen zur Methode „Forschungskreis“ finden sich auch in Band 2 der wissenschaftlichen Schriftenreihe (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2011b).

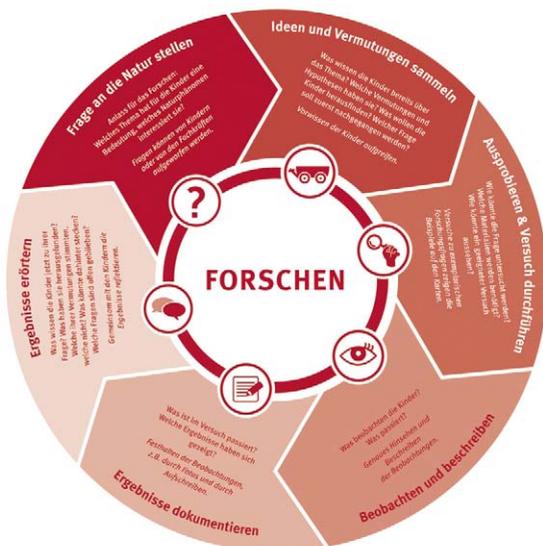


Abbildung 20: Der Forschungskreis bildet Etappen des Forschungsprozesses exemplarisch ab.

Für die vierte Auflage der Pädagogikbroschüre (erscheint Anfang 2013) ist die Ergänzung sehr konkreter Beispiele der pädagogischen Umsetzung geplant, um pädagogischen Fachkräften die Übertragbarkeit theoretischer Konzepte in die praktische Umsetzung in den Kitaalltag zu erleichtern. Dies ist eine direkte Umsetzung der Empfehlung von Salman Ansari, der empfiehlt, dass das pädagogische Konzept sichtbar machen muss, „wie man im Alltag der Kitas eine Lernatmosphäre schaffen kann, die Kinder ermutigt, ihre individuellen Ressourcen und Kompetenzen zu entdecken und diese weiter zu entwickeln“ (S. 156).

Salman Ansari kritisiert in seiner Expertise, dass im Mittelpunkt des Konzepts der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ Spaß stehe, „jedoch nicht Verstehen lernen durch Hinterfragen, Erkenntnisgewinnung durch zielgerichtetes Handeln“ (S. 154). Tatsächlich stellt „Motivation, Interesse und Selbstwirksamkeit im Umgang mit Naturphänomenen“ einen zentralen Zielbereich der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ dar (vgl. Anders, Hardy, Pauen & Steffensky, in Vorbereitung). Laut neuester Ergebnisse aus der Hirnforschung sind positive Emotionen zudem konzentrationsförderlich (Kiefer, Schuch, Schenk & Fiedler, 2007). Neben einer positiven Haltung zielt die Stiftung auch an, das „Verstehen“ zu erweitern, worunter sowohl naturwissenschaftliches Zusammenhangswissen (grundlegende Konzepte) als auch wissenschaftliches Denken und Handeln fallen (vgl. Anders et al., in Vorbereitung). Mit den Kapiteln „Naturwissenschaftliche Hintergründe“, die jeweils in den Themenbroschüren der Stiftung enthalten sind, wird auf die Erweiterung von Verstehen und Wissen bei Erwachsenen abgezielt. Die Methode „Forschungskreis“ soll Kinder wie Erwachsene dazu anregen, sich durch eigene Aktivität und forschendes Vorgehen Zusammenhänge zu erschließen und ihr Wissen zu erweitern (vgl. auch Pahnke & Pauen in diesem Band, S. 40, zur Frage „Was sind Naturwissenschaften?“).

Während die Aspekte der Motivation, Interesse und Selbstwirksamkeit von Anfang an zentral sind, um sich „auf den Weg“ zu machen, Selbstvertrauen und eine forschende Haltung zu entwickeln, ist das tiefere Verstehen und Durchdringen von naturwissenschaftlichen Hintergründen eher ein mittel- und längerfristiges Ziel der frühen naturwissenschaftlichen Bildung und der kontinuierlichen Stiftungsarbeit.

Umsetzung der Empfehlungen zur Neuentwicklung des Themenschwerpunkts „Magnetismus“

Die Empfehlungen von Susanna Jeschonek sind in den Themenschwerpunkt „Magnetismus“ 2011 eingeflossen. Kita-Kinder bringen laut Jeschoneks Expertise alle wichtigen Voraussetzungen für das Forschen mit Magneten mit: Sie sind in der Lage, Ideen und Annahmen zu bilden und diese durch Ausprobieren und Beobachten zu überprüfen. Ähnlich wie Janna Pahnke und Sabina Pauen unterscheidet die Autorin hierbei zwischen wissenschaftlichem Denken und fachspezifischem Wissen. Das Thema Magnetismus eignet sich hervorragend, um mit Kindern Komponenten des naturwissenschaftlichen Denkens und Forschens praxisnah zu üben. Um dies zu betonen trägt der Themenschwerpunkt bei der Stiftung den Titel „Forschen mit Magneten“. In der dazugehörigen Themenbroschüre (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2011c, S. 16) wird zudem die Methode „Forschungskreis“ thematisiert.



Abbildung 21: Titelseite der Themenbroschüre „Forschen mit Magneten – Ideen und Hintergründe für die Kita-Praxis“

Dabei sollten pädagogische Fachkräfte jedoch mögliche altersbedingte Unterschiede in den tatsächlichen Vorerfahrungen berücksichtigen. Neue Erkenntnisse aus diesem Themenbereich sollten in bereits vorhandene Wissensstrukturen eingebettet werden können. Darum sollte gerade den Drei- bis Vierjährigen zunächst die Möglichkeit gegeben werden, im freien Explorieren erste Eindrücke mit Magneten zu gewinnen, bei Fünf- bis Sechsjährigen kann dann verstärkt eine systematischere Untersuchung der Magnetkraft und eine Erweiterung des Wissens in diesem Bereich stattfinden. Die Integration von Alltagserfahrungen sollte also als erster Schritt in der Auseinandersetzung mit dem Thema „Magnetismus“ berücksichtigt werden.

Die Auseinandersetzung mit der magnetischen Anziehungskraft sollte außerdem mit dem Aspekt Materialkunde verknüpft werden. Ein grundlegendes Verständnis des Konzepts „Material“ sowie die sichere Identifikation unterschiedlicher Materialarten sind unabdingbar für ein erstes Verständnis des Phänomen „Magnetismus“, so Susanna Jeschonek. Die frühen Erfahrungen vieler Kinder beziehen sich zumeist auf die Anziehungskraft von Magneten und weniger auf deren Abstoßung untereinander. Deshalb sollten die pädagogischen Fachkräfte den Kindern auch die Möglichkeit bieten, die Abstoßungskraft zwischen Magneten zu erforschen und genauer kennen zu lernen. So kann etwaigen späteren Unterschieden im Verständnis der Kinder von magnetischer Anziehungs- und Abstoßungskraft entgegengewirkt werden. Jüngeren Kindern bzw. Kindern, die bisher insgesamt nur wenige Erfahrungen mit Magneten sammeln konnten, sollte die pädagogische Fachkraft zunächst zeitlich ausreichende und vielfältige Möglichkeiten einräumen, sich mit der anziehenden Wirkung von Magneten auf bestimmte Materialien zu beschäftigen. Erst danach, so die Empfehlung der Expertise von Jeschonek, bietet es sich an, die Abstoßung zwischen gleichnamigen Polen von Magneten gemeinsam mit den Kindern zu erforschen.

Basierend auf den Empfehlungen der Expertisen wurde für das Thema „Forschen mit Magneten“ ein neues Format für den Kartensatz konzipiert¹⁴. Anstelle der bisherigen Experimentierkarten wurde zum ersten Mal ein Karten-Set mit „Forschungskarten“ entwickelt. Zunächst wird auf einer Einstiegskarte das Entdecken und Sammeln erster Grunderfahrungen mit Magneten angeregt, um Kindern grundlegende Erfahrungen zu diesem Phänomenbereich zu ermöglichen. Kinder machen meist schon sehr früh erste Entdeckungen mit Magneten in ihrem Alltag. An Spielzeugeisenbahnen, Magneten an Kühlschränktüren oder Schließmechanismen von Taschen können Kinder erkennen, dass Magnete bestimmte Dinge anziehen. Der Alltag bietet pädagogischen Fachkräften zahlreiche Möglichkeiten, die bekannten Beispiele aufzugreifen und zu nutzen.

¹⁴Alle Karten verfügbar unter www.haus-der-kleinen-forscher.de



Abbildung 22: Vorderseite und ...



... Rückseite der Einstiegskarte aus dem Kartensatz „Forschen mit Magneten“

Diese Grunderfahrungen bilden eine wichtige Basis und den Ausgangspunkt für vertiefende Untersuchungen, die auf den „Forschungskarten“ exemplarisch angeregt werden. Die Fachkräfte können die Kinder dabei unterstützen, systematisch zu beobachten, ihre Erfahrungen zu beschreiben und zu vergleichen. Auf diese Weise kann sich das kindliche Wissen und Verständnis über Magnete und deren Wechselwirkung untereinander und mit anderen Materialien erweitern.

Die Forschungskarten bieten in Anlehnung an diese Empfehlungen konkrete Anregungen zur praktischen Arbeit mit der Methode „Forschungskreis“. Es werden exemplarisch fünf Lernerfahrungen erläutert, die Kita-Kinder mit Magneten machen können:

- Ein Magnet kann Dinge anziehen.
- Ein Magnet zieht nur Dinge aus bestimmten Materialien an.
- Ein Magnet zieht Dinge auch auf Entfernung an.
- Ein Magnet zieht Dinge durch andere Materialien hindurch an.
- Zwei Magnete können sich nicht nur anziehen, sondern auch gegenseitig abstoßen.



FORSCHEN MIT MAGNETEN
Mögliche Lernerfahrung (1) Ein Magnet kann Dinge anziehen



FRAGE AN DIE NATUR STELLEN



Welche Dinge werden von einem Magnet angezogen?

Woran bleibt ein Magnet haften?

Tauschen Sie sich mit den Kindern über den Begriff „anziehen“ aus. In welchen Bedeutungszusammenhängen wird er genutzt? Was bedeutet der Begriff „haften“?

IDEEN UND VERMUTUNGEN SAMMELN



Überlegen Sie zusammen mit den Kindern, was durch Magnete angezogen wird bzw. woran Magnete haften. Welches Wissen bzw. welche Erfahrungen haben die Kinder dazu bereits?

Bitten Sie die Kinder, im Raum bzw. in der Kita nach je einem Gegenstand zu suchen, der ihrer Meinung nach von Magneten angezogen wird, und je einem, der nicht mit Magneten in Wechselwirkung tritt. Die Dinge werden dementsprechend sortiert auf zwei Haufen abgelegt.

Erfragen Sie, weshalb die Kinder diese Zuordnung treffen. Können die Kinder diese begründen? Stimmen die anderen Kinder zu, oder würden sie das jeweilige Ding umsortieren?

Bitten Sie die Kinder zu überlegen, was sie benötigen, um ihre Vermutungen zu überprüfen.

AUSPROBIEREN UND VERSUCH DURCHFÜHREN



Stellen Sie den Kindern für sie gut handhabbare Magnete zur Verfügung.

Mit diesen können die Kinder ausprobieren, welche der zuvor auf dem ersten Haufen zusammengetragenen und sortierten Gegenstände tatsächlich von einem Magnet angezogen werden. Auch der zweite Haufen an Objekten wird überprüft – werden all diese Dinge tatsächlich nicht angezogen? Lassen Sie die Kinder alles noch einmal mit verschiedenen starken Magneten überprüfen.

Es kann auch Gegenstände geben, die weder dem einen noch dem anderen Haufen zugeordnet werden können, da nicht alle ihre Bestandteile von Magneten angezogen werden. Diese können zunächst auf einen gesonderten Haufen gelegt werden.

magnetisch



nicht magnetisch





Abbildung 23: Vorderseite und ...

Benötigte Materialien:

- starke Dauermagnete in gut handhabbaren Formen und Abmessungen
- Dinge, die von Magneten angezogen werden
- Dinge, die nicht von Magneten angezogen werden

BEOBSACHTEN UND BESCHREIBEN

Sitten Sie die Kinder, ihre Beobachtungen zu formulieren und zu beschreiben.

An welchen Gegenständen bleiben die Magnete haften, bzw. was wird durch Magnete angezogen? Mühsam Dinge umsortiert werden? Gibt es Objekte, deren Zuordnung unklar ist und die deshalb zunächst gesondert gelegt werden müssen? Wie beschreiben die Kinder ihre Zuordnungen?

Gelingt es den Kindern, die Wechselwirkung zwischen Magnet und magnetischem Objekt mit Worten zu beschreiben? Ersetzen die Kinder das Wort „anziehen“ oder „halten“ durch andere Bezeichnungen, assoziieren sie ihre Beobachtungen mit Irgendetwas? Wie sieht es aus, wie fühlt es sich an, wenn ein Magnet etwas anzieht oder irgendwo haften bleibt?

Wirken alle verwendeten Magnete gleich, oder gibt es Unterschiede?

ERGEBNISSE DOKUMENTIEREN

Lassen Sie die Kinder ihre Forschungsergebnisse dokumentieren, und bieten Sie damit eine „Erinnerungsstütze“. Zeichnungen, Fotos, eigene Aussagen, Forscherheftbücher oder eine kleine Ausstellung eignen sich dafür.

Die nach ihren magnetischen Eigenschaften sortierten Dinge könnten fotografiert (zuerst vermutete Sortierung; per Magnet geprüfte Sortierung) oder aufklebt und ausgestellt werden.

Diese Ergebnisse können sukzessive durch zusätzliche Erkenntnisse, die die Kinder bei weiterführenden Experimenten sammeln, ergänzt werden. So wird der Prozess des Forschens nachvollziehbar veranschaulicht.

ERGEBNISSE ERÖRTERN

Tragen Sie mit den Kindern die Erkenntnisse und neuen Erfahrungen zusammen. Welche Ausgangsvermutungen haben sich bestätigt, welche nicht?

Versuchen Sie gemeinsam mit den Kindern, die magnetischen Dinge und insbesondere das Material, aus dem sie bestehen, zu charakterisieren (Glanz, Geruch, Gewicht, Geräusche beim Anschlagen, oft anzutreffen oder nicht, biegsam ...).

Überlegen Sie gemeinsam, wo in der Kita und im Alltag Magnete Anwendung finden. Welche Aufgaben haben sie? Was war beim vorangegangenen Forschen besonders interessant, worüber haben die Kinder am meisten gestaunt? Ergaben sich daraus neue Fragen, die zum Forschen anregen?

Es kann z. B. weiterhin spannend sein herauszufinden, ob:

- nur einzelne Abschnitte/Teile (z. B. bei der Wäsche-Klammer) des Objekts angezogen werden,
- zwei Dinge, die von Magneten angezogen werden, sich auch gegenseitig anziehen.



... Rückseite einer Forschungskarte aus dem Kartensatz „Forschen mit Magneten“

Die Expertisen in diesem Band betonen alle, dass individuelle Unterschiede im Vorwissen zwischen Kindern berücksichtigt werden müssen, um allen Kinder Bildungschancen zu eröffnen. Auch die Themenbroschüre „Forschen mit Magneten“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2011c) nimmt dieses Thema auf und weist darauf hin, dass die pädagogischen Fachkräfte sich auf die Gedanken- und Vorstellungswelt der Kinder einlassen müssen, wenn sie erkennen wollen, auf welchem Entwicklungsstand sich eine Gruppe bzw. jedes einzelne Kind gerade befindet. Nur dann kann erkannt werden, welche Lerngelegenheiten es den Mädchen und Jungen am besten ermöglichen, selbstständig den nächsten Schritt zu tun, aber auch den richtigen Impuls zur rechten Zeit zu setzen.

Das Kapitel „Der Blick vom Kind aus“ in der Themenbroschüre erläutert Vorwissen, Interessen und Kompetenzen von Kita-Kindern zum Thema „Magnetismus“ und soll den pädagogischen Fachkräften dabei helfen, sich auf die Gedanken- und Vorstellungswelt der Kinder einzulassen. In der Broschüre werden die Lernerfahrungen, die auf dem Kartensatz angeregt werden, durch weitere Vorschläge für die Umsetzung des Themas „Forschen mit Magneten“ mit vielen konkreten Praxisanregungen für den Kita-Alltag ergänzt.

Im letzten Kapitel „Wissenswertes für interessierte Erwachsene“ werden - angelehnt an die Empfehlungen der dritten Expertise in diesem Band - auch die Vorstellungen der Erwachsenen berücksichtigt. Dazu werden naturwissenschaftliche Hintergründe rund um das Thema „Magnetismus“ aufgegriffen, um dadurch Misskonzeptionen auf Seiten der Lernbegleitung zu verhindern.

Umsetzung der Empfehlungen zur Neuentwicklung des Themenschwerpunkts „Akustik“

Wie die Expertise von Susanna Jeschonek zeigt, eignet sich der Themenschwerpunkt „Akustik“ sehr gut um naturwissenschaftliches Denken und Forschen zu üben, da bereits Kinder in Kita- und Grundschulalter wichtige Voraussetzungen für die Auseinandersetzung mit akustischen Phänomenen mitbringen: Sie können schon früh differenziert hören und mit zunehmenden Alter und wachsender Übung verschiedene Klänge und Geräusche unterscheiden und beschreiben. Aufbauend auf vielfältigen Grunderfahrungen können sie durch eigenes Erforschen ihre Kenntnisse erweitern und so nach und nach ein vertieftes Verständnis akustischer Phänomene entwickeln. Gleichzeitig können Komponenten des naturwissenschaftlichen Denkens dabei hervorragend geübt und gefestigt werden. Sowohl Kita- als auch Grundschul Kinder sind zudem außerordentlich an akustischen Phänomenen interessiert.

Seit 2012 bietet die Stiftung daher den Themenschwerpunkt „Klänge und Geräusche – Akustische Phänomene mit Kita- und Grundschulkindern entdecken“ an. In Anlehnung an die Empfehlungen der Expertisen hat die Stiftung bei der Entwicklung des Kartensatzes zum Thema „Akustik“ zusätzlich zu den „Forschungskarten“ zum ersten Mal auch „Entdeckungskarten“ konzipiert. Die „Entdeckungskarten“ laden zum Kennenlernen eines Themas ein und ermöglichen Kindern, wesentliche Grunderfahrungen zu dem Thema zu sammeln und Phänomene möglichst nah am Alltag zu erfahren. Gerade jüngeren Kindern sollte zunächst viel Raum zum Erkunden eingeräumt werden. Die sechs Entdeckungskarten zum Thema Akustik laden zum Kennenlernen verschiedener akustischer Phänomene ein und ermöglichen Kindern, wesentliche Grunderfahrungen mit Klängen und Geräuschen zu sammeln.

KLÄNGE UND GERÄUSCHE

Phänomen entdecken: Schallarten
GERÄUSCHE SAMMELN UND ERKUNDEN

Wo begegnet es uns im Alltag?

Wir sind ständig von vielen verschiedenen Klängen und Geräuschen umgeben. Einige davon nehmen wir bewusst wahr, weil sie uns auf etwas hinweisen oder etwas Wichtiges signalisieren: die Sirene eines Krankenwagens oder das Klingeln unseres Weckers, das wir sogar im Schlaf hören und wissen, dass es Zeit ist aufzustehen. Viele Geräusche aber registrieren wir gar nicht bewusst. Wir nehmen sie erst wahr, wenn wir ganz genau hinhören.

Darum geht's

In einer Ruheübung stimmen sich die Kinder auf ein bewusstes Hinhören ein. Gemeinsam geht es auf „Geräuschejagd“. Es wird überlegt, an welchen Orten und zu welcher Zeit bestimmte Geräusche zu hören sind. Im „Geräusche-Theater“ werden Geräusche erzeugt, die von den Kindern erzählt werden können.

Das wird gebraucht

- Kissen, Decken, großes Tuch und Wäscheklammern
- viele verschiedene Gegenstände (aus unterschiedlichen Materialien), um Geräusche zu machen
- Aufnahmegerät, z.B. Kassetteneinspieler

VÖLLIG LAUTLOS ZU SEIN IST GAR NICHT SO EINFACH! (EINSTIMMUNG)

Suchen Sie gemeinsam mit den Kindern einen gemütlichen Sitzplatz. Geben Sie den Kindern Zeit zur Ruhe zu kommen. Dann schließen alle die Augen. Was ist zu hören? Lassen Sie die Kinder erzählen, was sie wahrnehmen. Es ist ganz überraschend, wie viele Geräusche sich ausmachen lassen, obwohl alle doch so leise sind!

WIR SAMMELN GERÄUSCHE

Welche Geräusche gibt es in der Kita und welche zu Hause? Sammeln Sie mit den Kindern typische Geräusche. Die Kinder können eine Geräuschquelle von zu Hause mitbringen und diese den anderen vorstellen.

Machen Sie einen Hör-Spaziergang mit den Kindern in Ihrer Stadt oder auf dem Kita-Gelände. Lassen Sie die Kinder die Gegenstände oder Objekte, die besonders interessante Geräusche erzeugen, malen oder fotografieren. Anschließend können alle gemeinsam darüber nachdenken, wo sie ein bestimmtes Geräusch gehört haben. Können Sie die Bilder auf einen Lageplan der Stadt oder der Kita. Anhand dieses Lageplans können die Kinder nun noch einmal gemeinsam mit ihnen nachzuvollziehen, wie es in Ihrer Stadt bzw. Ihrer Kita klingt. Lassen Sie die Kinder Geräusche mit einem Kassetteneinspieler aufnehmen, oder sammeln Sie Geräusche, indem Sie mit den Kindern aus Gegenständen und Materialien, die sich spannend anhören, eine „Geräusche-Wand“ basteln. Überlegen Sie gemeinsam mit den Kindern, welche Geräusche sie typischerweise morgens hören bzw. welche am Abend, und halten Sie diese per Bild oder Zeichnung auf einer „Geräusche-Uhr“ fest.

Hier, hört

Bestimme Geräusche sind an manchen Orten häufiger zu hören. Können wir allein an der Geräuschquelle erkennen, wo wir uns befinden?

KLEINE FORSCHER

Abbildung 24: Vorderseite und ...



KLÄNGE UND GERÄUSCHE





WIR ERKUNDEN GERÄUSCHE

Viele Klänge oder Geräusche entstehen, indem wir etwas tun oder etwas bewegen. Erkunden Sie mit den Kindern verschiedene Geräuschquellen: Welche Gegenstände klingen von allein, welche, wenn wir sie anschlagen oder bewegen?

Lassen Sie die Kinder beschreiben, wie sich etwas anhört. Sie werden ganz viele verschiedene Ausdrücke dafür finden können, ob sich etwas z. B. kratzig, schuppig, klingelnd, knallend oder schlaffend anhört. Übereilen Sie gemeinsam, was kurz oder lang, was laut oder leise klingt.

Was empfinden die Kinder als schön und angenehm? Welche der Klänge und Geräusche mögen sie nicht? Was wird als lähm wahrgenommen?

Hier, hört Geräusche lassen sich danach sortieren, wie sie entstehen oder wie sie sich anhören. Welche Geräusche wir als angenehm oder unangenehm erleben, ist sehr subjektiv und auch abhängig von persönlichen Erfahrungen, die mit einem Geräusch verbunden sind.

Abb. 4: Wie klingt die Büste auf dem Luftballon?

WISSENSWERTES FÜR INTERESSIERTE ERWACHSENE

Schall bezeichnet allgemein die auditive Information, wie sie von uns Menschen, aber auch von Tieren mit den Sinnen, insbesondere dem Gehör, wahrgenommen werden kann. Physikalisch können wir vier Arten von Schall unterscheiden: Ton, Klang, Geräusch und Knall.

Ein Ton bezeichnet eine reine, gleichmäßige Schwingung, die sich z. B. durch eine Stimmgabel erzeugen lässt. Klänge und Geräusche sind ein Gemisch aus verschiedenen Tönen, beim Klang sind diese harmlos, beim Geräusch stellen die einzelnen Töne in keinem systematischen Zusammenhang zueinander. Der Knall ist eine plötzliche, heftige Schwingung mit einem einmaligen Ausschlag und raschem Abklingen.

WIR SPIELEN „GERÄUSCHE-THEATER“

Inszenieren Sie ein „Geräusche-Theater“. Geben Sie den Kindern nacheinander die Möglichkeit, hinter einem Vorhang ein Geräusch zu erzeugen. Können alle anderen erraten, welche Geräuschquelle sich dahinter verbirgt? Erörtern Sie das Spiel, indem Sie versuchen, mit den Kindern zu erkunden, wie der Gegenstand bewegt wird oder aus welchem Material der Gegenstand besteht, mit dem das Geräusch erzeugt wurde.

Hier, hört Ob können wir ein Geräusch allein erkennen, welcher Gegenstand sich dahinter verbirgt.

Abb. 5: Mit geschlossenen Augen lässt es sich gut hören!



... Rückseite einer Entdeckungskarte aus dem Kartensatz zum Thema „Klänge und Geräusche“

Dies stellt eine wichtige Ausgangsbasis für weitergehende Fragen dar, die wiederum mit der Methode „Forschungskreis“ untersucht werden können. Auf den „Forschungskarten“, werden exemplarisch vertiefende Lernerfahrungen zu einem Thema dargestellt, die die pädagogischen Fachkräfte dabei unterstützen sollen, sich gemeinsam mit den Kindern in den Prozess des Forschens zu begeben. Während die Entdeckungskarten eher das „Was wird untersucht?“ thematisieren, sollen die Forschungskarten zu einem „Wie wird geforscht?“ anregen. Auf den drei Forschungskarten zum Thema Akustik werden exemplarisch folgende vertiefende Lernerfahrungen, die u. a. auf den Empfehlungen von Susanna Jeschonek basieren, im Bereich Lautstärke dargestellt:

- Weniger Kraft erzeugt ein leiseres Geräusch.
- Verschiedene Stoffe können Geräusche dämpfen.
- Je weiter die Schallquelle entfernt ist, desto leiser hört sich ein Geräusch an.



KLÄNGE UND GERÄUSCHE

Phänomen erforschen: Lautstärke
VERSCHIEDENE STOFFE KÖNNEN GERÄUSCHE DÄMPFEN



FRAGE AN DIE NATUR STELLEN

Geräusche können sich laut oder leise anhören.

Hängt das davon ab, ob etwas aus Stoff (z. B. Verpackung, Vorhang, Mütze) zwischen uns und der Geräuschquelle ist?



IDEEN UND VERMUTUNGEN SAMMELN

Welche Erfahrungen bringen die Kinder bereits mit? Überlegen Sie gemeinsam mit den Kindern, wie sich unser Können verändert, wenn wir eine dicke Mütze aufsetzen oder Ohrschützer tragen. Was passiert, wenn wir uns die Ohren zudecken? Wie hört sich die Straße vor dem Haus bei geöffneten, wie bei geschlossenen Fenster an?

Erörtern Sie ausgehend von diesen Beispielen mit den Kindern, auf welche Weise man ein Geräusch, z. B. das Ticken einer Eieruhr, am besten leiser klingen lassen könnte.

Stellen Sie den Kindern dafür verschiedene Gefäße, wie z. B. ein Kesselschüssel aus Metall, ein großes Glas, einen Schüsselchen oder eine Holzbox, zur Verfügung. Lassen Sie die Kinder außerdem verschiedene Materialien und Stoffe sammeln, die zusätzlich in die Gefäße und Dosen gefüllt oder gestopft werden können.

Tragen Sie die Vermutungen der Kinder zusammen. Womit lässt sich das Geräusch wohl am besten dämpfen? Diskutieren Sie mit den Kindern darüber noch, wie sie Ihre Vermutungen konkret überprüfen könnten.



AUSPROBIEREN UND VERSUCH DURCHFÜHREN

Lassen Sie die Kinder die dämmenden Eigenschaften der verschiedenen Gefäße und einzelnen Materialien genau erkunden. Dafür ist es hilfreich, wenn die Kinder zwei Eieruhren zum Vergleich haben – wie laut ist das Ticken bei der verpackten Eieruhr im Vergleich zur unverpackten?

Lassen Sie die beiden Uhren unter den Kindern herumgehen, damit alle vergleichen können. Achten Sie darauf, dass sämtliche Uhren auch immer aufgezogen sind und tatsächlich ticken!



Abbildung 25: Vorderseite und ...



BEOBACHTEN UND BESCHREIBEN



ERGEBNISSE DOKUMENTIEREN



ERGEBNISSE ERÖRTERN

Materialien:

- mehrere Eieruhren/Kurzzeitwecker oder andere Geräuschquellen, die sich gut verpacken lassen
- unterschiedliche Boxen, Schachteln und Dosen aus Metall, Holz oder Pappe, ein großes Einwegglas
- verschiedene Dämmmaterialien, wie z. B. Wolle, Watte, Schaumstoff, Handtücher, Schal und Mütze, sowie Luftpolsterfolie, Styropor und andere Füllmaterialien, die weniger gut dämmen, wie beispielsweise Murmeln, Kiesel, Zeitung

Lauschen Sie gemeinsam, und lassen Sie die Kinder beschreiben, was sie beobachten und hören.

Gibt es Unterschiede zwischen den Eieruhren? Hört sich eine lauter, eine leiser an? Welche klingt leiser?

Mit welcher Verpackung hört sich das Geräusch leiser an? Welche Gefäße und Verpackungsmaterialien funktionieren nicht so gut zum Dämpfen? Klingt die Eieruhr in bestimmten Gefäßen sogar lauter als zuvor?

Die Kinder können nun auch alle Materialien und Gefäße kombiniert ausprobieren. Wer schafft es, die Uhr so zu verpacken, dass man das Ticken nicht mehr hören kann? Und das Klingeln der Uhr – ist das noch zu hören?



Fotografieren Sie die verschiedenen Materialien und Gefäße, die die Kinder zum Verpacken der Eieruhren benutzt haben. Anhand der Bilder können Sie später noch einmal gemeinsam überlegen, welche der Materialien das Ticken der Uhr gut und welche es weniger gut gedämpft haben.

Beschreiben Sie die Bilder mit den Bezeichnungen der Kinder und gestalten Sie gemeinsam z. B. zwei Plakate mit gut dämmenden und weniger gut dämmenden Materialien und Gefäßen.

Wenn Sie die Plakate aushängen, erfahren alle anderen wissbegierigen kleinen und großen Forscherinnen und Forscher in Kita und Elternschaft von den Ergebnissen der Gruppe.



Sammeln Sie mit den Kindern noch einmal, was sie alles herausgefunden haben. Wann war das Ticken der Uhr leiser, wann war es gar nicht mehr zu hören? Wurde das Ticken leiser, je mehr Materialien und Stoffe um die Uhr gewickelt waren? Haben sich die anfänglichen Vermutungen bestätigt?

Was es egal, welche Verpackungen und Füllmaterialien verwendet wurden, oder gab es solche, die besonders gut zum Dämpfen geeignet waren? Hat die Eieruhr in bestimmten Gefäßen sogar lauter geklungen?

Weiterführend könnten Sie mit den Kindern überlegen, welche anderen Möglichkeiten es gibt, das Ticken der Uhr leiser zu hören. Könnte man statt der Schallquelle auch den Schallweg dämpfen? Und könnte man damit zum gleichen Ergebnis? Was meinen die Kinder?

Lassen Sie die Kinder verschiedene Mützen und Strohhalme aufsetzen. Bitten Sie gemeinsam Ohrschützer aus den Materialien, die das Ticken der Eieruhr besonders gut dämpfen konnten. Zusätzlich können sich die Kinder die Ohren zudecken. Ist das Ticken der Eieruhr jetzt genauso leise wie zuvor, als sie verpackt war?



... Rückseite einer Forschungskarte aus dem Kartensatz zum Thema „Klänge und Geräusche“

Auch in der Themenbroschüre „Klänge und Geräusche – Akustische Phänomene mit Kita- und Grundschulkindern entdecken“ (Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 2012) werden die Empfehlungen der Expertisen aufgegriffen und umgesetzt. Zum Einstieg in das Thema wird der Bezug zu täglichen Erfahrungen mit Klängen und Geräuschen hergestellt und damit die Integration von neuen Lernerfahrungen in bisherige Alltagserfahrungen thematisiert. Zudem gibt es in der Themenbroschüre – ähnlich wie in der Themenbroschüre

„Forschen mit Magneten“ – das Kapitel „Der Blick vom Kind aus“, in dem explizit auf Vorwissen, Interessen und Kompetenzen von Kita- und Grundschulkindern zum Thema Akustik eingegangen wird. Das letzte Kapitel „Naturwissenschaftliche Hintergründe – Wissenswertes für interessierte Erwachsene“ richtet sich wiederum an die Erwachsenen. Es werden naturwissenschaftliche Hintergründe rund um das Thema „Klänge und Geräusche“ aufgegriffen.



Abbildung 26: Titelseite der Themenbroschüre „Klänge und Geräusche – Akustische Phänomene mit Kita- und Grundschulkindern entdecken“

Umsetzung der Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Themenschwerpunkte „Luft“ und „Wasser“

In der Expertise von Salman Ansari stehen Prozesse des Lehrens und Lernens aus der Sicht der kognitiven Wissenschaften im Mittelpunkt. Der Autor beschreibt hierzu viele konkrete Beispiele für die praktische Umsetzung. Dabei nimmt er vor allem die Themenschwerpunkte „Luft“ und „Wasser“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ genauer unter die Lupe und spricht Empfehlungen für die Weiterentwicklung aus. In Anlehnung daran hat die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ begonnen, in Abstimmung mit Salman Ansari den Kartensatz zum Thema „Luft“ weiterzuentwickeln. Auch der Kartensatz zum Thema „Wasser“ wird im Hinblick auf das Format und die Komplexität der Inhalte derzeit überarbeitet. Für beide Themenkomplexe „Luft“ und „Wasser“ soll es künftig Entdeckungs- und Forschungskarten geben. Als direkte Folge von Ansaris Empfehlungen wurde bereits eine Karte aus dem Kartensatz „Luft“ entfernt (die Experimentierkarte „Kerzenfahrstuhl“), die ein sehr komplexes Phänomen thematisiert und somit zur Entwicklung von kindlichen Fehlvorstellungen hätte beitragen können.

Ausblick

Die Beiträge dieses Bandes haben viele wertvolle Hinweise geliefert, welche entwicklungspsychologischen Voraussetzungen in den Stiftungsangeboten und deren praktischer Umsetzung berücksichtigt werden sollten. Wie beschrieben, sind eine Vielzahl dieser Anregungen bereits in Materialien und Handreichungen der Stiftung umgesetzt worden. Auch künftig sollen aktuelle Ergebnisse der Entwicklungsforschung möglichst zeitnah in die inhaltlichen Angebote einfließen. Neben dieser fachlichen Fundierung nimmt die Stiftung den Anspruch an wissenschaftliche Begleitung und Evaluation sehr ernst und hat ihre Aktivitäten im Bereich Begleitforschung in den letzten Jahren kontinuierlich ausgeweitet.

Die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ möchte mit ihrer Begleitforschung Erkenntnisse darüber gewinnen, wie die Arbeit der Initiative die frühen naturwissenschaftlichen Bildungsprozesse von Kindern tatsächlich verändert und inwieweit und mit welchen Maßnahmen sie ihre selbst gesteckten Ziele erreicht. Neben dem kontinuierlichen internen Qualitätsmonitoring aller qualifizierenden Aktivitäten der Stiftung, der jährlichen Frühjahrsbefragung aller Zielgruppen sowie den wissenschaftlichen Expertisen werden regelmäßig externe empirische Studien zu den Wirkungen der Stiftungsarbeit durchgeführt. All diese Ergebnisse helfen der Stiftung dabei, ihre Angebote und Konzepte kontinuierlich weiterzuentwickeln.

Durch die Integration neuester Erkenntnisse aus der Wissenschaft wie auch Erfahrungen aus der Praxis in ihre Qualifizierungsangebote arbeitet die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ beständig an dem Ziel, die Bildungschancen aller Kita- und Grundschulkindern in Deutschland in den Bereichen Naturwissenschaften, Technik und Mathematik zu verbessern.



Literatur

A Entwicklung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit

- Antell, S. E. & Keating, D. P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development*, 54(3), 695-701.
- Astuti, R., Solomon, G. E. A. & Carey, S. (2004). Constraints on Conceptual Development. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 69(3), vii-135.
- Au, T. K., Sidle, A. L. & Rollins, K. B. (1993). Developing an intuitive understanding of conservation and contamination: Invisible particles as a plausible mechanism. *Developmental Psychology*, 29(2), 286-299.
- Baillargeon, R. (1998). Infants' understanding of the physical world. In M. Sabourin, F. Craik & M. Robert (Hrsg.), *Advances in psychological science, Vol. 2: Biological and cognitive aspects* (S. 503-529). Hove, England: Psychology Press.
- Baillargeon, R., & Carey S. (in press). Core cognition and beyond: The acquisition of physical and numerical knowledge. In S. Pauen & M. Bornstein (Eds.), *Early childhood development and later achievement*. London: Cambridge University Press.
- Baillargeon, R., Kotovsky, L. & Needham, A. (1995). The acquisition of physical knowledge in infancy. In D. Sperber, D. Premack & A. J. Premack (Hrsg.), *Causal cognition: A multidisciplinary debate* (S. 79-116). New York, NY, US: Clarendon Press.
- Baillargeon, R., Li, J., Gertner, Y. & Wu, D. (2011). How do infants reason about physical events? In U. Goswami (Ed.). *The Wiley-Blackwell handbook of childhood cognitive development* (2nd ed.). pp. 11-48. Wiley-Blackwell.
- Bar, V. & Trevis, A. S. (1991). Children's view concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382.
- Baroody, A. J., Lai, M.-I. & Mix, K. S. (2006). The development of young children's early number and operation sense and its implications for early childhood education. In B. Spodek & O. N. Saracho (Hrsg.), *Handbook of research on the education of young children* (2nd ed., S. 187-221). Mahwah, NJ, US: Erlbaum.
- Bisanz, J., Sherman, J. L., Rasmussen, C., Ho, E. & Campbell, J. I. D. (2005). Development of arithmetic skills and knowledge in preschool children. In *Handbook of mathematical cognition* (S. 143-162). New York, NY, US: Psychology Press.
- Booth, J. L. & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology*, 42(1), 189-201.
- Brannon, E. M. (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition*, 83(3), 223-240.
- Brannon, E.M., & Terrace, H.S. (1998). Ordering of the numerosities 1-9 by monkeys. *Science*, 282, 746-749.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington, DC, US: National Academy Press.
- Bullock, M., Gelman, R. & Baillargeon, R. (1982). The development of causal reasoning. In W. J. Friedman (Hrsg.), *The developmental psychology of time* (S. 209-254). New York: Academic Press.
- Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J. & Pelphey, K. A. (2006). Functional imaging of numerical processing in adults and 4-year-old children. *PLOS Biology*, 4(5), 0844-0854.

- Cantlon, J.F., & Brannon, E.M. (2007). How much does number matter to a monkey? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 33(1), 32–41.
- Cantlon, J.F., Safford, K.E., & Brannon, E.M. (2010). Spontaneous analog number representations in three-year-old children. *Developmental Science*, 13(2), 289-297.
- 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 (Hrsg.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (S. 257-291). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 13-19.
- Carey, S. & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Hrsg.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (S. 169-200). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Clearfield, M. W. & Mix, K. S. (1999). Number versus contour length in infants' discrimination of small visual sets. *Psychological Science*, 10(5), 408-411.
- Clements, D., Sarama, J. & DiBiase, A. M. (Hrsg.). (2004). *Engaging young children in mathematics: Standards for early childhood mathematics education*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Cohen, L. B. (1969). Observing responses, visual preferences, and habituation to visual stimuli in infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 7(3), 419-433.
- Cohen, L. B. & Marks, K. S. (2002). How infants process addition and subtraction events. *Developmental Science*, 5(2), 186-201.
- Cohen, L. B. & Oakes, L. M. (1993). How infants perceive a simple causal event. *Developmental Psychology*, 29(3), 421-433.
- Cooper, R. G. (1984). Early number development: Discovering numberspace with addition and subtraction. In C. Sophian (Hrsg.), *Origins of cognitive skills* (S. 157-192). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cordes, S., Gelman, R., Gallistel, C., & Whalen, J. (2001). Variability signatures distinguish verbal from nonverbal counting for both large and small numbers. *Psychonomic Bulletin and Review*, 8(4), 698–707.
- Correa, J., Nunes, T. & Bryant, P. (1998). Young children's understanding of division: The relationship between division terms in a noncomputational task. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 321-329.
- Csibra, G. & Gergely, G. (2009). Natural pedagogy. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 148-153.
- Das Gupta, P. & Bryant, P. E. (1989). Young children's causal inferences. *Child Development*, 60(5), 1138-1146.
- Das neue Bertelsmann Lexikon* (2002). Gütersloh: Bertelsmann Lexikon.
- Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics*. New York: Oxford University Press.
- Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G. & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neurosciences*, 21(8), 355-361.

- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R. & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284(5416), 970-974.
- Dowker, A. D. (1998). Individual differences in normal arithmetical development. In C. Donlan (Hrsg.), *The development of mathematical skills* (S. 275-302). Hove, England: Psychology Press.
- Dunbar, K. & Fugelsang, J. (2005). Scientific thinking and reasoning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (S. 705-725). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P. et al. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446.
- Denison, S., Reed, C. & Xu, F. (in press) The emergence of probabilistic reasoning in very young infants: evidence from 4.5- and 6-month-old infants. *Developmental Psychology*.
- Estes, D., Wellman, H. M. & Woolley, J. (1989). Children's understanding of mental phenomena. *Advances in Child Development and Behavior*, 22, 41-87.
- Feigenson, L., Carey, S. & Hauser, M. (2002). The representations underlying infants' choice of more: Object files versus analog magnitudes. *Psychological Science*, 13(2), 150-156.
- Feigenson, L., Carey, S. & Spelke, E. (2002). Infants' discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive Psychology*, 44(1), 33-66.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8 (7), 307-314.
- Flavell, J. H. (1985). *Cognitive Development* (2. Aufl.). Hillsdale, NJ: Prentice-Hall.
- Fodor, J. (1972). Some reflections on L. S. Vygotsky's Thought and Language. *Cognition*, 1(1), 83-95.
- Fthenakis, W. E. (2004). Implikationen und Impulse für die Weiterentwicklung von Bildungsqualität in Deutschland. In W. E. Fthenakis & P. Oberhumer (Hrsg.), *Frühpädagogik international: Bildungsqualität im Blickpunkt* (S. 387-402). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. New York, NY, US: Springer.
- Futó, J., Téglás, E., Csibra, G. & Gergely, G. (2010). Communicative function demonstration induces kind-based artifact representation in preverbal infants. *Cognition*, 117(1), 1-8.
- Gallistel, C. R. (2007). Commentary on Le Corre & Carey. *Cognition*, 105(2), 439-445.
- Gallistel, C. R. & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44(1), 43-74.
- Gallistel, C. R. & Gelman, R. (2000). Non-verbal numerical cognition: From reals to integers. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(2), 59-65.
- Gao, F., Levine, S. C. & Huttenlocher, J. (2000). What do infants know about continuous quantity? *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(1), 20-29.
- Gelman, R. (2000). The epigenesis of mathematical thinking. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 27-37.
- Gelman, R., Bullock, M. & Meck, E. (1980). Preschoolers' understanding of simple object transformations. *Child Development*, 51(3), 691-699.
- Gelman, R. & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Gelman, R. & Gallistel, C. R. (1986). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA, US: Harvard University Press.
- Gelman, R. & Williams, E. M. (1998). Enabling constraints for cognitive development and learning: Domain specificity and epigenesis. In W. Damon, D. Kuhn & R. S. Siegler (Hrsg.), *Handbook of child psychology. Volume 2: Cognition, perception, and language* (S. 575-630). Hoboken, NJ: Wiley.
- Gelman, S. A. (2003). *The essential child: Origins of essentialism in everyday thought*. New York, NY, US: Oxford University Press.
- Gelman, S. A. & Opfer, J. E. (2002). Development of the animate-inanimate distinction. In U. Goswami (Hrsg.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development*. (S. 151-166). Malden, MA, US: Blackwell Publishing.
- Gelman, S. A. & Wellman, H. M. (1991). Insides and essence: Early understandings of the non-obvious. *Cognition*, 38(3), 213-244.
- Ginsburg, H. P. (2006). Mathematical play and playful mathematics: A guide for early education. In D. G. Singer, R. M. Golinkoff & K. Hirsh-Pasek (Hrsg.), *Play = learning: How play motivates and enhances children's cognitive and social-emotional growth* (S. 145-165). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Ginsburg, H. P., Cannon, J., Eisenband, J. & Pappas, S. (2006). Mathematical thinking and learning. In K. McCartney & D. Phillips (Hrsg.), *Blackwell handbook of early childhood development*. (S. 208-229). Malden, MA, US: Blackwell.
- Ginsburg, H. P., Klein, A. & Starkey, P. (1998). The development of children's mathematical thinking: Connecting research with practice. In W. Damon, I. E. Sigel & K. A. Renninger (Hrsg.), *Handbook of child psychology, Vol. 4: Child psychology in practice* (5th ed., S. 401-476). Hoboken, NJ, US: Wiley & Sons.
- Gopnik, A. (1996). The scientist as child. *Philosophy of Science*, 63, 485-514.
- Gopnik, A., Kuhl, P. K. & Meltzoff, A. N. (2000). *Forschergeist in Windeln: Wie Ihr Kind die Welt begreift*. Kreuzlingen: Hugendubel.
- Gopnik, A. & Sobel, D. M. (2000). Detectingblickets: How young children use information about novel causal powers in categorization and induction. *Child Development*, 71(5), 1205-1222.
- Gopnik, A., Sobel, D. M., Schulz, L. E. & Glymour, C. (2001). Causal learning mechanisms in very young children: Two-, three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, 37(5), 620-629.
- Gordon, P. (2004). Numerical Cognition Without Words: Evidence from Amazonia. *Science*, 306(5695), 496-499.
- Goswami, U. (2001). *So denken Kinder: Einführung in die Psychologie der kognitiven Entwicklung*. Bern: Huber.
- Goswami, U. (2008). *Cognitive development: The learning brain*. New York, NY, US: Psychology Press.
- Gräber, W. & Stork, H. (1984). Die Entwicklungspsychologie Jean Piagets als Mahnerin und Helferin des Lehrers im naturwissenschaftlichen Unterricht - Teil 2. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 37(5), 257-269.
- Hatano, G., Siegler, R. S., Richards, D. D. & Inagaki, K. (1993). The development of biological knowledge: A multi-national study. *Cognitive Development*, 8(1), 47-62.

- Hickling, A. K. & Gelman, S. A. (1995). How does your garden grow? Early conceptualization of seeds and their place in plant growth cycle. *Child Development*, 66(3), 856-876.
- Hood, B. M. (1998). Gravity does rule for falling events. *Developmental Science*, 1(1), 59-63.
- Hood, B. M., Cole-Davies, V. & Dias, M. (2003). Looking and search measures of object knowledge in preschool children. *Developmental Psychology*, 39(1), 61-70.
- Hunter, M. A. & Ames, E. W. (1988). A multifactor model of infant preferences for novel and familiar stimuli. *Advances in Infancy Research*, 5, 69-95.
- Huntley-Fenner, G. (1999). *The effect of material kind on preschoolers' judgements of quantity*. Paper presented at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Albuquerque, NM.
- Huntley-Fenner, G. (2001). Children's understanding of number is similar to adults' and rats': Numerical estimation by 5-7-year olds. *Cognition*, 78(3), B27-B40.
- Huttenlocher, J., Duffy, S. & Levine, S. C. (2000). *The coding of extent: Early use of a standard*. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Huttenlocher, J., Jordan, N. C. & Levine, S. C. (1994). A mental model for early arithmetic. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(3), 284-296.
- Huttenlocher, P. R. (1990). Morphometric study of human cerebral cortex development. *Neuropsychologia*, 28(6), 517-527.
- Hyde, D.C. & Spelke, E.S., (2011). Neural signatures of number processing in human infants: Evidence for two core systems underlying numerical cognition. *Developmental Science*. 14(2),360-371.
- Inagaki, K. & Hatano, G. (1993). Young children's understanding of the mind-body distinction. *Child Development*, 64(5), 1534-1549.
- Inagaki, K. & Hatano, G. (1996). Young children's recognition of commonalities between animals and plants. *Child Development*, 67(6), 2823-2840.
- Jordan, N. C., Hanich, L. B. & Uberti, H. Z. (2003). Mathematical thinking and learning difficulties. In A. J. Baroody & A. Dowker (Hrsg.), *The development of arithmetic concepts and skills: Constructing adaptive expertise*. (S. 359-383). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W. & Volkman, J. (1949). The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology*, 62, 498-525.
- Kilpatrick, J., Swafford, J. & Findell, B. (Hrsg.). (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. Washington, DC: National Academy Press.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA, US: MIT Press.
- Kloos, H. & Van Orden, G. C. (2005). Can a preschooler's mistaken belief benefit learning? *Swiss Journal of Psychology/Schweizerische Zeitschrift für Psychologie/Revue Suisse de Psychologie*, 64(3), 195-205.
- Kobayashi, T., Hiraki, K., Mugitani, R. & Hasegawa, T. (2004). Baby arithmetic: One object plus one tone. *Cognition*, 91(2), B23-B34.
- Koerber, S., Sodian, B., Thoermer, C. & Nett, U. (2005). Scientific reasoning in young children: Preschoolers' ability to evaluate covariation evidence. *Swiss Journal of Psychology/Schweizerische Zeitschrift für Psychologie/Revue Suisse de Psychologie*, 64(3), 141-152.
- Kotovsky, L. & Baillargeon, R. (2000). Reasoning about collisions involving inert objects in 7.5-month-old infants. *Developmental Science*, 3(3), 344-359.

- 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(4), 952-966.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96(4), 674-689.
- Kuhn, D., Amsel, E. & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. San Diego, CA, US: Academic Press.
- Kuhn, D. & Pearsall, S. (2000). Developmental origins of scientific thinking. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 113-129.
- Kuhn, T. (1976). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* (2. Aufl.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Langford, P. E. (2005). *Vygotsky's developmental and educational psychology*. New York, NY, US: Psychology Press.
- Le Corre, M. & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more: An investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition*, 105(2), 395-438.
- Le Corre, M., Van de Walle, G., Brannon, E. M. & Carey, S. (2006). Re-visiting the competence/performance debate in the acquisition of the counting principles. *Cognitive Psychology*, 52(2), 130-169.
- Le Corre, M. & Carey, S. (2008). Why the verbal counting principles are constructed out of representations of small sets of individuals: A reply to Gallistel. *Cognition*, 107(2), 650-662.
- Leslie, A. M. (1982). The perception of causality in infants. *Perception*, 11(2), 173-186.
- Leslie, A. M. & Keeble, S. (1987). Do six-month-old infants perceive causality? *Cognition*, 25(3), 265-288.
- Leslie, A.M., Gelman, R. & Gallistel, C.R. (2008). The generative basis of natural number concepts, *Trends in Cognitive Sciences*, 12(6) , 213-218.
- Levine, S. C., Jordan, N. C. & Huttenlocher, J. (1992). Development of calculation abilities in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 53(1), 72-103.
- Levine S.C., Suriyakham L.W., Rowe M.L., Huttenlocher J. & Gunderson, E.A. (2010). What counts in the development of young children's number knowledge? *Developmental Psychology*, 46(5),1309-1319.
- Lewkowicz, D. J. (2000). Infants' perception of the audible, visible, and bimodal attributes of multimodal syllables. *Child Development*, 71(5), 1241-1257.
- Lewkowicz, D. J., Dickson, L. & Kraebel, K. (2001). *Perception of multimodal rhythm in human infants*. Paper presented at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Minneapolis, MN, USA.
- Lind, K. K. (1997). Science in the developmentally appropriate integrated curriculum. In C. H. Hart, D. C. Burts & R. Charlesworth (Hrsg.), *Integrated curriculum and developmentally appropriate practice: Birth to age eight* (S. 75-101). Albany, NY, US: State University of New York Press.
- Libertus, M. E., Feigenson, L. & Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental Science*, 14(6), 1292-1300.
- Lück, G. (2004). Naturwissenschaften im frühen Kindesalter. In W. E. Fthenakis & P. Oberhuemer (Hrsg.), *Frühpädagogik international: Bildungsqualität im Blickpunkt* (S. 331-344). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.

- Malofeeva, E., Day, J., Saco, X., Young, L. & Ciancio, D. (2004). Construction and Evaluation of a Number Sense Test With Head Start Children. *Journal of Educational Psychology*, 96(4), 648-659.
- McCloskey, M., Washburn, A. & Felch, L. (1983). Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9(4), 636-649.
- McCrink, K. & Wynn, K. (2004). Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychological Science*, 15(11), 776-781.
- McCrink, K. & Wynn, K. (2007). Ratio abstraction by 6-month-old infants. *Psychological Science*, 18, 740-745.
- McCrink, K. & Wynn, K. (2008). Mathematical Reasoning. In M. Haith & J. Benson (Eds.), *The Encyclopedia of Infant and Early Childhood Development*, 2, pp. 280-289. Elsevier Press.
- McCrink, K. & Wynn, K. (2009). Operational momentum in large-number addition and subtraction by 9-month-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(4), 400-408.
- Mechner, F. (1958). Probability relations within response sequences under ratio reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 1, 109-121.
- Mechner, F. & Guevrekian, L. (1962). Effects of deprivation upon counting and timing in rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 5(4), 463-466.
- Meck, W. H. & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9(3), 320-334.
- Mehler, J. & Bever, T. G. (1967). Cognitive capacity of very young children. *Science*, 158(3797), 141-142.
- Miller, K. F. (1984). Child as measurer of all things: Measurement procedures and the development of quantitative concepts. In C. Sophian (Hrsg.), *Origins of cognitive skills* (S. 193-228). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mix, K. S. (1999). Similarity and numerical equivalence appearances count. *Cognitive Development*, 14(2), 269-297.
- Mix, K. S. (2002). The construction of number concepts. *Cognitive Development*, 17(3), 1345-1363.
- Mix, K. S., Huttenlocher, J. & Levine, S. C. (1996). Do preschool children recognize auditory-visual numerical correspondences? *Child Development*, 67(4), 1592-1608.
- Mix, K. S., Huttenlocher, J. & Levine, S. C. (2002a). Multiple cues for quantification in infancy: Is number one of them? *Psychological Bulletin*, 128(2), 278-294.
- Mix, K. S., Huttenlocher, J. & Levine, S. C. (2002b). *Quantitative development in infancy and early childhood*. New York, NY, US: Oxford University Press.
- Mix, K. S., Levine, S. C. & Huttenlocher, J. (1997). Numerical abstraction in infants: Another look. *Developmental Psychology*, 33(3), 423-428.
- Moore, D., Benenson, J., Reznick, J. S., Peterson, M. & Kagan, J. (1987). Effect of auditory numerical information on infants' looking behavior: Contradictory evidence. *Developmental Psychology*, 23, 665-670.
- Moyer, R. S. & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215(5109), 1519-1520.
- Muentener, P. & Carey, S. (2010). Infants' causal representations of state change events. *Cognitive Psychology*, 61(2010), 63-86.

- Newcombe, N., Huttenlocher, J. & Learmonth, A. (1999). Infants' coding of location in continuous space. *Infant Behavior & Development*, 22(4), 483-510.
- Nunes, T. & Bryant, P. (2004). Mathematical and scientific thinking. In J. Oates & A. Grayson (Hrsg.), *Cognitive and language development in children*. (S. 259-301). Malden, MA, US: Blackwell Publishing.
- Nunes, T., Bryant, P., Evans, D., Bell, D., Gardner, S., Gardner, A. et al. (2007). The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(1), 147-166.
- Oakes, L. M. (1994). Development of infants' use of continuity cues in their perception of causality. *Developmental Psychology*, 30(6), 869-879.
- Opfer, J. E. & Siegler, R. S. (2004). Revisiting preschoolers' living things concept: A microgenetic analysis of conceptual change in basic biology. *Cognitive Psychology*, 49(4), 301-332.
- Osborne, R. J. & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Pappas, S., Ginsburg, H. P. & Jiang, M. (2003). SES differences in young children's metacognition in the context of mathematical problem solving. *Cognitive Development*, 18(3), 431-450.
- Pauen, S. (2002). Evidence for knowledge-based category discrimination in infancy. *Child Development*, 73(4), 1016-1033.
- Pauen, S. (2004). Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung: Modethema oder Klassiker? *Zeitschrift für Pädagogik*, 50(4).
- Pauen, S. (2006). Was Babys denken: Eine Geschichte des ersten Lebensjahres. München: Beck.
- Pauen, S. (2009). *Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitung*. In Heinrich Pesch Haus, Kath. Akademie Rhein-Neckar (Hrsg.). Vom Klein-Sein zum Einstein. Ludwigshafen am Rhein: aviva Beisel GmbH. (www.offensive-bildung.de)
- Pauen, S. & Herber, V. (2009) (Hrsg.). *Offensive Bildung – Vom Kleinsein zum Einstein*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Pauen, S. & Pahnke, J. (2006). Denkentwicklung und Begabungsförderung in der frühen Kindheit. *Journal für Begabtenförderung*(2), 12-16.
- Perner, J. (1991). *Understanding the representational mind*. Cambridge, MA, US: MIT Press.
- Piaget, J. (1969). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. Stuttgart: Klett.
- Piaget, J. (1974). *Understanding causality*. New York: Norton (deutsch: Die Entwicklung der Kausalität. Gesammelte Werke, Bd. 2, Kapitel 3).
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1975). *Gesammelte Werke. Die Entwicklung der physikalischen Mengenbegriffe beim Kinde* (1. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Piaget, J., Inhelder, B. & Szeminska, A. (1960). *The child's conception of geometry*. Oxford, England: Basic Books.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V. & Dehaene, S. (2004). Exact and Approximate Arithmetic in an Amazonian Indigene Group. *Science*, 306(5695), 499-503.
- Pinel, P., Dehaene, S., Rivière, D. & LeBihan, D. (2001). Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage*, 14, 1013-1026.
- Rademacher, J., Trautewig, N., Günther, A., Lehmann, W. & Quaiser-Pohl, C. (2005). Wie können mathematische Fähigkeiten im Kindergarten gefördert werden? Ein Förderprogramm und seine Evaluation. *Report Psychologie*, 30, 366-376.

- Ramani, G. B. & Siegler, R. S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child Development*, 79(2), 375-394.
- Ramani, G. B. & Siegler, R. S. (2011). Reducing the gap in numerical knowledge between low- and middle-income preschoolers. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 32, 146-159.
- Rempp, T. (2007). Die Förderung naturwissenschaftlichen Denkens und chemischen Wissens im Kindergarten. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Heidelberg.
- Rosen, A. B. & Rozin, P. (1993). Now you see it, now you don't: The preschool child's conception of invisible particles in the context of dissolving. *Developmental Psychology*, 29(2), 300-311.
- Ruffman, T., Perner, J., Olson, D. R. & Doherty, M. (1993). Reflecting on scientific thinking: Children's understanding of the hypothesis-evidence relation. *Child Development*, 64(6), 1617-1636.
- Sarnecka, B. W. & Gelman, S. A. (2004). Six does not just mean a lot: Preschoolers see number words as specific. *Cognition*, 92(3), 329-352.
- Saxe, G. B. (1977). A developmental analysis of notational counting. *Child Development*, 48(4), 1512-1520.
- Scorza de Appl, C. (n. d.). *Was ist Naturwissenschaftliche Frühförderung (NWFF)? Erste Überlegungen.* Unveröffentlichtes Manuskript, Universität Heidelberg.
- Selter, C. (1993). Die Kluft zwischen den arithmetischen Kompetenzen von Erstklässlern und dem Pessimismus der Experten. In *Beiträge zum Mathematikunterricht* (S. 350-353). Hildesheim: Franzbecker.
- Siegler, R. S. & Booth, J. L. (2004). Development of Numerical Estimation in Young Children. *Child Development*, 75(2), 428-444.
- Siegler, R. S., DeLoache, J. & Eisenberg, N. (2005). *Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter*. Heidelberg: Spektrum.
- Siegler, R. S. & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14(3), 237-243.
- Siegler, R. S. (2009). Improving the numerical understanding of children from low-income families. *Child Development Perspectives*, 3, 118-124.
- Siegler, R. S., & Ramani, G. B. (2009). Playing linear number board games -- but not circular ones -- improves low-income preschoolers' numerical understanding. *Journal of Educational Psychology*, 101, 545-560.
- Simon, T. J. (1997). Reconceptualizing the origins of number knowledge: A „non-numerical“ account. *Cognitive Development*, 12, 349-372.
- Simon, T. J., Hespos, S. J. & Rochat, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10(2), 253-269.
- Slone, M. & Bockhurst, F. D. (1992). Children's understanding of sugar water solutions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 221-235.
- Sobel, D. M., Yoachim, C. M., Gopnik, A., Meltzoff, A. N. & Blumenthal, E. J. (2007). The blicket within: Preschoolers' inferences about insides and causes. *Journal of Cognition and Development*, 8(2), 159-182.
- Sodian, B. (2001). Wissenschaftliches Denken. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 789-794). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

- Sodian, B. (2004). Das Kind als Wissenschaftler: Wie Kinder Theorien und Weltbilder konstruieren. In M. Horstkemper (Hrsg.), *Schüler. Aufwachsen - die Entwicklung von Kindern und Jugendlichen* (S. 55-57). Seelze: Friedrich.
- Sodian, B. (2008). Entwicklung des Denkens. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (6. ed., S. 436-479). Weinheim: Beltz.
- Sodian, B. & Bullock, M. (2008). Scientific reasoning – where are we now? *Cognitive Development*, 23(4), 431-434.
- Sodian, B., Bullock, M., & Koerber, S. (2008). Wissenschaftliches Denken und Argumentieren. Was muss Hänschen lernen, damit aus Hans etwas wird? In W. Schneider (Hrsg.), *Entwicklung von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter. Befunde der Münchner Längsschnittstudie LOGIK*. S. 67-84. Weinheim: Beltz.
- Sodian, B., & Frith, U. (2008). Metacognition, Theory of Mind, and self-control: *The relevance of high-level cognitive processes*, *Development, Neuroscience, and Education. Mind, Brain, and Education*, 2 (3), 111-113.
- Sodian, B., Koerber, S. & Thoermer, C. (2004). Naturwissenschaftliches Denken im Vorschulalter. Bildungsziele und Lernvoraussetzungen. In T. Hansel (Hrsg.), *Frühe Bildungsprozesse und schulische Anschlussfähigkeit* (S. 138-149). Herbolzheim: Centaurus.
- Sodian, B. & Thoermer, C. (2006). Theory of Mind. In W. Schneider & B. Sodian (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Entwicklungspsychologie: Band 2. Kognitive Entwicklung* (S. 495-608). Göttingen: Hogrefe.
- Sodian, B., Thoermer, C., & Koerber, S. (2008). Das Kind als Wissenschaftler – schon im Vor- und Grundschulalter? In L. Fried (Hrsg.), *Das wissbegierige Kind. Neue Perspektiven in der früh- und Elementarpädagogik*. S.29-36. Weinheim: Juventa.
- Sodian, B., Zaitchik, D. & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child Development*, 62(4), 753-766.
- Solomon, G. E. A., Johnson, S. C., Zaitchik, D. & Carey, S. (1996). Like father, like son: Young children's understanding of how and why offspring resemble their parents. *Child Development*, 67(1), 151-171.
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R. Gelman (Hrsg.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (S. 133-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spelke, E. S. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50(1), 431-445.
- Spelke, E. S. (2011). Natural number and natural geometry. In E. Brannon & S. Dehaene (Eds.), *Space, Time and Number in the Brain: Searching for the Foundations of Mathematical Thought* (pp. 287-317). Attention & Performance XXIV, Oxford University Press.
- Spelke, E. S., Katz, G., Purcell, S. E. & Ehrlich, S. M. (1994). Early knowledge of object motion: Continuity and inertia. *Cognition*, 51(2), 131-176.
- Spelke, E. S., Phillips, A. & Woodward, A. L. (1995). Infants' knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack & A. J. Premack (Hrsg.), *Causal cognition: A multidisciplinary debate* (S. 44-78). New York, NY, US: Clarendon Press.
- Springer, K. (1992). Children's awareness of the biological implications of kinship. *Child Development*, 63(4), 950-959.
- Starkey, P. & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210(4473), 1033-1035.

- Starkey, P., Spelke, E. S. & Gelman, R. (1990). Numerical abstraction by human infants. *Cognition*, 36(2), 97-127.
- Stevenson, H. W. & Newman, R. S. (1986). Long-term prediction of achievement and attitudes in mathematics and reading. *Child Development*, 57(3), 646-659.
- Strauss, M. S. & Curtis, L. E. (1981). Infant perception of numerosity. *Child Development*, 52(4), 1146-1152.
- Tan, L. S. C. & Bryant, P. (2000). The cues that infants use to distinguish discontinuous quantities: Evidence using a shift-rate recovery paradigm. *Child Development*, 71(5), 1162-1178.
- Temple, E. & Posner, M. I. (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-olds and adults. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.*, 95, 7836-7841.
- Träuble, B. (2004). *Die Bedeutung von Kausalwahrnehmung für den frühen Wissenserwerb. Neue Befunde aus der Säuglingsforschung*. Berlin: Logos.
- Tul'viste, P. (1989). Education and the development of concepts: Interpreting results of experiments with adults with and without schooling. *Soviet Psychology*, 27(1), 5-21.
- Uller, C., Carey, S., Huntley-Fenner, G. & Klatt, L. (1999). What representations might underlie infant numerical knowledge? *Cognitive Development*, 14(1), 1-36.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (1996). *Assessment and realistic mathematics education*. Utrecht CD-beta Press.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (2005). Can scientific research answer the 'what' question of mathematics education? *Cambridge Journal of Education*, 35(1), 35-53.
- Van Loosbroek, E. & Smitsman, A. W. (1990). Visual perception of numerosity in infancy. *Developmental Psychology*, 26(6), 916-922.
- Van Oeffelen, M. P. & Vos, P. G. (1982). A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception & Psychophysics*, 32(2), 163-170.
- Van Oers, B. (2004). Mathematisches Denken bei Vorschulkindern. In W. E. Fthenakis & P. Oberhuemer (Hrsg.), *Frühpädagogik international: Bildungsqualität im Blickpunkt* (S. 313-330). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Varley, R. A., Klessinger, N. J. C., Romanowski, C. A. J., Siegal, M. & Purves, D. (2005). Agrammatic but numerate. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 102(9), 3519-3524.
- Wagner, S. & Walters, J. (1982). A longitudinal analysis of early number concepts: From numbers to number. In G. Forman (Hrsg.), *Action and thought* (S. 137-161). New York: Academic Press.
- Wang, S. & Baillargeon, R. (2008). Can infants be 'taught' to attend to a new physical variable in an event category? The case of height in covering events. *Cognitive Psychology*, 56(4), 284-326.
- Wang, S. & Kohne, L. (2007). Visual experience enhances infants' use of task-relevant information in an action task. *Developmental Psychology*, 43(6), 1513-1522.
- Washburn, D. A. & Rumbaugh, D. M. (1991). Ordinal judgments of numerical symbols by macaques (*Macaca mulatta*). *Psychological Science*, 2(3), 190-193.

- Whalen, J., Gallistel, C. R. & Gelman, R. (1999). Nonverbal counting in humans: The psychophysics of number representation. *Psychological Science*, 10(2), 130-137.
- Wilkening, F., Huber, S. & Cacchione, T. (2006). Intuitive Physik. In W. Schneider & B. Sodian (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Entwicklungspsychologie: Band 2. Kognitive Entwicklung* (S. 825-860). Göttingen: Hogrefe.
- Wilkening, F. & Sodian, B. (2005). Editorial: Scientific reasoning in young children: Introduction. *Swiss Journal of Psychology/Schweizerische Zeitschrift für Psychologie/Revue Suisse de Psychologie*, 64(3), 137-139.
- Wittmann, E. (1992). Mathematikdidaktik als „design science“. *Journal für Mathematikdidaktik*, 13(1), 55-70.
- Wygotski, L. S. (1964). *Denken und Sprechen*. Berlin: Akademie-Verlag (Originalarbeit erschienen 1934).
- Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36(2), 155-193.
- Wynn, K. (1992a). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749-750.
- Wynn, K. (1992b). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24(2), 220-251.
- Wynn, K. (1995). Infants possess a system of numerical knowledge. *Current Directions in Psychological Science*, 4(6), 172-177.
- Wynn, K. (1996). Infants' individuation and enumeration of actions. *Psychological Science*, 7(3), 164-169.
- Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations. *Cognition*, 89(1), B15-B25.
- Xu, F. & Arriaga, R. I. (2007). Number discrimination in 10-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(1), 103-108.
- Xu, F. & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.
- Xu, F., Spelke, E. S. & Goddard, S. (2005). Number sense in human infants. *Developmental Science*, 8(1), 88-101.

B Entwicklung des Verständnisses des Phänomens Magnetismus bei Kindern im Alter von 3 bis 6 Jahren

- Au, T. K. & Markman, E. M. (1987). Acquiring word meanings via linguistic contrast. *Cognitive Development*, 2, 217-236.
- Banholzer, A. (1979). Kinder untersuchen physikalische Sachverhalte. In M. Wagenschein, A. Bahnholzer, & S. Thiel (Hrsg.), *Kinder auf dem Wege zur Physik* (S. 80-81). Stuttgart: Klett.
- Barrow, L. H. (1987). Magnet Concepts and Elementary Students' Misconceptions. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of 2. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (Vol. III, S. 17-22). Ithaca: Cornell University.
- Behl-Chadha, G. (1996). Basic-level and superordinate-like categorical representations in early infancy. *Cognition*, 60, 105-141.
- Bildungs- und Beratungszentrum für Hörgeschädigte Stegen (o.A.). *Experimente im Kindergarten Sonnenschein im Schuljahr 2006/2007*. Zugriff am 20.09.10 unter <http://www.bbzstegen.de/schulkindergarten/mainfiles/homemedia/experimenteSonnenschein/experimenteSonnenschein.pdf>.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Carey, S. & Spelke, E. S. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (S. 169-200). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Das Gupta, P. & Bryant, P.E. (1989). Young children's causal inferences. *Child Development*, 60, 1138-1146.
- Dickinson, D. K. (1989). Development of Preschool Children's Ability to Identify Common Materials. *Merrill-Palmer Quarterly*, 35(2), 165-180.
- Gondolino (2004). *Das große Buch der Experimente*. Berlin: Gondrom Verlag GmbH. (Im Original erschienen Instituto Geografico De Agostini S.p.A. 1999: Il grande libro degli Esperimenti).
- Gopnik, A. & Sobel, D. M. (2000). Detectingblickets: How young children use information about novel causal powers in categorization and induction. *Child Development*, 71, 1205-1222.
- Gopnik, A., Sobel, D. M., Schulz, L. E., & Glymour, C. (2001). Causal learning mechanisms in very young children: Two- three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, 37, 620-629.
- Goswami, U. (2008). *Cognitive development: The learning brain*. New York, NY, US: Psychology Press.
- Hickling, A. K. & Gelman, S.A. (1995). How does your garden grow? Early conceptualization of seeds and their place in plant growth cycle. *Cognitive Development*, 8, 47-62.
- Hood, B. M. (1995). Gravity rules for 2- to 4-year olds? *Cognitive Development*, 10, 577-598.
- Hood, B. M. (1998). Gravity does rule for falling events. *Developmental Science*, 1, 59-63.
- Inagaki, K. & Hatano, G. (1996). Young children's recognition of commonalities between animals and plants. *Child Development*, 67, 2823-2840.
- Kieninger, M. (2008). *Kinder entdecken die Naturwissenschaften. Physik mit 2- bis 3-Jährigen*. Cornelsen Verlag Scriptor. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.
- Kindergarten-Pfiffikus Malroffstein (o.A.). Magnetismus. Zugriff am 20.09.10 unter <http://www.earlytechnicaleducation.org/Magnd4.htm>
- Kircher, E., & Rohrer, H. (1993). Schülervorstellungen zum Magnetismus in der Primarstufe. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 21(8), 336-342.
- Klahr, D. (2000). *Exploring Science*. Massachusetts: MIT Press.
- Krnel, D., Watson, R., & Glazar, S. A. (2005). The development of the concept of 'matter': a cross-age study of how children describe materials. *International Journal of Science Education*, 25, 367-383.
- Leslie, A. M. & Keeble, S. (1987). Do six-month-old infants perceive causality? *Cognition*, 25, 265-288.
- Mandler J. M. & McDonough L. (1993). Concept formation in infancy. *Cognitive Development*, 8, 291-317.
- Mandler J. M. & McDonough L. (1998). On developing a knowledge base in infancy. *Developmental Psychology*, 34, 1274-1288.
- Morton, J. & Johnson, M. H. (1991). CONSPEC and CONLERN: A two-process theory of infant face recognition. *Psychological Review*, 98, 164-181.
- Opfer, J. E. & Siegler, R. S. (2004). Revisiting preschoolers' living things concept: A microgenetic analysis of conceptual change in basic biology. *Cognitive Psychology*, 49, 301-332.

- Pauen, S. (2002a). Evidence for knowledge-based category discrimination in infancy. *Child Development*, 73, 1016-1033.
- Pauen, S. (2002b) The global-to-basic level shift in infants' categorization. First evidence from a longitudinal study. *International Journal of Behavioral Development*, 26, 492-499.
- Pauen, S. & Träuble, B. (2009). How 7-month-olds interpret ambiguous motion events: Category-based reasoning in infancy. *Cognitive Psychology*, 59, 275-295.
- Piaget, J. (1969). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. Stuttgart: Klett.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1974). *The child's construction of physical quantities*. London: Routledge & Kegan Paul. (Im Original erschienen 1941: Le développement des quantités chez l'enfant: conservation et atomisme)
- Quinn, P. C. & Johnson, M. (2000). Global-before-basic object categorization in connectionist networks and 2-months-old infants. *Infancy*, 1, 31-46.
- Rachel, A., Heran-Dörr, E., Wiesner, H., & Waltner, C. (2009). Verstehen bereits Grundschul Kinder das Elementarmagnet-Modell? In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. Jahrestagung in Schwäbisch Gmünd 2008* (S. 107-109). Berlin: Lit Verlag Dr. W. Hopf.
- Rempp, T. (2007). *Die Förderung naturwissenschaftlichen Denkens und chemischen Wissens im Kindergarten*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Heidelberg.
- Sobel, D. M., Yoachim, C. M., Gopnik, A., Meltzoff, A. N., & Blumenthal, E. J. (2007). The blicket within: Preschoolers' Inferences about insides and causes. *Journal of Cognition and Development*, 8, 159-182.
- Sodian, B., Koerber, S., & Thoermer, C. (2004). Naturwissenschaftliches Denken im Vorschulalter. Bildungsziele und Lernvoraussetzungen. In T. Hansel (Hrsg.), *Frühe Bildungsprozesse und schulische Anschlussfähigkeit* (S. 138-149). Herbolzheim: Centaurus.
- Spelke, E. S. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50(1), 431-445.
- Spelke, E. S., Phillips, A., & Woodward, A. L. (1995). Infants' knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack, & A. J. Premack (Eds.), *Causal Cognition: A multidisciplinary debate* (S. 44-78). New York: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Technische Früherziehung (o.A.). Team. Zugriff am 20.09.10 unter <http://www.kindergarten-marloffstein.de/Team.html>.
- Trepte, A. (2002). Magnetismus am Limit: Zugriff am 04.10.10 unter http://www.innovations-report.de/html/berichte/interdisziplinare_forschung/bericht-8671.html.
- Wikipedia (o.A.). Magnetismus. Zugriff am 04.10.10 unter– Die freie Enzyklopädie: <http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetismus>.
- Wiskamp, V. (2005). Abschlussbericht zum FCI-Mentoring-Projekt „Was möchten unsere Kinder wissen? – Naturwissenschaftliches Experimentieren im Bildungsauftrag der Kindertagesstätten“.: Zugriff am 20.09.10 unter <http://wwwz.h-da-cub/fileadmin/wiskamp/downloads/wasmoechtenkinderwissen.pdf>
- Wygotski, L. S. (1964). *Denken und Sprechen*. Berlin: Akademie-Verlag (Im Original erschienen 1934: Myslshlenije i Retsch).

C Entwicklung des Verständnisses zum Thema Akustik bei Kindern im Alter von 3 bis 10 Jahren

- Asoko, H. M., Leach, J., & Scott, P. H. (1991). *A study of students' understanding of sound 5-16 as an example of action research*. Paper presented at the Annual Conference of the British Educational Research Association at Roehampton Institute, London.
- Bahrnick, L. E. (1983). Infant's perception of substance and temporal synchrony in multimodal events. *Infant Behavior and Development*, 6, 429-451.
- Bahrnick, L. E. (1992). Infant's perceptual differentiation of amodal and modality-specific audio-visual relations. *Journal of Experimental Child Psychology*, 53, 180-199.
- Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen, Staatsinstitut für Frühpädagogik München (2006). Der Bayerische Bildungs- und Erziehungsplan für Kinder in Tageseinrichtungen bis zur Einschulung (S.277). Zugriff am 02.04.11 unter: http://www.ifp.bayern.de/imperia/md/content/stmas/ifp/bildungsplan_endfassung.pdf.
- Berude, C. (2010). *Führt die Tonleiter wirklich nach oben? Audio-visuelle Repräsentationen im Kindergartenalter*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Heidelberg.
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (1991). Development of pupils' ideas about seeing and hearing – The path of light and sound. *Research in Science and Technology Education*, 9, 223-251.
- Bullock M., Gelman, R., & Baillargeon, R. (1982). The development of causal reasoning. In W. J. Friedman (Hrsg.), *The developmental psychology of time* (S. 209-254). New York: Academic Press.
- Carey, S. & Spelke, E. S. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Hrsg.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (S. 169-200). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chang, H. P., Chen, J. Y., Guo, C. J., Chen, C. C., Chang, C. Y., Lin, S. H., Su, W. J., Lain, K. D., Hsu, S. Y., Lin, J. L., Chen, C. C., Cheng, Y. T., Wang, L. S., & Tseng, Y. T. (2007). Investigating primary and secondary students' learning of physics concepts in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 465-482.
- Das Gupta, P. & Bryant, P.E. (1989). Young children's causal inferences. *Child Development*, 60, 1138-1146.
- Dodd, B. (1979). Lip Reading in Infants: Attention to Speech Presented in- and out-of Synchrony. *Cognitive Psychology*, 11, 478-484.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science research into children's ideas*. Routledge: London and New York.
- Eshach, H. & Schwartz, J. L. (2006). Sound Stuff? Naïve materialism in middle-school students' conceptions of sound. *International Journal of Science Education*, 28(7), 733-764.
- Goldstein, B. E. (2008). *Wahrnehmungspsychologie: Der Grundkurs*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Goswami, U. (2008). *Cognitive development: The learning brain*. New York, NY, US: Psychology Press.

- Guihou, A. & Vauclair, J. (2008). Intermodal matching of vision and audition in infancy: A proposal for a new taxonomy. *European Journal of Developmental Psychology*, 5, 68-91.
- Gustafson, B. J. (1991). Thinking about sound: Children's changing conceptions. *Qualitative Studies in Education*, 4(3), 203-214.
- Harten, U. (2005). Schallwellen. In *Physik. Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler* (S. 137-146). Berlin: Springer-Verlag.
- Hessisches Ministerium für Arbeit, Familie und Gesundheit Sozialministerium & Hessisches Kultusministerium (2007). Bildung von Anfang an. Bildungs- und Erziehungsplan für Kinder von 0 bis 10 Jahren in Hessen (S. 78). Zugriff am 02.04.11 unter <http://www.bep.hessen.de/>.
- Kieninger, M. (2008a). *Physik mit 2- bis 3-Jährigen*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.
- Kieninger, M. (2008b). *Technik mit 4- bis 6-Jährigen*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.
- Kircher, E. & Engel, C. (1994). Schülervorstellung über Schall. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 22(2), 53-57.
- Klahr, D. (2000). *Exploring Science*. Massachusetts: MIT Press.
- Lamb, M. E., Bornstein M. H., & Teti, D. M. (2002). *Development in infancy – an introduction*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Lautrey, J. & Mazens, K. (2004). Is children's naïve knowledge consistent? A comparison of the concepts of sound and heat. *Learning and Instruction*, 14, 399-423.
- Leslie, A. M. & Keeble, S. (1987). Do six-month-old infants perceive causality? *Cognition*, 25, 265-288.
- Linder, C. J. (1992). Understanding sound: so what is the problem? *Physics Education*, 27, 258-264.
- Linder, C. J. & Erickson, G. L. (1989). A study of tertiary physics students' conceptualization of sound. *International Journal of Science Education*, 11, 491-501.
- Mazens, K. & Lautrey, J. (2003). Conceptual change in physics: children's naïve representations of sound. *Cognitive Development*, 18, 159-176.
- Mendelson, M. J. & Haith, M. M. (1976). The relation between audition and vision in the human newborn. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 41(4), 72-72.
- Merino, M. J. (1998). Some difficulties in teaching the properties of sounds. *Physics Education*, 33(2), 101-104.
- Meyer, L. & Schmidt, G.-D. (2005). Schall und Lärm. In *Duden. Basiswissen Schule. Physik* (S. 125-130). Mannheim: Bibliographisches Institut.
- Olsho, L. W., Koch, E. G., Carter, E. A., & Halpin, C. F. (1988). Pure-tone sensitivity of human infants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84(4), 1316-1324.
- Pejuan, A., Bohigas, X., Jaén, X., & Periago, C. (2010). The problem of inconsistency in reasoning in engineering education – a case study about the mental model of sound. Zugriff am 17.03.11 unter: <http://hdl.handle.net/2117/10173>.
- Piaget, J. (1969). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kind*. Stuttgart: Klett.
- Pratt, C. C. (1930). The spatial character of high and low tones. *Journal of Experimental Psychology*, 13(3), 278-285.

- Reiner, M., Slotka, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L. B. (2000). Naïve physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1-34.
- Rempp, T. (2007). *Die Förderung naturwissenschaftlichen Denkens und chemischen Wissens im Kindergarten*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Heidelberg.
- Roffler, S. K. & Butler, R. A. (1968). Localization of tonal stimuli in the vertical plane. *Journal of the Acoustical Society of America*, 43(6), 1260-1266.
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport (2004). Das Berliner Bildungsprogramm für die Bildung, Erziehung und Betreuung von Kindern in Tageseinrichtungen bis zum Schuleintritt. (S. 81-89, S. 109). Zugriff am 02.04.11 unter http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/bildungswege/vorschulische_bildung/berliner_bildungsprogramm_2004.pdf?start&ts=1301561802&file=berliner_bildungsprogramm_2004.pdf.
- Sobel, D. M., Yoachim, C. M., Gopnik, A., Meltzoff, A. N., & Blumenthal, E. J. (2007). The blicket within: Preschoolers' Inferences about insides and causes. *Journal of Cognition and Development*, 8, 159-182.
- Sodian, B. (2008). Entwicklung des Denkens. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (6. Aufl., S. 436-479). Weinheim: Beltz
- Sodian, B., Koerber, S., & Thoermer, C. (2004). Naturwissenschaftliches Denken im Vorschulalter. Bildungsziele und Lernvoraussetzungen. In T. Hansel (Hrsg.), *Frühe Bildungsprozesse und schulische Anschlussfähigkeit* (S. 138-149). Herbolzheim: Centaurus.
- Sodian, B., Zaitchik, D., & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child Development* 62(4), 753-766.
- Spelke, E. S. (1979). Perceiving bimodally specified events by infancy. *Developmental Psychology*, 15, 626-636.
- Spelke, E. S. (1981). The infant's acquisition of knowledge of bimodally specified events. *Journal of Experimental Child Psychology*, 31, 279-299.
- Spelke, E. S. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50(1), 431-445.
- Stevenson, M. B. & Friedman, S. L. (1986). Developmental Changes in the Understanding of Pictorial Representations of Sound. *Developmental Psychology*, 22(5), 686-690.
- Watt, D. & Russell, T. (1990). *Sound, primary SPACE project research report*. Liverpool, England; Liverpool University Press.
- Wertheimer, M. (1961). Psychomotor coordination of auditory and visual space at birth. *Science*, 134, pp. 1692.
- Wittmann, M., Steinberg, R. N., & Redish, E. F. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.
- Wulf, P. & Euler, M. (1995). Ein Ton fliegt durch die Luft. Vorstellungen von Primarstufenkindern zum Phänomenbereich Schall. *Physik in der Schule*, 33, 254-260.
- Wygotski, L. S. (1964). *Denken und Sprechen*. Berlin: Akademie-Verlag (Im Original erschienen 1934: Мышление и Речь).

D Bemerkungen zu den Konzepten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

- Ansari, S. (2003). *Kinderfragen. Professionalisierung des Lehrerhandelns im Unterricht der Grundschule am Beispiel des Sachunterrichts*. Prosa-Reihe, Heft Nr.1. Leibnitz-Institut for Science Education (IPN), University Kiel. (<http://www.mbjs.brandenburg.de/sixcms/media.php/5527/Kinderfragen.pdf>)
- Ansari, S. (2009). *Schule des Staunens*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Brown, A.L. (1975). „The development of memory, knowing about knowing and knowing how to know.“ *Advances in Child Development and Behavior*, 10, 103-152. New York: Academic Press.
- Bruner, J. (1960). *The Process of Education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. (1966). *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. (1973). *Going Beyond the Information Given*. New York: Norton.
- Bruner, J. (1983). *Child's Talk: Learning to Use Language*. New York: Norton.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Changes in Childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gelman, R. (1980). *Cognitive Development. Annual Review of Psychology*, 29, 297-332.
- Goswami, U. Brown, A.L. (1989). Melting chocolate and melting snowmen: analogical reasoning and causal relations. *Cognition*, 35, 69-95.
- Piaget, J. (1928). *The Child's Conception of the World*. London: Routledge and Kagan Paul.
- Sere, M.G. (1982). A Study of some frameworks of the field of mechanics, used by children (aged 11 to 13) when they interpret experiments about air pressure. *European Journal of Science Education*, 4 (3), 299-309.
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2009). *Philosophie, pädagogischer Ansatz und praktische Hinweise zur Umsetzung* (1. Auflage), Berlin: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“.
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2010). *Ihr Weg zum Haus der kleinen Forscher – Anleitung und Materialien zur Auszeichnung*, Berlin: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society: The development of higher mental process*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Fazit und Ausblick – Wie das „Haus der kleinen Forscher“ mit diesen Erkenntnissen umgeht

- Anders, Y., Hardy, I., Pauen, S., & Steffensky, M. (in Vorbereitung). Bericht der wissenschaftlichen Expertengruppe „Zieldimensionen früher naturwissenschaftlicher Bildung und ihre Messung“.
- OECD (2012), *Innovative teaching for effective learning*, Paris: OECD Publishing.
- Kiefer, Schuch, Schenck, & Fiedler (2007). Emotional mood states modulate brain activity during episodic memory encoding. *Cerebral Cortex*, 17, 1516-1530.
- Preissing, C. & Heller, E. (2011). Expertise zur Reflexion der Ziele und Angebote des Programms „Haus der kleinen Forscher“ sowie Empfehlungen für eine weitergehende wissenschaftliche Begleitforschung. In Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (Hrsg.), *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“*, Band 1, S. 149-163, Köln: Bildungsverlag EINS.

- Spindler, A. & Berwanger, D. (2011). Expertise: Pädagogischer Ansatz und Multiplikatorenmodell der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“. In Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (Hrsg.), *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“*, Band 1, S. 18-62, Köln: Bildungsverlag EINS.
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2009). *Philosophie, pädagogischer Ansatz und praktische Hinweise zur Umsetzung* (1. Auflage), Berlin: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“.
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2010). *Philosophie, pädagogischer Ansatz und praktische Hinweise zur Umsetzung* (2. Auflage), Berlin: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“.
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2011a). *Pädagogischer Ansatz der Stiftung „Haus der kleinen Forscher – Philosophie, Konzept und praktische Hinweise zur Umsetzung* (3. Auflage), Berlin: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (als pdf verfügbar unter www.haus-der-kleinen-forscher.de).
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2011b) (Hrsg.): *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“*, Band 2, Köln: Bildungsverlag EINS, (als pdf verfügbar unter www.haus-der-kleinen-forscher.de).
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2011c). *Forschen mit Magneten. Ideen und Hintergründe für die Kita-Praxis*, Berlin: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (als pdf verfügbar unter www.haus-der-kleinen-forscher.de).
- Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (2012). *Klänge und Geräusche. Akustische Phänomene mit Kita- und Grundschulkindern entdecken*, Berlin: Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (als pdf verfügbar unter: www.haus-der-kleinen-forscher.de).

Über die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Die gemeinnützige Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ engagiert sich mit einer bundesweiten Initiative für die Bildung von Kindern im Kita- und Grundschulalter in den Bereichen Naturwissenschaften, Mathematik und Technik. Sie unterstützt mit ihren Angeboten pädagogische Fachkräfte dabei, Mädchen und Jungen bei ihrer Entdeckungsreise durch den Alltag zu begleiten. Partner der Stiftung sind die Helmholtz-Gemeinschaft, die Siemens Stiftung, die Dietmar Hopp Stiftung und die Deutsche Telekom Stiftung. Gefördert wird sie vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Bildquellenverzeichnis

Titelfoto: © A. Trautmann/adpic Bildagentur; Umschlag: Mauritius-Images, © Pablo Picasso; S. 7, S. 8, S. 11, S. 107: Birkefeld, Marion; S. 9, S. 91: © Steffen Weigelt/Stiftung Haus der kleinen Forscher; S. 12: © Carsten Costard/Stiftung Haus der kleinen Forscher; S. 16, S. 17: SPIEGEL-Verlag Rudolf Augstein GmbH & Co. KG; S. 17, S. 33, S. 37, S. 62, S. 68, S. 84, S. 97, S. 102, S. 109, S. 148, S. 176: © Thomas Ernst/Stiftung Haus der kleinen Forscher; S. 22: © oksun70/clipdealer.com; S. 28: Picture-Alliance, Frankfurt/Main (Waltraud Grubitzsch); S. 42, S. 53, S. 69, S. 74, S. 78, S. 81, S. 162: © Christoph Wehrer/Stiftung Haus

der kleinen Forscher; S. 48: © ivanastar/iStockphoto.com; S. 120: © Stiftung Haus der kleinen Forscher; S. 122, S. 124: Focali, Suzan; S. 155: © zimmytws/clipdealer.com

Die meisten Abbildungen in Kapitel D wurden uns freundlicherweise von Dr. Salman Ansari zur Verfügung gestellt.

Viele dieser Abbildungen liegen leider nur in geringerer Qualität vor, darum wurde schwer lesbarer Originaltext in den Abbildungsbeschriftungen ergänzt.

Mission der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“

Die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ verankert die alltägliche Begegnung mit Naturwissenschaften, Mathematik und Technik dauerhaft und nachhaltig in allen Kitas und Grundschulen in Deutschland. Damit setzt sie sich für bessere Bildungschancen für Mädchen und Jungen in den genannten Bereichen ein.

Die Stiftung bietet pädagogischen Fachkräften mit kontinuierlichen Fortbildungen in starken lokalen Netzwerken, mit Materialien und Ideen praxisnahe Unterstützung. Eltern und weitere Bildungspartner werden einbezogen.

Das „Haus der kleinen Forscher“ weckt Begeisterung für naturwissenschaftliche Phänomene und technische Fragestellungen und trägt langfristig zur Nachwuchssicherung der entsprechenden Berufsfelder bei.

Zugleich stellt das „Haus der kleinen Forscher“ die gewonnenen Erfahrungen anderen Akteuren im Ausland zur Verfügung. Deutschland positioniert sich damit als Bildungs- und Wissenschaftsstandort.

Die Langfassung der Mission findet sich unter www.haus-der-kleinen-forscher.de.