

Mikrogenetische Studien zum physikalischen Wissenserwerb von Kindern: Neue Trainingsexperimente mit der Balkenwaage¹

Horst Krist², Sylvia Bach, Selin Öndül und Susanne Huber³

Psychologisches Institut der Universität Zürich

Zusammenfassung

In zwei mikrogenetischen Studien mit 7-jährigen Kindern wurde am Beispiel der Balkenwaagen-Aufgabe und mit Hilfe der Rule-Assessment-Methode untersucht, inwieweit intuitives physikalisches Vorwissen den Erwerb neuen physikalischen Regelwissens beeinflusst. In einem Vortest wurden jeweils solche Versuchsteilnehmer ausgewählt, welche bei Vorhersagen des Verhaltens der Balkenwaage ausschließlich die Gewichtsdimension beachteten (Regel I). In einer Trainingssitzung beobachteten sie dann entweder reguläre (mögliche) oder hierzu inverse (unmögliche) Ereignisse, in denen sich die Waage bei augenscheinlich gleichem Gewicht nach der Seite mit dem größeren bzw. kleineren Hebelarm neigte. In Experiment 1, bei dem in der Trainingsphase acht solcher Trials dargeboten wurden, lernten annähernd ebenso viele Kinder die inverse Berücksichtigung des Hebelarms (bei inversem Training) wie dessen reguläre Berücksichtigung (bei regulärem Training). Während der Lernphase machten die regulär trainierten Kinder jedoch häufiger korrekte Vorhersagen als die invers trainierten. In Experiment 2 wurde deshalb die Zahl der kritischen Trainingstrials auf zwei reduziert. Es ergab sich ein deutlicher, statistisch bedeutsamer Effekt zugunsten der regulären Trainingsbedingung. Unsere Ergebnisse bestätigen insgesamt die Annahme einer differentiellen Lernbereitschaft und liefern Evidenz für hypothesengeleitetes Lernen bei 7-jährigen Kindern.

Microgenetic Studies on the Acquisition of Physical Knowledge in Children: New Training Experiments with the Balance Scale

Summary

In two microgenetic studies, we investigated whether intuitive prior knowledge constrains the learning of new physical rules in 7-year-old children using the balance scale as our task paradigm and applying the rule-assessment method. Participants were selected who predicted the behavior of the balance scale, in a pretest, according to the weight dimension only (Rule I). In a following training session, they watched either regular (possible) or inverse (impossible) events with apparently equal weights, in which the scale tipped to the side with the greater or smaller distance from the fulcrum, respectively. In Experiment 1, in which eight such trials were given, children acquired the inverse rule almost equally well as the regular one. Within the training session itself, children's predictions were more often correct in the regular condition than in the inverse condition. Therefore, only two critical training events were presented in Experiment 2. This led to a marked and reliable difference favoring the regular training condition. Taken together, our results lend support to the assumption of differential learning readiness, and they provide evidence for hypothesis-guided learning in 7-year-old children.

¹ Diese Forschung wurde durch eine Sachmittelbeihilfe des Schweizer National Fonds (Beitrag Nr. 1114-059164.99) in vollem Umfang unterstützt. Wir danken Andreas Rapp für hilfreiche Kommentare zu einer früheren Fassung dieses Manuskripts.

² Jetzt am Institut für Psychologie der Universität Greifswald. Korrespondenzadresse: Prof. Dr. Horst Krist, Institut für Psychologie, Universität Greifswald, Franz-Mehring-Str. 47, 17487 Greifswald. E-Mail: krist@uni-greifswald.de

³ Jetzt am Friedrich-Miescher Laboratorium des Max-Planck-Instituts, Tübingen.

Mit der viel zitierten kognitiven Wende, die sich in den 70-er Jahren in der Psychologie vollzog, verlor sich vorübergehend das Interesse an der Erforschung von Lernprozessen. Damit einher ging im Bereich der kognitiv ausgerichteten Entwicklungspsychologie eine Strategie, die dadurch charakterisiert war und größtenteils immer noch ist, dass man einerseits nach Evidenz für die Differenziertheit des Wissens jüngerer Kinder und andererseits nach Belegen für die Beschränkungen des Wissens Erwachsener sucht. Diese Strategie hat sich als außerordentlich erfolgreich erwiesen, zumal Piagets Theorie - zumindest bei oberflächlicher Rezeption - hierfür dankbare Zielscheiben anbietet. Die tatsächlichen oder vermeintlichen Belege für "späte Inkompetenzen" und immer frühere und immer erstaunlichere Kompetenzen sind mittlerweile äußerst zahlreich (z.B. Krist, Natour, Jäger & Knopf, 1998; Siegler, 1998). Demgegenüber nimmt sich die Zahl der Studien, die sich mit Entwicklungs- und Lern-*Mechanismen* beschäftigen, relativ bescheiden aus. Gegenwärtig ist innerhalb der kognitiven Entwicklungspsychologie allerdings eine gewisse Renaissance des Interesses für Veränderungsmechanismen zu verzeichnen. Diese Renaissance macht sich in verschiedener Hinsicht bemerkbar: zum einen hinsichtlich der Modellierung von Entwicklungsveränderungen (Elman, Bates, Johnson, Karmiloff-Smith, Parisi & Plunkett, 1996; Klahr & MacWhinney, 1998; Mareschal, Plunkett & Harris, 1999; Mareschal & Shultz, 1996; Munakata, McClelland, Johnson, & Siegler, 1997; Simon & Halford, 1995) und zum anderen in der Wiederentdeckung der schon von Werner (1926) und Wygotski (Wygotsky, 1930/1978) propagierten *mikrogenetischen Methode* (Kuhn, 1995; Kuhn, Garcia-Mila, Zohar & Andersen, 1995; Siegler & Crowley, 1991; Zhen, & Siegler, 2000).

Die Grundidee der mikrogenetischen Methode ist denkbar einfach. Sie besagt, dass man aus der Analyse von Entwicklungsveränderungen "im Kleinen" Aufschlüsse über Entwicklungsprozesse "im Großen" erhalten kann. Hierbei ist es nicht entscheidend, ob man sich auf die minutiöse Beobachtung nachhaltiger Lernprozesse beschränkt oder ob man diese durch gezielte Intervention hervorzurufen sucht. Im letzteren Fall spricht man auch von "Trainingsstudien", wobei zu beachten ist, dass der Trainingsbegriff hier nicht im üblichen Sinne, sondern eher im neutralen Sinne einer wie auch immer gearteten Förderung oder Initiierung von Lernprozessen zu verstehen ist.

Im vorliegenden Beitrag wird von zwei Trainingsexperimenten mit 7-jährigen Kindern berichtet, die als mikrogenetische Studien konzipiert sind. Sie verbinden eine klassische Aufgabe der kognitiven Entwicklungspsychologie, die so genannte *Balkenwaage* (Inhelder & Piaget, 1955/1977), mit einem aus der aktuellen Forschung zum physikalischen Wissenserwerb bei Säuglingen hervorgegangenen Paradigma, das auf den Nachweis *differentieller Trainingseffekte* abzielt (Baillargeon, 1996, 2002). Zum besseren Verständnis der vorliegenden Experimente ist es deshalb erforderlich, zunächst auf diese beiden Forschungslinien einzugehen.

Entwicklung der Regelanwendung bei der Balkenwaage

Die Balkenwaage gehört zu den in der entwicklungspsychologischen Forschung am häufigsten verwendeten Aufgabenparadigmen (Wilkening & Huber, 2002). Sie wurde meist eingesetzt, um die Entwicklung des Problemlösens bzw. der physikalisch-mathematischen Begriffsbildung im Allgemeinen zu untersuchen (z.B. Amsel, Goodman, Savoie & Clark, 1996; Case, 1985; Ferretti, Butterfield, Cahn & Kerkman, 1985; Pauen & Wilkening, 1997; Siegler, 1976, 1978, 1981). Grundsätzlich kann man sie aber auch als ein Instrument zur Diagnose von Wissen über das physikalische Hebelgesetz auffassen, und zwar nicht in erster Linie des formalen, in der Schule erworbenen Physikwissens, sondern auch und vor allem des informellen Wissens über Physik, der so genannten *intuitiven* oder *naiven Physik* (vgl. Pauen

& Wilkening, 1997; Wilkening & Anderson, 1982, 1991). Das Hebelgesetz besagt, dass das Drehmoment, das mit Hilfe eines Hebels ausgeübt werden kann, gleich dem Produkt aus Kraft und Hebelarm ist.

Bei der "klassischen" Balkenwaage, die Siegler (1976, 1978, 1981) in seinen Untersuchungen mit Kindern verschiedener Altersstufen eingesetzt hat und die in ähnlicher Form auch in den vorliegenden Experimenten benutzt wurde, berechnen sich die zu vergleichenden Drehmomente auf beiden Seiten aus der jeweiligen Anzahl der Gewichte und der Distanz dieser Gewichte vom Drehpunkt (siehe Abb. 1). Der Einfachheit halber werden diese beiden Dimensionen im Folgenden kurz als *Gewicht* und *Distanz* bezeichnet. Die Kombination von x Gewichten und y Distanzeinheiten wird mit $xG*yD$ abgekürzt.

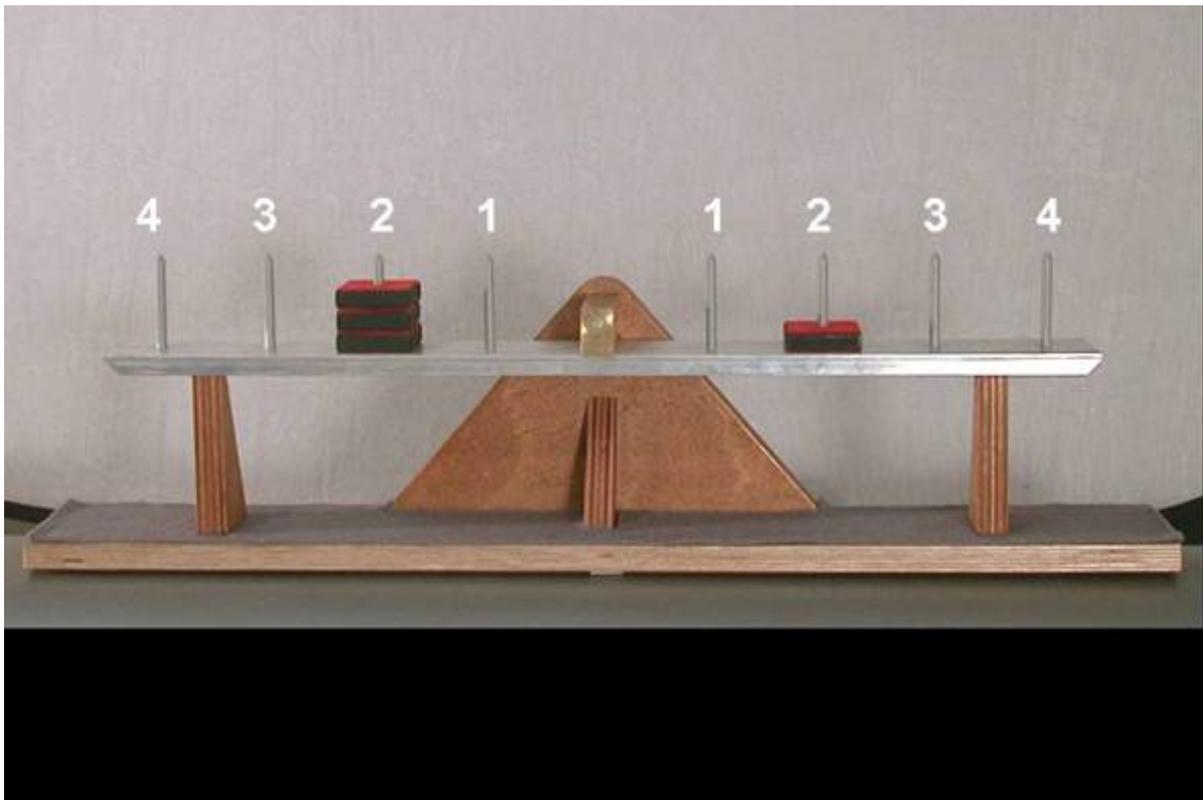


Abbildung 1: Die Balkenwaage

Siegler konzipierte für seine Untersuchungen mit der Balkenwaage und analog strukturierte Aufgaben eine Methode des wiederholten Paarvergleichs, die er als *Rule-Assessment* (Regeldiagnose) bezeichnete. Das Prinzip dieser Methode besteht darin, dass man den Versuchsteilnehmern eine Reihe verschiedener Aufgabenkonstellationen präsentiert, die so gewählt sind, dass bestimmte, a priori definierte Regeln zu unterscheidbaren Antwortmustern führen. Normalerweise erhalten die Probanden keinerlei Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Urteile. Im Fall der Balkenwaage bedeutet dies, dass diese zum Zweck der Wissensdiagnose arretiert bleibt. Die (hypothetische) Frage lautet jedes Mal, was passieren wird, wenn man die Arretierung des Balkens löst: Neigt er sich zur linken oder zur rechten Seite, oder bleibt er in Balance?

Wenn sich beispielsweise auf der linken Seite der Waage zwei Gewichte in einem Abstand von drei Distanzeinheiten ($2G*3D$) und auf der rechten drei Gewichte im Abstand von zwei Distanzeinheiten befinden ($3D*2G$), beträgt das Drehmoment auf beiden Seiten 6

Einheiten, so dass der Balken im Gleichgewicht bleibt. Ein Kind, das nur auf das Gewicht auf beiden Seiten achtet, wird hingegen vorhersagen, dass sich der Balken nach der Seite mit dem größeren Gewicht, also nach rechts neigen wird. Tatsächlich wenden Kinder zwischen 5 und 7 Jahren meist diese eindimensionale Gewichtsregel an (*Regel I*). Mit Regel I lassen sich so genannte *Gewicht-* und *Balanceaufgaben* korrekt lösen. Bei beiden Aufgabentypen ist die Distanz auf beiden Seiten der Waage gleich; bei Gewichtsaufgaben weist eine Seite das größere Gewicht auf (z.B. $3G*4D$ vs. $2G*4D$); und bei Balanceaufgaben sind sowohl Gewicht als auch Distanz auf beiden Seiten gleich. Ältere Kinder berücksichtigen zusätzlich auch die Distanz, allerdings zunächst nur, wenn die Gewichte auf beiden Seiten gleich sind (*Regel II*). Dies ist bei so genannten *Distanzaufgaben* der Fall (z.B. $2G*1D$ vs. $2G*3D$).

Ungefähr ab dem Alter von 12 Jahren berücksichtigen die meisten Kinder grundsätzlich beide Dimensionen; sie sind jedoch bei so genannten *Konfliktaufgaben*, d.h. wenn eine Seite das größere Gewicht und die andere die größere Distanz aufweist, aufs Raten angewiesen (*Regel III*). Je nachdem, ob die korrekte Antwort der Seite mit dem größeren Gewicht oder der Seite mit der größeren Distanz entspricht, spricht man von *Konflikt-Gewicht-* bzw. *Konflikt-Distanzaufgaben*. Asymmetrisch ausbalancierte Anordnungen werden als *Konflikt-Balanceaufgaben* bezeichnet. Zu beachten ist, dass die Anwendung von Regel I oder II bei Konflikt-Gewichtsaufgaben zu korrekten, bei Konflikt-Distanz- und Konflikt-Balanceaufgaben hingegen zu systematisch falschen Vorhersagen führt.

Die Anwendung der normativen Multiplikationsregel (*Regel IV*) bildet den Abschluss der Entwicklungssequenz, wie sie sich bei Verwendung der Rule-Assessment-Methode für die Balkenwaagenaufgabe ergibt. Doch bietet die Behandlung des Hebelgesetzes im Physikunterricht noch keine Gewähr dafür, dass das Gelernte auch auf die Balkenwaage übertragen wird (Siegler, 1998, S. 257). Tatsächlich ist ein der Regel IV entsprechendes Antwortmuster selbst bei 16- bis 17-Jährigen nur ausnahmsweise zu beobachten (Siegler, 1976).

Siegler (1976, 1978) führte mehrere Trainingsstudien mit der Balkenwaage durch, die wertvolle Anhaltspunkte für unsere Forschung lieferten. Er fand dass 4-Jährige, aber nicht 3-Jährige, Regel I durch wiederholtes Beobachten des Verhaltens der Balkenwaage erwerben konnten (Siegler, 1978). Das Training bestand aus insgesamt 16 Trials: 14 Gewicht- und 2 Balanceaufgaben. Die Kinder sagten jeweils das Verhalten wie bei der Regeldiagnose voraus, konnten aber im Unterschied hierzu anschließend das tatsächliche Ergebnis beobachten. In einem Zusatzexperiment konnte Siegler (1978) zeigen, dass der Lerneffekt nicht allein durch die wiederholte Präsentation von Balkenwaagenaufgaben zu erklären war, sondern auf die Verarbeitung der Ergebnisrückmeldung zurückging. Analoge Ergebnisse erzielte Siegler (1976) in einer Trainingsstudie mit 5- und 8-Jährigen bezüglich der Regeln II und III: Nach der Interventionsphase, in der als kritische Trials entweder 12 Distanzaufgaben oder 12 Konfliktaufgaben mit Rückmeldung präsentiert wurden, wechselten die meisten 8-Jährigen, aber nur einige wenige 5-Jährige, von Regel I im Vortest zu Regel II oder III im Nachtest. Tendenziell wurde die Anwendung von Regel II eher durch die Präsentation von Distanzaufgaben und Regel III (bei den 8-Jährigen) eher durch die Präsentation von Konfliktaufgaben induziert.

Zusammen mit der bei der Balkenwaage besonders klar definierten Aufgabenstellung und ihrer physikalisch determinierten Lösung fordern die beschriebenen empirischen Befunde formale Modellierungsversuche geradezu heraus. In der Tat existiert eine Reihe solcher Versuche (Langley, 1987; McClelland, 1995; McClelland & Jenkins, 1991; Newell, 1990; Sage & Langley, 1983; Shultz, Schmidt, Buckingham & Mareschal, 1995). Allerdings können die bisher entwickelten Modelle die beobachteten Entwicklungsveränderungen und Lernprozesse allenfalls grob rekonstruieren, aber nicht befriedigend erklären. Auch das in diesem Zusammenhang wohl am häufigsten zitierte konnektionistische Modell von McClelland (1995; McClelland & Jenkins, 1991) entbehrt nicht jeder Kritik, denn es basiert

auf schwer zu begründenden Ad-hoc-Annahmen. So arbeitet es mit zwei getrennten, erst auf der Ebene der Ausgabe-Einheiten (output units) konvergierenden "Kanälen", von denen der eine für die Repräsentation der Gewichts- und der andere für die Repräsentation der Distanzinformation auf beiden Seiten der Waage zuständig ist. Außerdem erwirbt das Netzwerk die verschiedenen Regeln erst nach einer Vielzahl von Trials und nur dann in der empirisch gefundenen Sequenz, wenn dies durch die Lerngeschichte praktisch erzwungen wird (vgl. auch Marcus, 1998; für eine positivere Einschätzung siehe Elman et al., 1998, S. 160 ff.).

Den Gegenpol zum statistischen oder assoziativen Lernen - d.h. der automatischen Registrierung von Häufigkeiten und Kontingenzen bzw. der inkrementellen Bahnung richtiger und Hemmung falscher Verbindungen zwischen neuronalen oder kognitiven Einheiten - bildet die des *hypothesegeleiteten Lernens*. Beim hypothesegeleiteten Konzeptlernen nutzt der Lerner Beobachtungen oder Rückmeldungen, um Hypothesen über einen zu lernenden Zusammenhang aufzustellen, zu überprüfen und gegebenenfalls zu revidieren. *Erklärungsbasiertes Lernen* im Sinne Baillargeons (1996, 2002) kann als ein wichtiger Sonderfall dieser "höheren" Form des Lernens angesehen werden. Konstitutiv für erklärungs-basiertes Lernen ist das in den Lernprozess eingehende Kausalwissen. Im Bereich der (intuitiven) Physik beinhaltet dieses Kausalwissen im Wesentlichen Wissen über die Wirkung von Kräften.

Im Fall der Balkenwaage lässt sich Regel I, nicht aber Regel II mit naivem Vorwissen über die Wirkung von Kräften interpretieren. Die Anzahl der Gewichte auf einer Seite der Waage repräsentiert auf anschauliche Weise die dort wirkende Kraft. Von daher liefert eine einfache Kausalanalyse bei Gewicht- und Balanceaufgaben richtige Vorhersagen. Hingegen lässt sich der Begriff des Drehmoments bzw. die Tatsache, dass eine Kraft um so effektiver ist, je weiter entfernt vom Drehpunkt sie angreift, nicht auf ähnlich elementare Weise kausal ableiten (vgl. Inhelder & Piaget, 1955/1977).

Differentielle Trainingseffekte in Säuglingsstudien

Ab wann besitzen Kinder Kausalwissen und ab wann nutzen sie es im Rahmen erklärungs-basierten Lernens? In scharfem Gegensatz zu traditionellen Auffassungen geht die bekannte Säuglingsforscherin Renée Baillargeon davon aus, dass elementares Wissen über die Wirkung von Kräften schon bei jüngeren Säuglingen, wenn nicht sogar von Geburt an vorhanden ist (Baillargeon, 2002; vgl. Leslie, 1994; Spelke, 1994). In einfallsreichen Trainingsstudien versucht sie Evidenz für die zusätzliche Behauptung zu sammeln, dass Säuglinge bereits erklärungs-basiert lernen können (Baillargeon, 1996, 2002). Die Kernidee besteht beim Baillargeonschen Trainingsparadigma darin, dass man verschiedenen Gruppen von Kindern in einer bestimmten Mikrodomäne (z.B. der Statik von Objekten) nicht nur unterschiedliche, sondern diametral entgegengesetzte Lernerfahrungen vermittelt. In beiden Trainingsbedingungen lenkt man die Aufmerksamkeit der Kinder auf eine Variable, von der man aus früheren Untersuchungen weiß, dass etwas ältere Kinder sie angemessen berücksichtigen. Während in einer *regulären Trainingsbedingung* der tatsächliche Einfluss dieser Variablen demonstriert wird, manipuliert man in einer *inversen Trainingsbedingung* die dargebotenen Ereignisse so, dass genau entgegengesetzte Effekte resultieren: Ein Objekt fällt beispielsweise herunter, wenn es stehen bleiben müsste, und es bleibt stehen, wenn es eigentlich herunterfallen müsste. Von einem differentiellen Trainingseffekt kann man in diesem Zusammenhang sprechen, wenn Kindern leichter die reguläre, physikalisch korrekte als die hierzu inverse Regel beigebracht werden kann.

In einer ihrer Trainingsstudien fanden Baillargeon, DeJong & Sheehan (2001, zit. nach Baillargeon, 2002; vgl. Baillargeon, 1996) einen solchen differentiellen Trainingseffekt

bei elfeinhalb Monate alten Säuglingen. In diesem Alter zeigen sich Babys überrascht (gemessen an ihrem Blickverhalten), wenn ein Gegenstand nicht zu Boden fällt, nachdem mehr als die Hälfte seiner Unterseite über ein stützendes Podest hinaus geschoben wurde. Im Gegensatz zu etwas älteren Säuglingen berücksichtigen sie aber noch nicht die Form oder Massenverteilung des Objektes bei ihrer intuitiven Stabilitätseinschätzung (siehe Baillargeon, 1995). Baillargeon et al. konnten zeigen, dass die (wiederholte) Darbietung von nur je zwei kontrastiven Ereignissen mit zwei verschiedenen Objekten genügte, um Säuglingen zu vermitteln, dass ein asymmetrisches Objekt seine Stabilität verliert, sobald mehr als die Hälfte seines Volumens über das Podest hinausragt. Die Säuglinge in der inversen Trainingsbedingung lernten die umgekehrte Regel hingegen nicht.

Diese Ergebnisse lassen sich nach Baillargeon dahingehend interpretieren, dass die Darbietung *kontrastiver Evidenz* (*B, wenn A; und nicht B, wenn nicht A*) dann ausreicht, um Kindern konzeptuelles Wissen über den Einfluss einer relevanten Variablen zu vermitteln, wenn sie in ihrer Entwicklung so weit fortgeschritten sind, dass das entsprechende Wissen sozusagen in die "Zone der nächsten Entwicklung" (Vygotsky, 1930/1978) fällt, und wenn sie sich die neue Regel anhand ihres kausalen Vorwissens erklären können.

Die Generalisierung des Gelernten, d.h. der Transfer auf untrainierte Aufgaben, scheint jedoch von einer Reihe weiterer Faktoren abzuhängen. So waren in der genannten Untersuchung von Baillargeon et al. zwei verschiedene Objekte in der Trainingsphase nötig - mit nur einem Objekt war kein Lerneffekt nachweisbar. Außerdem ist anzunehmen, dass differentielle Trainingseffekte dann nicht mehr auftreten, wenn eine zu große Zahl an Trainingstrials dargeboten wird oder wenn die Testtrials den Trainingstrials zu stark ähneln. Es ist also nicht davon auszugehen, dass sich aus der Annahme erklärungs-basierter Lernens ableitbare (potentiell) unterschiedliche *Lern*-Effekte zwangsläufig in differentiellen Trainingseffekten niederschlagen müssen. Schließlich ist zu betonen, dass differentielle Lerneffekte nicht nur bei erklärungs-basiertem Lernen, sondern grundsätzlich immer dann zu erwarten sind, wenn relevantes Vorwissen zu einer spezifischen Lernbereitschaft führt, die mit dem aktuellen Wissenserwerb interagiert.

Die eigene Forschung

Im Rahmen eines größeren Forschungsprojektes übertrugen wir das Baillargeonsche Trainingsparadigma auf Untersuchungen mit Kindern im Vorschul- und Grundschulalter. Hierfür bot sich die Balkenwaage als Aufgabenparadigma nicht zuletzt aufgrund ihrer inhaltlichen Nähe zu Baillargeons Trainingsexperimenten an. In einer Untersuchungsserie, zu der auch die vorliegenden Studien gehören, verfolgten wir das Ziel, die Bedingungen differentieller Trainingseffekte beim Erwerb von Regel I und II bei 4- bzw. 7-jährigen Kindern zu erkunden.

Unter der Annahme erklärungs-basierter Lernens war zu erwarten, dass 4-jährige Kinder die reguläre Regel I (I+), nicht aber die hierzu inverse Regel (I-), anhand einiger weniger kontrastiver Trials lernen sollten. In Vorversuchen zeigte sich jedoch, dass 4-jährige Kinder relativ viele reguläre Lerntrials benötigen, um Regel I zu erwerben und auf andere Gewichtobjekte zu übertragen (Bächtiger, 2001; vgl. Siegler, 1978). Weitere Experimente mit Vorschulkindern ergaben, dass deren Schwierigkeiten bei der Vorhersage der Stabilität von Objektkonstellationen nicht auf Besonderheiten der Balkenwaagen-Apparatur zurück zu führen sind, sondern ebenso bei Objektanordnungen ähnlich der in Säuglingsstudien verwendeten zu verzeichnen sind (Öndül, Bach, Huber & Krist, 2002).

Auf dem Hintergrund dieser für uns überraschenden Befunde entschlossen wir uns in einem ersten größeren Trainingsexperiment mit 4-Jährigen (Krist, Bach, Öndül & Huber, 2002) insgesamt 12 statt der ursprünglich geplanten drei Trainingstrials zu verwenden (8

Gewicht- und 4 Balanceaufgaben). Für das Training wurden Kinder ausgewählt, die in einem Vortest noch keine Regel anwandten. Um die adäquate Beachtung der Gewichtsdimension zusätzlich zu begünstigen, nahmen die Kinder vor dem eigentlichen Training an einem Enkodierungstraining teil (vgl. Siegler, 1976, 1978). Die Hälfte der Kinder erhielt im Training reguläre, die andere Hälfte inverse Rückmeldung. In der inversen Bedingung senkte sich die Waage jeweils nach der Seite mit dem (scheinbar) geringeren Gewicht. Entgegen unserer Erwartung ergab sich nur eine gewisse, statistisch nicht signifikante Tendenz in Richtung eines höheren Lerneranteils in der regulären als in der inversen Bedingung (42% vs. 24%). Dieses Ergebnis lässt sich kaum mit der Annahme erklärungs-basierten Lernens in Einklang bringen. Es schließt aber die Möglichkeit keineswegs aus, dass bereits Vorschulkinder oder sogar Säuglinge in anderen Lernkontexten erklärungs-basiert lernen.

Wie lässt sich das Ergebnis unseres ersten Trainingsexperiments mit dem der Trainingsstudie von Baillargeon et al. vereinbaren? Es gibt zumindest die folgenden drei Möglichkeiten: Erstens kann man die Validität der in Baillargeons Säuglingsstudien zur Wissensdiagnose herangezogenen Blickzeitmaße in Frage stellen (z.B. Bogartz, Shinsky & Speaker, 1997; Willats, 1997; vgl. aber Baillargeon, 2002). Die erwähnten Untersuchungen zum expliziten Wissen jüngerer Kinder über die Statik von Objekten (Öndül et al., 2002) geben in der Tat Grund zu einer gewissen Skepsis gegenüber der Annahme, dass die in diesem Bereich berichteten Säuglingskompetenzen auf einer vergleichbaren Art des Wissens basieren. Zweitens könnte man die Verallgemeinerbarkeit von Befunden, die mit der Balkenwaage erhoben wurden, auf alltagsnähere Aufgaben anzweifeln. Drittens besteht die Möglichkeit, dass klare differentielle Trainingseffekte nur oder besonders dann zu beobachten sind, wenn Kinder bereits über eine Regel in dem betreffenden Problembereich verfügen und für sie die neu zu erwerbende Regel plausibler ist als die inverse.

Mit den im Folgenden dargestellten Experimenten gingen wir der dritten Möglichkeit nach. In Analogie zu unserem ersten Trainingsexperiment mit 4-Jährigen überprüften wir die Hypothese, dass Kinder der ersten Schulklasse (7-Jährige), welche Regel I, aber noch keine höhere Balkenwaagen-Regel anwenden, leichter die reguläre Distanzregel (II+) als die hierzu inverse (II-) erwerben. Diese Hypothese basiert auf der Annahme, dass Kinder durch ihre alltägliche Interaktion mit der physikalischen Umwelt intuitives Wissen über das physikalische Hebelgesetz aufbauen, das sie nicht vollständig explizieren können. Dieses intuitive Vorwissen sollte Regel II+ für Kinder intuitiv plausibler machen als Regel II-, und zwar noch bevor sie die Distanzdimension in ihren Vorhersagen systematisch berücksichtigen.

Experiment 1

In diesem Experiment übertrugen wir das in unserer früheren Trainingsstudie (Krist et al., 2002) erprobte Untersuchungsparadigma auf den zweiten von Siegler (1976, 1978, 1981) postulierten Entwicklungsschritt beim Lösen der Balkenwaagenaufgabe. Es ging also um den Erwerb einer die Distanzvariable einbeziehenden Regel (Regel II oder höher) durch die aufmerksame Beobachtung hierfür kritischer Ereignisse. Hierzu wurden Kinder der ersten Primarschulklasse rekrutiert, die in einem Vortest nach Regel I antworteten, d.h. allein die Gewichtsdimension systematisch berücksichtigten. Die auf diese Weise ausgewählten Kinder wurden wieder per Zufall einer von zwei Trainingsbedingungen zugewiesen: einer regulären oder einer inversen. Beide Gruppen von Kindern erhielten im Anschluss an den Vortest zunächst ein kurzes Enkodierungstraining, um sicherzustellen, dass sie die Ausprägung sowohl der Gewichts- als auch der Distanzvariable auf beiden Seiten der Balkenwaage korrekt beachteten. Nach einer Pause folgte in einer zweiten Sitzung das eigentliche Regeltraining mit acht Distanz- und vier Balanceaufgaben (zur Klassifikation der

verschiedenen Aufgabentypen siehe oben). In der inversen Trainingsbedingung wurden manipulierte Gewichte verwendet, die bei den Distanzaufgaben jeweils zu einem Effekt führten, der dem in der regulären Bedingung genau entgegengesetzt war. Während sich also die Waage in der regulären Bedingung nach der Seite mit der größeren Distanz neigte, senkte sie sich in der inversen Bedingung nach der Seite mit der geringeren Distanz, obwohl das Gewicht auf beiden Seiten der Waage jeweils gleich zu sein schien. Der Trainingserfolg wurde in einem Nachttest (ohne Rückmeldung) diagnostiziert. Die Kinder aus der inversen Trainingsgruppe wurden unmittelbar anschließend über die "Trickgewichte" aufgeklärt und über die korrekte Distanzregel informiert. Schließlich wurde in einer Folge-Untersuchung (Follow-up) die längerfristige Auswirkung des Regeltrainings eruiert und sichergestellt, dass kein Kind eine inkorrekte Regel beibehielt.

Methoden

Versuchsteilnehmer. Am Vortest dieses Experiments nahmen insgesamt 124 Erstklässler aus Primarschulen der Stadt Zürich teil (53 Jungen, 71 Mädchen; Durchschnittsalter: 6 J., 9 M.; Altersbereich: 5 J., 11 M. - 8 J., 4 M.). Von diesen Kindern urteilten 51 Kinder (41%) bereits im Vortest nach Regel II oder III; 9 Kinder (7%) wandten eine inverse Regel an (3 Regel I-, 6 Regel II-); und 10 Kinder (8%) urteilten nicht konsistent nach einer bestimmten Regel. Weitere 5 Kinder mussten aus organisatorischen Gründen oder wegen Versuchsleiterfehlern, die im weiteren Versuchsablauf auftraten, von der Auswertung ausgeschlossen werden. Von den in der Stichprobe verbleibenden Kindern (18 Jungen, 31 Mädchen; Durchschnittsalter: 7 J., 5 M.; Bereich: 5 J., 11 M. - 8 J., 3 M.) wurden 26 in der regulären Trainingsbedingung und 23 in der inversen Trainingsbedingung untersucht.

Apparatur. Sowohl zum Zweck der Regeldiagnose als auch für die Darbietung der Trainingstrials wurde eine Balkenwaage verwendet, ähnlich derjenigen, die Siegler (1976, 1978, 1981) in seinen Untersuchungen eingesetzt hat (siehe Abbildung 1). Die Balkenwaage bestand aus einem horizontalen Brett (Länge: 62 cm, Breite: 2,25 cm), das um einen oberhalb des Schwerpunkts gelegenen Drehpunkt frei schwingen konnte. Das Brett war auf beiden Seiten mit vier gleichabständigen Steckplätzen versehen (Hebelarm: 7, 14, 21 und 28 cm), auf die jeweils ein bis vier Gewichtsscheiben platziert werden konnten. Zur Arretierung der Balkenwaage wurden zwei Holzstützen unter die beiden Enden der Balkenwaage geschoben.

Als Gewichte für die Regeldiagnose (Vor- und Nachttest) dienten jeweils runde Scheiben (Durchmesser: 50 mm, Dicke: 12 mm), deren Ober- und Unterseite mit blauem Filz überzogen war. Die für die Trainingstrials benutzten Gewichte waren quadratisch geformt (Kantenlänge: 48 mm, Dicke 12 mm) und mit rotem, statt mit blauem Filz überzogen. Die Masse der bei der Regeldiagnose und im regulären Regeltraining verwendeten Gewichte betrug je 50 g. Um in der inversen Trainingsbedingung die Drehmomente auf beiden Seiten der Waage bei den kritischen Rückmeldungstrials (Distanzaufgaben) gegenüber der regulären Bedingung umkehren zu können, wurden beim inversen Training Gewichte mit den Massen 12.5 g, 25 g, 50 g, 100 g und 200 g verwendet und entsprechend miteinander kombiniert. Diese "Trickgewichte" unterschieden sich äußerlich nicht von den im regulären Training benutzten Gewichten.

Regeldiagnose. Die individuelle Regeldiagnose erfolgte in Anlehnung an Siegler (1976, 1978, 1981). Vortest, Nachttest sowie die im Rahmen des Follow-ups durchgeführten Tests bestanden jeweils aus 18 Aufgaben: je vier Gewicht-, Distanz-, und Balanceaufgaben sowie je zwei Konflikt-Gewicht-, Konflikt-Distanz- und Konflikt-Balanceaufgaben. Die Ausprägung der Gewichts- und der Distanzdimension variierte zwischen 1 und 4 (Anzahl und

Position der Gewichte). Für die einzelnen Tests wurden verschiedene Aufgabensätze per Zufallsauswahl zusammengestellt. Dies geschah mit der Einschränkung, dass die korrekte Antwort (*links*, *rechts* oder *Balance*) nicht häufiger als zweimal hintereinander die gleiche war.

Auf die Anwendung der Regeln I und II wurde geschlossen, wenn mindestens 11 der 18 Antworten eines Tests der jeweiligen Regel entsprachen. Zusätzlich mussten die folgenden Kriterien erfüllt sein: (a) Regel I+ bzw. I- wurde nur diagnostiziert, wenn jeweils mindestens zwei Gewicht-, Balance- und Distanzaufgaben regelkonform beantwortet wurden; (b) Regel II+ bzw. II- wurde nur diagnostiziert, wenn mindestens zwei Gewicht-, zwei Balance- und drei Distanzaufgaben regelkonform beantwortet wurden. Regel III+ wurde diagnostiziert, wenn insgesamt mindestens 8 Nicht-Konfliktaufgaben regelkonform beantwortet wurden, wobei mindestens drei dieser Antworten Distanzaufgaben betreffen mussten. Außerdem durften nicht mehr als vier Konfliktaufgaben nach Regel I+ beantwortet worden sein. Da Konfliktaufgaben bei inverser Berücksichtigung der Distanz und regulärer Berücksichtigung des Gewichts (Regel III-) zu denselben Vorhersagen führen wie Regel II- (oder I+), wurde nicht zwischen Regel II- und III- unterschieden. Auf eine Differenzierung zwischen Regel III+ und IV wurde ebenfalls verzichtet, weil nicht zu erwarten war, dass Kinder die korrekte physikalische Formel anwenden würden.

Durchführung. Das Trainingsexperiment bestand aus zwei Sitzungen, die für jedes Kind am selben Tag durchgeführt wurden. Der zeitliche Abstand zwischen dem Ende der ersten und dem Beginn der zweiten Sitzung betrug, von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, 10-15 Minuten. In der ersten Experimentalsitzung wurden der Vortest und das Enkodierungstraining durchgeführt; in der zweiten Sitzung folgte das Regeltraining und der Nachtest. Jedes Kind wurde einzeln in einem geeigneten Raum des Schulgebäudes untersucht. Die erste Experimentalsitzung dauerte ca. 10-15 Minuten, die zweite ca. 20 Minuten. Das Follow-up fand zwei bis drei Wochen später statt.

Zu Beginn der Untersuchung konnte sich das Kind mit den Gewichten und der Balkenwaage vertraut machen. Das Kind wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass alle Scheiben gleich schwer waren, und es konnte sich selbst davon überzeugen, dass die Balkenwaage ohne Gewichte in Balance blieb. Anschließend arretierte die Versuchsleiterin die Balkenwaage und machte das Kind auf die Steckplätze und deren Gleichabständigkeit aufmerksam. Das Kind durfte danach selbst einzelne Gewichte auf der arretierten Balkenwaage platzieren. Während der Instruktion sowie im weiteren Verlauf des Trainingsexperiments wurde vermieden, die Begriffe *Waage* oder *Gewicht* zu benutzen. Stattdessen wurde von einem Gerät oder Spiel und von Scheibchen gesprochen.

Im anschließenden Vortest war es dem Kind nicht mehr gestattet, die Gewichte selbst zu manipulieren. In jedem Trial lautete die Frage an das Kind, ob die Balkenwaage nun nach rechts, links oder gar nicht herunterkippen würde, wenn man die Holzklötze entfernen würde. Das Kind konnte seine Antwort sprachlich und durch entsprechende Gesten ausdrücken. Während des Vortests erhielt das Kind in keinerlei Form Rückmeldung über die Richtigkeit seiner Urteile. Nach jeder Antwort wurden alle Gewichte von der Waage entfernt, bevor die Anordnung für die nächste Aufgabe hergestellt wurde.

Im Anschluss an den Vortest fand ein kurzes Enkodierungstraining statt. Hierbei wurden den Kindern nacheinander, in einer festgelegten Reihenfolge, fünf Fotos gezeigt, auf denen die arretierte Balkenwaage in verschiedenen Konstellationen abgebildet war. Auf den Fotos waren die roten, eckigen Gewichte zu sehen, die auch im nachfolgenden Regeltraining benutzt wurden. Die Versuchsleiterin zeigte dem Kind jeweils ein Foto und bat es, sich die gezeigte Anordnung gut einzuprägen, um sie anschließend auf der Balkenwaage mit den blauen, runden Gewichten nachzubauen. Das Kind durfte jeweils erst mit dem Platzieren der Gewichte anfangen, wenn das Foto wieder zugedeckt war. Nachdem das Kind seinen

Reproduktionsversuch beendet hatte, konnte es anhand des Fotos etwaige Fehler korrigieren. Falls das Kind seine Fehler (falsche Anzahl oder Position der Gewichte) nicht selbst erkannte, wurde es von der Versuchsleiterin darauf hingewiesen.

Die zweite Experimentalsitzung begann mit dem Regeltraining, in dem das Kind in insgesamt 12 Trials das Ergebnis vorhersagen sollte und anschließend das tatsächliche Verhalten der Waage beobachten konnte. Zu Beginn des Regeltrainings wurde das Kind instruiert, es solle anhand der Beispiele versuchen herauszufinden, worauf es achten müsse, um das Verhalten der Balkenwaage korrekt vorhersagen zu können. Wie im Vortest wurden die Gewichte jeweils von der Versuchsleiterin auf der arretierten Balkenwaage platziert. Erst nachdem das Kind seine Vorhersage gemacht hatte, entfernte die Versuchsleiterin die Stützen, und das Kind konnte das tatsächliche Resultat beobachten. Für das inverse Regeltraining wurden verschiedene, unterschiedlich schwere Gewichte jeweils so miteinander kombiniert, dass bei den Distanzaufgaben das zur regulären Bedingung entgegengesetzte Drehmoment resultierte und die Waage dementsprechend nach der anderen Seite kippte. Deshalb wurde in beiden Trainingsbedingungen darauf geachtet, dass die Kinder die Gewichte nicht selbst in die Hand nehmen konnten.

Abgesehen von der Manipulation der Ergebnisrückmeldung war der Versuchsablauf für beide Experimentalgruppen gleich. Das Regeltraining gliederte sich in vier Blöcke von je drei Aufgaben. In jedem Block wurden in wechselnder Reihenfolge zwei (zueinander spiegelsymmetrische) Distanzaufgaben und eine Balanceaufgabe dargeboten. Die Trainingsaufgaben sind in der Reihenfolge ihrer Darbietung in Tabelle 1 aufgeführt. Sie waren von den im Vor- und Nachtest verwendeten Aufgaben verschieden.

Tabelle 1: Trainingstrials in Experiment 1

Aufgabe				
Trial	Typ	Links (G * D)	Rechts (G * D)	Ergebnis (regulär/invers)
1	Distanz	2 * 4	2 * 1	Links/Rechts
2	Distanz	2 * 1	2 * 4	Rechts/Links
3	Balance	2 * 4	2 * 4	Balance
4	Distanz	1 * 2	1 * 1	Links/Rechts
5	Balance	1 * 3	1 * 3	Balance
6	Distanz	1 * 1	1 * 2	Rechts/Links
7	Balance	3 * 1	3 * 1	Balance
8	Distanz	3 * 2	3 * 4	Rechts/Links
9	Distanz	3 * 4	3 * 2	Links/Rechts
10	Distanz	4 * 2	4 * 3	Rechts/Links
11	Distanz	4 * 3	4 * 2	Links/Rechts
12	Balance	4 * 2	4 * 2	Balance

G = Anzahl Gewichte; D = Distanz vom Drehpunkt

Der Nachtest unterschied sich vom Vortest lediglich hinsichtlich des präsentierten Satzes von Aufgaben. Es wurden zwei Aufgabensätze verwendet, von denen der Hälfte der Kinder der erste im Vor- und der zweite im Nachtest dargeboten wurde, während es sich bei der anderen Hälfte der Kinder umgekehrt verhielt.

Jedes in der inversen Trainingsbedingung untersuchte Kind wurde unmittelbar im Anschluss an den Nachtest ausführlich über die im Training verwendeten "Trickgewichte"

aufgeklärt. Die Versuchsleiterin bot dem Kind die Möglichkeit, die verschiedenen Gewichte zu explorieren und sie auf der Balkenwaage zu platzieren. Außerdem bemühte sie sich, dem Kind mit Hilfe von Demonstrationen das Verhalten der Balkenwaage auf kindgemäße Weise zu erklären.

Nach mindestens zwei bis höchstens drei Wochen wurde das Wissen aller Kinder im Rahmen eines Follow-ups mit einem neuen Aufgabensatz, ansonsten aber in der gleichen Weise wie in den Experimentalsitzungen, diagnostiziert. Zuvor invers trainierte Kinder, die in diesem Follow-up-Test keine systematische Regel oder eine inverse Regel anwandten, wurden einem regulären Regel II-Training unterzogen (wie oben beschrieben, mit zusätzlichen Erläuterungen). Anschließend wurde ihr Wissen ein weiteres Mal per Regeldiagnose diagnostiziert, um sicher zu gehen, dass sie keine falsche Regel beibehielten. Hierfür wurde wiederum ein neuer Aufgabensatz zusammengestellt.

Ergebnisse

Tabelle 2 liefert einen Überblick über die im Nachtest bei beiden Experimentalgruppen diagnostizierten Regeln. Es fällt auf, dass die Mehrheit der Kinder aus der regulären Trainingsgruppe die reguläre Regel II (Regel II+) anwandte, während die Mehrheit der Kinder aus der inversen Trainingsgruppe die inverse Regel II (Regel II-) benutzte. In der regulären Gruppe behielten von den übrigen Kindern fünf die bereits im Vortest angewandte Regel I bei und drei Kinder urteilten auf dem Niveau von Regel III. In der inversen Bedingung ergab sich auch in dieser Hinsicht ein anderes Bild, denn die nicht nach Regel II-urteilenden sechs Kinder verteilten sich auf fünf der sechs übrigen Kategorien. Interessant ist, dass zwei Kinder im Nachtest eine inverse Gewichtsregel (I-) anwandten und ein Kind die Kriterien für Regel III+ erfüllte. Insgesamt ist ein deutlicher Effekt des kombinierten Enkodierungs- und Regeltrainings zu konstatieren. Dieser drückt sich in einem signifikanten Zusammenhang zwischen Trainingsbedingung und Regelanwendung aus, $\chi^2(N=49, df=2) = 32.7, p < .001$. (Für die inferenzstatistische Analyse wurden die Kategorien *-I* und *keine Regel* sowie *II+* und *III+* jeweils zusammen gefasst.)

Tabelle 2: Häufigkeit der im Nachtest diagnostizierten Regeln und Lerneranteil in Abhängigkeit von der Trainingsbedingung (Experiment 1)

Training	Nachtest-Regel						Lerner (%)
	II-	I-	k.R.	I+	II+	III+	
Regulär	-	-	-	5	18	3	80.8
Invers	17	2	1	1	1	1	73.9

k.R. = keine Regel

Zur Prüfung der Frage eines differentiellen Trainingseffekts wurde jedes Kind einer der beiden Kategorien *Lerner* oder *Nicht-Lerner* zugeordnet. Als Lerner galten Kinder, welche die trainierte Regel (II+/III+ bzw. II-) im Nachtest anwandten; die übrigen Kinder galten als Nicht-Lerner. In der regulären Trainingsbedingung belief sich der Lerneranteil auf 80.8%, in der inversen Trainingsbedingung auf 73.9%. Dieser Unterschied zeigt zwar in die erwartete Richtung, verfehlt aber die statistische Signifikanz deutlich, $p > .40$ (Fischers exakter Test, eins.).

Da der Lerneranteil mit 77.6% insgesamt recht hoch lag, war es von besonderem Interesse, den Antwortverlauf über die einzelnen Trials des Regeltrainings hinweg zu analysieren. Hierfür wurde jeweils der Anteil der Kinder ermittelt, welcher bei der betreffenden Aufgabe eine Vorhersage machte, die der trainierten Regel entsprach. Hierbei ist zweierlei zu beachten: Erstens sind die vier Balanceaufgaben, die an den Positionen 3, 5, 7 und 12 dargeboten wurden, für diese Analyse irrelevant; und zweitens nimmt der erste Trainingstrial insofern eine Sonderstellung ein, als die betreffende Vorhersage noch vor jeder Rückmeldung und somit für beide Experimentalgruppen unter den gleichen Bedingungen erfolgte.

Abbildung 2 veranschaulicht den Lernverlauf in den beiden Trainingsbedingungen über die acht Distanzaufgaben hinweg. Mit einem Stern sind jeweils die statistisch signifikanten Differenzen gekennzeichnet ($p < .05$, Fischers exakter Test, eins.). Es fällt auf, dass die Werte der regulären Trainingsgruppe, mit Ausnahme des vierten Trials, durchweg und in fünf Fällen sogar signifikant über denjenigen der inversen Trainingsgruppe liegen. Bemerkenswert ist auch, (a) dass sich bereits im ersten Trial - und damit noch vor jeder Rückmeldung - ein signifikanter Effekt zugunsten der regulären Bedingung zeigte, (b) dass die Vorhersagen in der regulären Bedingung sofort nach der ersten Rückmeldung bei allen Kindern korrekt ausfielen und (c) dass sie weitgehend auf diesem hohen Niveau blieben. Insgesamt erscheint das Lernen der inversen Regel gegenüber dem Lernen der regulären Regel zwar leicht verzögert; spätestens gegen Ende des Trainings ist der Lerneffekt aber auch in der inversen Bedingung deutlich ausgeprägt.

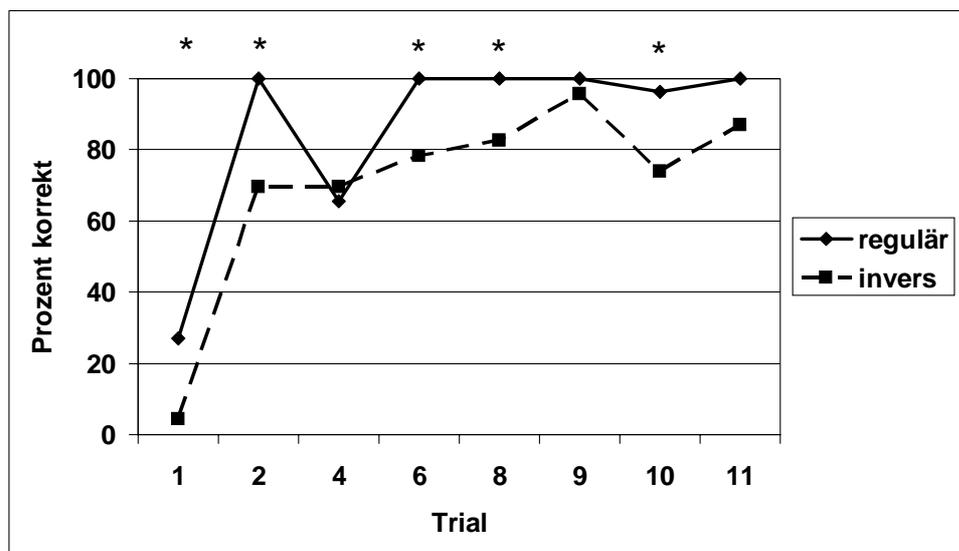


Abbildung 2: Prozent korrekter Vorhersagen bei Distanzaufgaben in der regulären und inversen Trainingsbedingung (Experiment 1).

Im Hinblick auf die Ergebnisse des Follow-ups stellen sich vor allem drei Fragen: (1) Wie stabil war der Lernerfolg der regulär trainierten Kinder? (2) Inwieweit verhalf die im Anschluss an den Nachtest erfolgte Aufklärung den invers trainierten Kindern zu einem korrekten Regelverständnis ähnlich demjenigen der regulär trainierten Kinder? (3) Wie erfolgreich war das zweite, reguläre Training bei denjenigen Kindern, die im Follow-up zunächst noch nach der inversen Regel urteilten?

Für das Follow-up konnten 42 der 49 Kinder erneut als Versuchsteilnehmer gewonnen werden. Vier regulär und drei invers trainierte Kinder fielen trotz größter Bemühungen, sie für die weitere Teilnahme zu gewinnen, aus der Stichprobe. Zur

Beantwortung der ersten Frage wurden die verbleibenden regulär trainierten Kinder (n=22) zum einen anhand ihrer Nachtstestergebnisse und zum anderen anhand der Ergebnisse des Follow-up-Tests als Lerner oder Nicht-Lerner klassifiziert. Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass von den 18 erfolgreich trainierten Kindern im Follow-up-Test noch 13 Kinder als Lerner identifiziert werden konnten. In der Gruppe der regulär trainierten Kinder war keine signifikante Abnahme des Lerneranteils vom Nachtstest (81.8%) zum Follow-up (72.7%) zu verzeichnen, $p > .30$ (McNemar-Test, eins.).

Tabelle 3: Häufigkeit der bei Lernern und Nicht-Lernern im Follow-up-Test diagnostizierten Regeln in Abhängigkeit von der Trainingsbedingung (Experiment 1)

Training	Follow-up-Regel					
	II-	I-	k.R.	I+	II+	III+
Regulär						
Lerner	-	-	4	1	9	4
Nicht-Lerner	-	-	1	-	3	-
Invers						
Lerner	9	-	2	2	2	-
Nicht-Lerner	2	-	1	-	1	1

k.R. = keine Regel

Die Gegenüberstellung der von beiden Experimentalgruppen im Follow-up-Test angewandten Regeln (siehe Tab. 3) macht deutlich, dass der Trainingseffekt auch bei vielen invers trainierten Kindern (n=20) nachhaltig war, obwohl die betreffenden Kinder im Anschluss an den Nachtstest über die korrekte Regel unterrichtet worden waren. Der Lerneranteil verringerte sich in der Gruppe der invers trainierten Kinder zwar deutlich (Nachtstest: 75.0%, Follow-up-Test: 55.0%), jedoch nicht in statistisch signifikanter Weise, $p > .10$ (McNemar-Test, eins.),

Wie bereits erwähnt, nahmen alle invers trainierten Kinder, die im Follow-up-Test keine systematische Regel oder eine inverse Regel anwandten, an einem zweiten, regulären Regeltraining teil. Von den 14 ein zweites Mal trainierten Kindern urteilten bei der abschließenden Regeldiagnose 11 Kinder nach Regel II+, ein Kind wandte keine systematische Regel an, und zwei der nochmals trainierten Kinder urteilten immer noch nach Regel II-. Den beiden letztgenannten Kindern wurde die korrekte Regel daraufhin noch einmal ausführlich erklärt. Durch gezieltes Nachfragen wurde sichergestellt, dass sie die Regel nun richtig verstanden hatten und anwenden konnten.

Diskussion

Das hervorstechende Ergebnis dieses Experiments ist das gute Lernresultat. Durch Rückmeldung in einigen wenigen kritischen Trials konnten die meisten der untersuchten 7-Jährigen die von ihnen ursprünglich angewandte Regel I zur Regel II differenzieren. Die Kehrseite dieser guten Lernfähigkeit war der Befund, dass die Gruppe der invers trainierten Kinder beinahe ebenso gut die falsche Regel II- erwarb wie die regulär trainierte Gruppe die richtige(re) Regel II+.

Es liegt nahe, die Tatsache, dass der Lernerfolg in diesem Experiment deutlich höher ausfiel als im Vorläuferexperiment (Krist et al., 2002), auf die größere Lernfähigkeit 7-Jähriger im Vergleich zu 4-Jährigen zurück zu führen. Auch wenn es kaum Zweifel daran gibt, dass sich Grundschul Kinder von Kindern im Vorschulalter im Hinblick auf ihre Lernfähigkeit unterscheiden (siehe z.B. bereits Kendler & Kendler, 1962, 1970), so ist die Interpretation der unterschiedlichen Lernraten im Sinne eines Alterseffekts im vorliegenden Fall nicht zulässig. Der Grund ist, dass die 4-Jährigen Regel I und die 7-Jährigen Regel II erwerben sollten. Dies macht vor allem deshalb einen gravierenden Unterschied, weil der Erwerb von Regel II auf der bereits vorhandenen Regel I aufbauen kann, während Regel I kein systematisches Antwortverhalten voraus geht. Mit anderen Worten: Regel I setzt ein Grundverständnis der Funktionsweise der Balkenwaage voraus, auf dem der Erwerb von Regel II aufbauen kann. Hinzu kommt, dass Kinder, um Regel I in Regel II zu differenzieren, lediglich ihre Vorhersagen für *einen* Typ von Aufgaben ändern müssen: die Distanzaufgaben. Für die Diagnose von Regel I ist hingegen die systematische Berücksichtigung des Gewichts bei *allen* Aufgabentypen erforderlich. Dementsprechend erforderte das Regel-I-Training einen Transfer von Balance- und Gewichtsaufgaben auf alle Aufgabentypen, während sich der Transfer beim Regel-II-Training auf andere Gewichtobjekte und Distanzaufgaben beschränkte.

Die sich in den Follow-up-Ergebnissen ausdrückende Nachhaltigkeit des Trainingserfolges ist ein weiterer interessanter Aspekt der vorliegenden Ergebnisse. Sie deutet darauf hin, dass viele der regulär trainierten Kinder in der untersuchten Mikrodomäne tatsächlich einen Entwicklungsfortschritt gemacht haben. Überraschenderweise hielten auch viele der invers trainierten Kinder an der trainierten Regel (II-) fest, obwohl sie unmittelbar im Anschluss an den Nachtest über die manipulierten Gewichte und die korrekte Regel aufgeklärt worden waren. Dieses Ergebnis unterstreicht, wie vergleichsweise effektiv das Lernen anhand von konkreten Beobachtungen - zumindest bei Grundschulkindern - sein kann.

Da wir davon ausgegangen waren, dass Regel II+ aufgrund von Alltagserfahrungen, wie sie Kinder z.B. auf der Wippe tagtäglich machen, für 7-Jährige plausibler sein sollte als Regel II- und von daher die Lernbereitschaft in der regulären Trainingsbedingung höher sein sollte als in der inversen, war für uns das Ausbleiben eines statistisch bedeutsamen differentiellen Trainingseffekts überraschend. Die Analyse der Vorhersagen während des Trainings selbst ergab hingegen eine klare Bestätigung unserer Hypothese. Die Quote richtiger Vorhersagen im Sinne der trainierten Regel war in der regulären Trainingsbedingung fast durchweg höher als in der inversen Trainingsbedingung. Dieser Unterschied war bereits im ersten Trainingstrial und damit vor jeder Rückmeldung zu verzeichnen - ein Ergebnis, das unsere Annahme der a priori unterschiedlichen Plausibilität der beiden Regeln zusätzlich unterstreicht.

Dass im Nachtest kein statistisch bedeutsamer Effekt der Trainingsbedingung mehr nachzuweisen war, könnte also darauf zurück zu führen sein, dass der Umfang des Trainings für die Kinder in der inversen Bedingung gerade ausreichend war, um das gleiche Vorhersageniveau wie die Kinder in der regulären Bedingung zu erzielen. In diese Richtung deutet die Beobachtung, dass der Anteil korrekter Antworten (im Sinne der trainierten Hypothese) nur in der regulären Trainingsbedingung sofort nach der ersten Rückmeldung die 100%-Marke erreichte, während dies bei Kindern in der inversen Bedingung erst gegen Ende des Trainings der Fall war. In Experiment 2 wurde deshalb die Anzahl der Trainingstrials deutlich reduziert. Wir erwarteten, dass sich durch diese Maßnahme ein differentieller Trainingseffekt auch im Nachtest ergeben würde.

Experiment 2

Als wesentliche Änderung gegenüber Experiment 1 wurde in Experiment 2 der Trainingsumfang auf zwei Distanz- und eine Balanceaufgabe reduziert. Unsere Erwartung war, dass sich das reduzierte Training in einem deutlicheren Effekt der Trainingsbedingung niederschlagen sollte. Als zusätzliche Maßnahme, um den Lerneranteil weiter zu reduzieren und damit die Wahrscheinlichkeit für einen differentiellen Trainingseffekt zu erhöhen, wurde in Experiment 2 auf das Enkodierungstraining verzichtet. Ein Follow-up-Test wurde nur mit den invers trainierten Kindern durchgeführt.

Methoden

Abgesehen von den genannten Punkten entsprach die Methodik derjenigen von Experiment 1. Im Folgenden werden daher nur die Besonderheiten des vorliegenden Experiments näher beschrieben.

Versuchsteilnehmer. Am Vortest dieses Experiments nahmen insgesamt 70 Erstklässler aus Primarschulen der Stadt Zürich teil (35 Jungen, 35 Mädchen; Durchschnittsalter: 7 J., 5 M.; Altersbereich: 6 J., 10 M. - 8 J., 4 M.). Von diesen Kindern urteilten 29 Kinder (41%) nach Regel II und 10 Kinder (14%) nach keiner diagnostizierbaren Regel. Weitere drei Kinder konnten aus organisatorischen Gründen nicht berücksichtigt werden. Von den in der Stichprobe verbleibenden Kindern (12 Jungen, 15 Mädchen; Durchschnittsalter: 7 J., 6 M.; Bereich: 6 J., 8 M. - 8 J., 1 M.) wurden 14 in der regulären Trainingsbedingung und 13 in der inversen Trainingsbedingung untersucht.

Durchführung. Gegenüber Experiment 1 unterschied sich die Durchführung von Experiment 2 in den folgenden Punkten. Erstens bestand die erste Experimentalsitzung lediglich aus dem Vortest, weil das Enkodierungstraining entfiel. Hierdurch reduzierte sich die Durchführungsdauer auf ca. 5-7 Minuten pro Kind. Dementsprechend kürzer fiel auch die Pause zwischen erster und zweiter Sitzung aus (weil ein Kind in aller Regel nur so lange pausierte, bis ein anderes den Vortest absolviert hatte und seine Antworten ausgewertet waren). Zweitens beinhaltete das Regeltraining nur zwei zueinander spiegelbildliche Distanzaufgaben und eine Balanceaufgabe. Die Trials lauteten in der Reihenfolge ihrer Darbietung (links vs. rechts): (1) 2G*4D vs. 2G*1D, (2) 2G*1D vs. 2G*4D, (3) 2G*4D vs. 2G*4D. Drittens nahmen nur die Lerner unter den invers trainierten Kindern am Follow-up teil.

Ergebnisse

Aus der Zusammenstellung der Häufigkeiten der im Nachtest in den beiden Experimentalgruppen diagnostizierten Regeln (Tab. 4) geht hervor, dass die Kinder in der regulären Trainingsbedingung Regel II+ ähnlich gut lernten wie in Experiment 1. In der Gruppe der invers trainierten Kinder gab es im Gegensatz zu Experiment 1 hingegen nur relativ wenige Kinder, die im Nachtest Regel II- anwandten. Der Lerner-Anteil betrug in der regulären Gruppe 71.4% (9 Kinder mit Regel II+ und 1 Kind mit Regel III+), in der inversen lediglich 30.8% (4 Kinder mit Regel II-). Der differentielle Trainingseffekt war statistisch signifikant, $p < .05$ (Fischers exakter Test, eins.). Auch der Unterschied in der Regelanwendung der beiden Experimentalgruppen als solcher war statistisch bedeutsam, $\chi^2(N=27,$

$df=2$) = 12.7, $p < .01$. (Für diese Auswertung wurden die Kategorien *keine Regel* und *Regel I* sowie *Regel II+* und *III+* jeweils zusammengefasst.)

Tabelle 4: Häufigkeit der im Nachtest diagnostizierten Regeln und Lerneranteil in Abhängigkeit von der Trainingsbedingung (Experiment 2)

Training	Nachtest-Regel						Lerner (%)
	II-	I-	k.R.	I+	II+	III+	
Regulär	-	-	1	3	9	1	71.4
Invers	4	-	3	5	1	-	30.8

k.R. = keine Regel

Für die im Training an erster bzw. zweiter Stelle dargebotenen Distanzaufgaben (Trial 1 bzw. 2) zeigt Abbildung 3 den Anteil der Antworten, welche der jeweils trainierten Regel entsprach. In beiden Fällen ist ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Trainingsbedingungen festzustellen, $p < .05$ (Fischers exakter Test, eins.). Hierbei ist wiederum zu beachten, dass das Ergebnis des ersten Trials nicht auf die unterschiedliche Trainingsbedingung zurück zu führen ist, sondern anzeigt, dass vor jeder Rückmeldung bereits häufiger korrekte Antworten als Antworten im Sinne von Regel II- gegeben wurden.

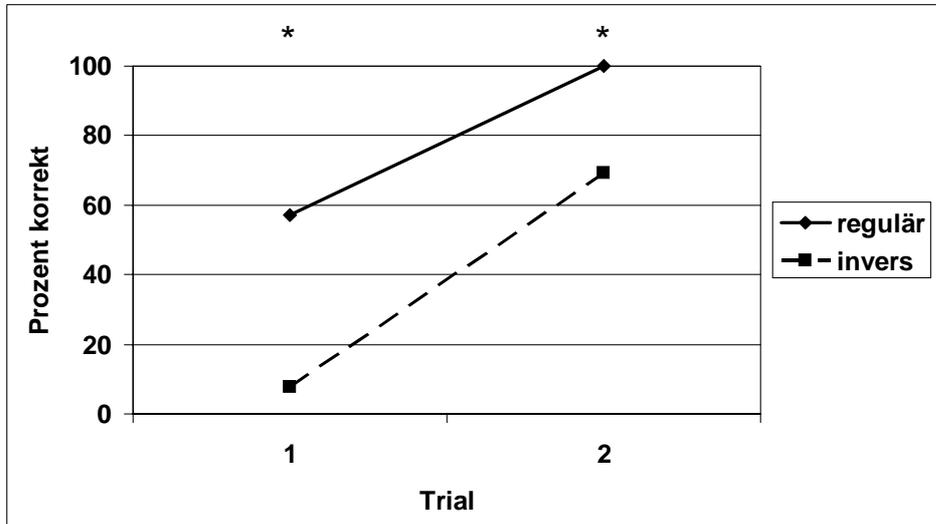


Abbildung 3: Prozent korrekter Vorhersagen bei Distanzaufgaben in der regulären und inversen Trainingsbedingung (Experiment 2).

Im Follow-up, an dem in diesem Experiment nur die vier Lerner der invers trainierten Kinder teilnahmen, wandte ein Kind Regel I an; die anderen drei Kinder zeigten keine systematische Regelanwendung (sie gaben bei den Distanzaufgaben sowohl korrekte als auch inverse Antworten). Alle vier Kinder nahmen an einem zweiten, regulären Regeltraining teil (12 Trials mit zusätzlichen Erläuterungen; vgl. Exp. 1). Die drei Kinder, die zunächst unsystematisch geantwortet hatten, wandten im abschließenden Test Regel II+ an; das vierte Kind behielt Regel I bei.

Diskussion

Die gegenüber Experiment 1 drastisch reduzierte Anzahl Trainingstrials bewirkte einen deutlichen differentiellen Trainingseffekt. Praktisch sofort nach der ersten Rückmeldung bei einer Distanzaufgabe abstrahierten die meisten Kinder in der regulären Trainingsbedingung Regel II+ und wandten sie im Nachtest systematisch an. Dies repliziert den entsprechenden Befund aus Experiment 1. Im Gegensatz hierzu genügten die beiden im Training dargebotenen (manipulierten) Distanzaufgaben den in der inversen Trainingsbedingung untersuchten Kindern offenbar nicht, um sie von der Allgemeingültigkeit von Regel II- zu überzeugen. Auch dies bestätigt unsere Einschätzung, dass die in Experiment 1 in der inversen Bedingung trainierten Kinder mehr Trials als die regulär trainierten brauchten, um die jeweilige Regel zu lernen.

Unsere Annahme, dass Kinder aufgrund intuitiven, nicht explizierten Vorwissens über das Hebelgesetz leichter eine physikalisch korrekte als eine inkorrekte Distanzregel erwerben, wird durch den im vorliegenden Experiment gefundenen differentiellen Trainingseffekt gestützt. Alternativerklärungen sind zwar denkbar; sie müssen in der einen oder anderen Form aber ebenfalls auf den Vorwissensfaktor rekurrieren. Anders lässt sich die beobachtete Spezifität der Lernbereitschaft nicht erklären. Zumindest zwei solcher Alternativerklärungen kommen in Frage: Erstens könnte es sein, dass viele Kinder, bei denen im Vortest Regel I diagnostiziert wurde, bereits um die Distanzregel wussten, diese aber nicht systematisch genug anwandten, um den Kriterien für die Diagnose von Regel II+ zu genügen. Zweitens könnte der differentielle Trainingseffekt auch auf einem inhaltsübergreifenden Regeltransfer basieren.

Für die erste Erklärung scheint zu sprechen, dass etwa 40% der in Experiment 1 und 2 vorgetesteten Kinder ohne Training bereits nach Regel II+ urteilten. Auch das Ergebnis, dass schon im ersten Trainingstrial häufiger Antworten gemäß Regel II+ als gemäß Regel II- gegeben wurden, könnte als Beleg angeführt werden. Allerdings muss man sich fragen, ob eine solche Erklärung wirklich eine Alternative zu der von uns favorisierten Interpretation darstellt. Da genuine Fehldiagnosen aufgrund der Ergebnisse des Nachtests, bei dem ja dieselben Kriterien für die Regeldiagnose verwendet wurden wie im Vortest, praktisch ausgeschlossen werden können, ist dies unseres Erachtens nicht der Fall. In diesem Zusammenhang ist auch von Bedeutung, dass nach Ergebnissen von Siegler (1978) die bloße Auseinandersetzung mit relevanten Aufgaben ohne Rückmeldung zu keiner Regelverbesserung führt. Das im Nachtest von Experiment 1 und 2 deutlich verbesserte Antwortniveau der regulär trainierten Kinder spiegelt also mit hoher Wahrscheinlichkeit einen echten, rückmeldungsbasierten Lerneffekt wider. Dieses Ergebnis lässt sich kaum anders erklären, auch und vor allem, wenn man bedenkt, dass in Experiment 1 Regel II- (bei inversem Training) annähernd genauso gut erworben wurde wie Regel II+ (bei regulärem Training).

Als zweite Erklärungsmöglichkeit des differentiellen Trainingseffekts ist in Betracht zu ziehen, dass Kinder Regel I als Spezialfall einer inhaltsübergreifend anwendbaren "Mehr-ist-mehr-Regel" begreifen (vgl. Levin, 1979). Die Mehr-ist-mehr-Regel besagt, dass eine größere Ausprägung einer Ursache oder eines Prädiktors auch mit einer größeren Ausprägung der Wirkung bzw. des Kriteriums einhergeht. Solche ordinalen oder quasi-linearen Je-desto-Regeln sind für naive physikalische Überlegungen charakteristisch (Wilkening & Huber, 2002). Es ist nun denkbar, dass vor allem Kinder, die bereits über Regel I verfügen, erwarten, dass eine zusätzlich zu berücksichtigende Variable, ebenfalls dem Mehr-ist-mehr-Prinzip gehorcht. Eine analoge Erklärung bietet sich auch für den von Baillargeon (1996) berichteten differentiellen Trainingseffekt bei Säuglingen an (siehe Einleitung). In beiden Fällen mag die genannte Alternativerklärung nicht sehr plausibel erscheinen, dennoch ist sie beim gegenwärtigen Forschungsstand nicht auszuschließen. Was

die Balkenwaage betrifft, so müsste in künftigen Experimenten zunächst einmal geklärt werden, ab wann Kinder unterschiedliche Gewichtspositionen als Distanzen von der Drehachse enkodieren. Zu klären wäre hierbei, ob eine entsprechende Enkodierung bereits erfolgt, bevor Regel II angewandt wird.

Allgemeine Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 1 deuten darauf hin, dass Kinder der ersten Schulklasse allein durch aufmerksames Beobachten des Verhaltens der Balkenwaage die einfache, allein am Gewicht orientierte Regel I zu der die Distanzdimension einbeziehenden Regel II differenzieren können. Wie insbesondere Experiment 2 unter Beweis gestellt hat, genügen hierzu einige wenige Trials, in denen das Kind durch konkrete physikalische Rückmeldung erfährt, dass seine ursprüngliche Regel bei unterschiedlicher Distanz und gleichem Gewicht (d.h. bei Distanzaufgaben) nicht zur erwarteten Balance führt. Die Analyse der Vorhersagen, welche die Kinder während des Trainings selbst machten, gab sogar zur Vermutung Anlass, dass Regel II häufig bereits aufgrund einer einzigen Rückmeldung bei einer Distanzaufgabe erworben wird. Die von Baillargeon (1996, 2002) vertretene Sichtweise, dass naive physikalische Regeln allein durch die Beobachtung kontrastiver Evidenz erworben werden können, findet also in den vorliegenden Experimenten für 7-jährige Kinder eine klare Bestätigung.

Im Gegensatz hierzu stehen die Ergebnisse des mit 4-Jährigen durchgeführten Vorläuferexperiments (Krist et al., 2002). Die relativ niedrige Lernquote in diesem Experiment scheint dagegen zu sprechen, dass jüngere Kinder oder sogar schon Säuglinge anhand einiger weniger Beobachtungen eine neue Regel lernen können. Es wurde aber bereits darauf hingewiesen, dass 4-Jährige möglicherweise deshalb eine ganze Reihe von Trainingstrials benötigen, um Regel I zu erwerben, weil sie zunächst noch keinerlei Regelhaftigkeit im Verhalten der Balkenwaage erkennen. Möglicherweise mangelt es ihnen sogar an dem grundlegenden Verständnis, dass die Balkenwaage ein Gerät ist, das physikalischen Gesetzen gehorcht (vgl. Kuzman & Gelman, 1986; Rapp, 1999).

Kontrastive Evidenz, d.h. Evidenz für eine kausale Verknüpfung zweier Variablen, kann nur dann für den Regelerwerb genutzt werden, wenn sie auch als solche erkannt wird. Im Alter von 7 Jahren haben Kinder die Regel konsolidiert, dass sich eine Waage zur stärker beladenen Seite neigt und ausbalanciert ist, wenn sich auf beiden Seiten das gleiche Gewicht befindet. Diese Regel ist korrekt, solange die Hebelarme auf beiden Seiten gleich sind, wie dies etwa bei Schalenwaagen der Fall ist. Wenn die Kinder nun beobachten können, dass sich eine Waage trotz gleichen Gewichts auf beiden Seiten auf einer Seite senkt und sie den Widerspruch zu ihrer Vorhersage erkennen, bietet sich als Ursache für das erwartungswidrige Verhalten der Balkenwaage die unterschiedliche Position der Gewichte an. Das Kind kann daher schon durch eine einzige Beobachtung erkennen, dass die Distanz ebenfalls eine relevante Dimension darstellt und auf diesem Weg zur Abstraktion von Regel II oder einer anderen, die Distanzdimension einbeziehenden Regel gelangen.

Natürlich gibt es nichts, was das Kind zur Abstraktion einer entsprechenden Regel zwingt (vgl. Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986; Weinert & Waldmann, 1988). Beispielsweise könnte das Kind auch folgern, dass die Gewichte auf beiden Seiten - trotz gleicher Anzahl - unterschiedlich schwer sind. Diese Folgerung wäre im Fall der in der inversen Trainingsbedingung verwendeten Gewichte sogar zutreffend gewesen. Gemäß unserer Vorannahme hängt die Wahrscheinlichkeit der Abstraktion einer Distanzregel von ihrer Plausibilität und damit auch vom Vorwissen des Lernalters ab. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen, dass die reguläre Distanzregel (Regel II+) für 7-jährige Kinder, die sich in ihren Vorhersagen noch nach Regel I richten, plausibler ist als die hierzu inverse

(Regel II-). Dies zeigte sich besonders deutlich bei der Verwendung von nur zwei kritischen Rückmeldungstrials in Experiment 2. Die überwiegende Mehrheit der regulär trainierten Kinder erwarb in diesem Experiment nachweislich Regel II+, während nicht einmal jedes dritte invers trainierte Kind Regel II- erwarb. Dieser differentielle Trainingseffekt unterstützt nicht nur unsere Annahme, dass Kinder intuitives Wissen über das Hebelgesetz erwerben, sondern auch, dass sie ihr intuitives Wissen auf die Balkenwaage beziehen.

Wie lauten die Implikationen unserer Resultate im Hinblick auf Theorien der Wissensentwicklung? Unser erstes Trainingsexperiment mit 4-Jährigen (Krist et al., 2002) ließ bereits an der von Baillargeon (1996, 2002) vertretenen Annahme zweifeln, dass die in Säuglingsstudien gefundenen differentiellen Trainingseffekte auf erklärungs-basiertes Lernen zurück zu führen sind. Wenn Kinder bereits im ersten Lebensjahr für sie unerklärliche Statik-Phänomene primär anhand ihres Wissens über die Wirkung von Kräften zu erklären versuchen, sollte man erwarten, dass 4-Jährige sehr viel leichter die reguläre als die inverse Gewichtsregel (Regel I) erwerben, was nicht der Fall war. Die Ergebnisse der vorliegenden Experimente mit 7-Jährigen zeigen umgekehrt, dass differentielle Trainingseffekte auch dann auftreten können, wenn erklärungs-basiertes Lernen (im Baillargeonschen Sinne) ausgeschlossen werden kann. Die naive Kausalanalyse liefert nämlich keine spezifischen Vorhersagen hinsichtlich der Rolle, die der Hebelarm auf beiden Seiten der Waage spielt.

Unsere Ergebnisse zeigen somit, dass erklärungs-basiertes Lernen keine notwendige Bedingung für das Auftreten differentieller Trainingseffekte darstellt. Gleichzeitig liefern sie klare Evidenz dafür, dass 7-jährige Kinder Regel II anhand einiger weniger Rückmeldungstrials erwerben können. Sie belegen damit die allgemeinere Annahme Baillargeons (2002), dass Kinder (kontrastive) Evidenz im Zuge hypothesengeleiteten Lernens nutzen können, um ihre bisherigen Hypothesen zu erweitern oder zu differenzieren. Selbstverständlich bleibt zu klären, ob diese Annahme tatsächlich auch für Kinder im Vorschulalter und sogar für Säuglinge zutrifft. Möglicherweise werden konnektionistische oder andere assoziationistische Ansätze dem Lernen jüngerer Kinder eher gerecht. Für Schulkinder und Erwachsene erscheinen solche Ansätze allerdings nur sehr bedingt geeignet, den Erwerb expliziten Wissens zu modellieren.

Trotz der deutlichen Trainingseffekte, die wir in unseren Experimenten erzielt haben, erscheint die Frage berechtigt, warum wir uns auf die Darbietung von Rückmeldungstrials beschränkt und auf zusätzliche Instruktionen verzichtet haben. Hierfür gab es im Wesentlichen drei Gründe. Erstens konnte nur durch den Verzicht auf verbale Belehrungen eine Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen, insbesondere den Trainingsstudien Baillargeons (1996, 2002) und Sieglers (1976, 1978), hergestellt werden. Zweitens wäre es aus ethischen Gründen nicht vertretbar gewesen, Kindern per Instruktion eine inkorrekte Regel beibringen zu wollen. Die Ergebnisse von Experiment 1 mahnen selbst im Hinblick auf die kommentarlose Darbietung von "Zaubertricks" zur Vorsicht, denn entgegen unserer Erwartung hielten einige Kinder trotz der im Anschluss an den Nachtest erfolgten Aufklärung zunächst an einer inversen Distanzregel fest. Drittens gilt die intuitive Physik nach wie vor als ein Bereich, in dem Kinder hauptsächlich anhand eigener Beobachtungen und Handlungen ihr Wissen erweitern.

Tatsächlich unterstreichen unsere Ergebnisse das Potential, welches die hypothesengeleitete Beobachtung physikalischer Ereignisse für die kognitive Entwicklung besitzt. Es bleibt zu hoffen, dass durch mikrogenetische und vergleichende Forschung der beschriebenen Art in absehbarer Zukunft eine Verbindung zu der zurzeit boomenden, aber auch zunehmend kontrovers diskutierten Säuglingsforschung hergestellt werden kann. Auf diese Weise wird es vielleicht eines Tages möglich sein, die Rätsel zu lüften, welche uns die Diskrepanzen zwischen dem "kompetenten Säugling" einerseits und den unbestreitbaren kognitiven Defiziten älterer Kinder andererseits gegenwärtig aufgeben.

Literatur

- Amsel, E., Goodman, G., Savoie, D., & Clark, M. (1996). The development of reasoning about causal and noncausal influences on levers. *Child Development*, *67*, 1624-1646.
- Bächtiger, M.-T. (2001). *Wissensentwicklung und Wissenserwerb im Vorschulalter: Mikrogenetische Trainingsstudien mit der Balkenwaage*. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit. Universität Zürich, Schweiz.
- Baillargeon, R. (1995). A model of physical reasoning in infancy. In C. Rovee-Collier & L. P. Lipsitt (Eds.), *Advances in infancy research* (Vol. 9, pp. 305-371). Norwood, NJ: Ablex.
- Baillargeon, R. (1996). Infants' understanding of the physical world. In M. Sabourin, F. Craik, & M. Robert (Eds.), *Advances in psychological science* (Vol. 2, pp. 503-529). London: Psychology Press.
- Baillargeon, R. (2002). The acquisition of physical knowledge in infancy: A summary in eight lessons. In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp. 47-83). Oxford: Blackwell.
- Bogartz, R. S., Shinsky, J. L., & Speaker, C. J. (1997). Interpreting infant looking: The event set X event set design. *Developmental Psychology*, *33*, 408-422.
- Case, R. (1985). *Intellectual development: Birth to adulthood*. New York: Academic Press.
- Elman, J. L., Bates, E. A., Johnson, M. H., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D. & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ferretti, R. P., Butterfield, E. C., Cahn, A., & Kerkman, D. (1985). The classification of children's knowledge: Development on the balance-scale and inclined-plane tasks. *Journal of Experimental Child Psychology*, *39*, 131-160.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Thagard, P. R. (1986). *Induction*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1955/1977). *Von der Logik des Kindes zur Logik des Heranwachsenden*. Olten: Walter. (Original erschienen 1955.)
- Kendler, H. H., & Kendler, T. S. (1962). Vertical and horizontal processes in problem solving. *Psychological Review*, *69*, 1-16.
- Kendler, H. H., & Kendler, T. S. (1970). Developmental process in discrimination learning. *Human Development*, *13*, 65-89.
- Klahr, D., & MacWhinney, B. (1998). Information processing. In D. Kuhn & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology* (5th ed.). Vol. 2: *Cognition, perception, and language* (pp. 631-678). New York: Wiley.
- Krist, H., Bach, S., Öndül, S., & Huber, S. (2002). *Trainingsexperimente zur intuitiven Physik*. Vortrag auf der 43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, 22. - 26. September 2002, Humboldt-Universität Berlin.
- Krist, H., Natour, N., Jäger, S. & Knopf, M. (1998). Kognitive Entwicklung im Säuglingsalter: Vom Neo-Nativismus zu einer entwicklungsorientierten Konzeption. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, *30*, 153-173.
- Kuhn, D. (1995). Microgenetic study of change: What has it told us? *Psychological Science*, *6*, 133-139.
- Kuhn, D., Garcia-Mila, M., Zohar, A., & Andersen, C. (1995). Strategies of knowledge acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child development*, *60* (4, Serial No. 245).
- Kuzman, S. D., & Gelman, R. (1986). Young children's understanding of random phenomena. *Child Development*, *57*, 559-566.
- Langley, P. (1987). A general theory of discrimination learning. In D. Klahr, P. Langley, & R. Neches (Eds.), *Production system models of learning and development* (pp. 99-161). Cambridge, MA: MIT Press.

- Leslie, A. M. (1994). ToMM, ToBy, and Agency: Core architecture and domain specificity. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind* (pp. 119-148). Cambridge: Cambridge University Press.
- Levin, I. (1979). Interference of time-related and unrelated cues with duration comparisons of young children: Analysis of Piaget's formulation of the relation of time and speed. *Child Development*, 50, 469-477.
- Marcus, G. F. (1998). Can connectionism save constructivism? *Cognition*, 66, 153-182.
- Mareshal, D., Plunkett, K., & Harris, P. (1999). A computational and neuropsychological account of object-oriented behaviours in infancy. *Developmental Science*, 2, 306-317
- Mareshal, D., & Shultz, T. R. (1996). Generative connectionist networks and constructivist cognitive development. *Cognitive development*, 11, 571-603.
- McClelland, J. L. (1995). A connectionist perspective on knowledge and development. In T. Simon & G. Halford (Eds.) (1995). *Developing cognitive competence: New approaches to process modeling* (pp. 157-204). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McClelland, J. L., & Jenkins, E. (1991). Nature, nurture, and connectionism: Implications for connectionist models of development. In K. van Lehn (Ed.), *Architectures for intelligence - the Twenty-second (1988) Carnegie Symposium on Cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Munakata, Y., McClelland, J. L., Johnson, M. H., & Siegler, R. S. (1997). Rethinking infant knowledge: Toward an adaptive process account of successes and failures in object permanence tasks. *Psychological Review*, 104, 686-713.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Öndül, S., Bach, S., Huber, S., & Krist. H. (2002). *Sind Kinder weniger kompetent als Säuglinge?* Posterpräsentation auf der 44. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP), 25. - 27. 3. 2002, Technische Universität Chemnitz.
- Pauen, S., & Wilkening, F. (1997). Children's analogical reasoning about natural phenomena. *Journal of Experimental Child Psychology*, 67, 90-113.
- Rapp, A. F. (1999). *Verstehen Kinder den Nutzen einer Protokolltechnik für die Überprüfung von deterministisch versus probabilistisch funktionierenden Phänomenen?* Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Heidelberg.
- Sage, S. & Langley, P. (1983). Modeling cognitive development on the balance scale. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 7, 94-96.
- Shultz, T. R., Schmidt, W. C., Buckingham, D. & Mareschal, D. (1995). Modeling cognitive development with a generative connectionist algorithm. In T. Simon & G. Halford (Eds.), *Developing cognitive competence: New approaches to process modeling* (pp. 205-261). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Siegler, R. S. (1976). Three aspects of cognitive development. *Cognitive Psychology*, 8, 481-520.
- Siegler, R. S. (1978). The origins of scientific reasoning. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 109-149). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Siegler, R. S. (1981). Developmental sequences within and between concepts. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 46 (2, Serial No. 189).
- Siegler, R. S. (1998). *Children's thinking* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Siegler, R. S., & Crowley, K. (1991). The microgenetic method: A direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*, 46, 606-620.
- Simon, T. & Halford, G. (Eds.) (1995). *Developing cognitive competence: New approaches to process modeling*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Spelke, E. S. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50, 431-445.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind and society: The development of higher mental processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press. (Original work published in 1930. 1933, 1935).

- Weinert, F. E., & Waldmann, M. R. (1988). Wissensentwicklung und Wissenserwerb. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 161-199). München: Psychologie Verlags Union.
- Werner, H. (1926). *Einführung in die Entwicklungspsychologie*. Leipzig: Barth.
- Willats, P. (1997). Beyond the "couch potato" infant: How infants use their knowledge to regulate action, solve problems, and achieve goals. In G. Bremner, A. Slater et al. (Eds.), *Infant development: Recent advances* (pp. 109-135). Hove: Psychology Press.
- Wilkening, F., & Anderson, N. H. (1982). Comparison of two rule-assessment methodologies for studying cognitive development and knowledge structure. *Psychological Bulletin*, 92, 215-237.
- Wilkening, F., & Anderson, N. H. (1991). Representation and diagnosis of knowledge structures in developmental psychology. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory. Vol III: Developmental* (pp. 45-80). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wilkening, F., & Huber, S. (2002). *Children's intuitive physics*. In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp. 349-370). Oxford: Blackwell.
- Zhen, Z., & Siegler, R. S. (2000). Across the great divide: Bridging the gap between understanding of toddlers' and older children's thinking. *Monographs of the Society for Research in Child development*, 65 (2, Serial No. 261).