

Piaget's Entwicklungspsychologie und die Praxis des naturwissenschaftlichen Unterricht

F.Kubli
 Institut für Verhaltenswissenschaften
 Zürich

Dit artikel is de uitwerking van een colloquium dat door de schrijver op 16 april 1986 in Utrecht is gehouden, op uitnodiging van het onderzoeksprogramma: Begripsontwikkeling en Curriculumonderzoek in de Wis- kunde en Natuurwetenschappen. De redactie vindt het de moeite waard, door publicatie in dit tijdschrift, aan deze voordracht grotere bekendheid te geven.

Einleitung

Viele Leser der zahlreichen Schriften von Jean Piaget können sich des Eindrucks einer oft verwirrenden Fülle von Ideen nicht erwehren - Ideen, die zudem als nicht immer untereinander konsistent erscheinen. Es scheint daher angebracht, aus naturwissenschaftsdidaktiker Perspektive eine gewisse Ordnung in die Gedankenwelt des legendären Entwicklungspsychologen zu bringen, die sich an der *Praxis* des naturwissenschaftlichen Unterrichts orientiert.

Der Autor, seit 1967 Gymnasiallehrer für Physik und Mathematik in Zürich, hatte nach einer längeren Auseinandersetzung mit dem Werk von Jean Piaget Gelegenheit, während drei Jahren, von 1972-1975, in Genf in Piagets Forschungsgruppe mitzuarbeiten. Zu diesem Zeitpunkt hatte er bereits sein dreibändiges, zusammenfassendes Hauptwerk: 'Introduction à l'épistémologie génétique' (1950, deutsch: 'Die Entwicklung des Erkennens') nebst einigen kleineren erkenntnistheoretischen Werken übersetzt. Seine Mitarbeit im Genfer Team war von der Frage geleitet, was Piaget dem Naturwissenschaftsdidaktiker zu sagen hat. Die Ergebnisse sind ausführlich und anhand von Beispielen in 'Erkenntnis und Didaktik - Piaget und die Schule' (Kubli 1983) beschrieben.

1. Diskontinuitäten in der geistigen Entwicklung

Piaget ist bekannt geworden für seine Ansicht, dass die geistige Entwicklung sich nicht kontinuierlich, sondern diskontinuierlich, in *Stufen* vollzieht. Gewisse Einsichten entstehen plötzlich (in einer Art

Aha-Erlebnis), und sind von diesem Moment an unwiderruflich da. Sie führen dazu, dass die Umwelt auf eine neue Art wahrgenommen wird, und bilden gleichzeitig einen neuen Ausgangspunkt zur Erweiterung der Erkenntnisse. Ein bekanntes Beispiel ist die Einsicht, dass eine Flüssigkeitsmenge erhalten bleibt, wenn man sie aus einem Gefäß in ein anderes umgiesst.

Wesentlich für dieses Erhaltungsexperiment ist die Tatsache, dass die Einsicht, dass beim Umgießen die Flüssigkeitsmenge erhalten

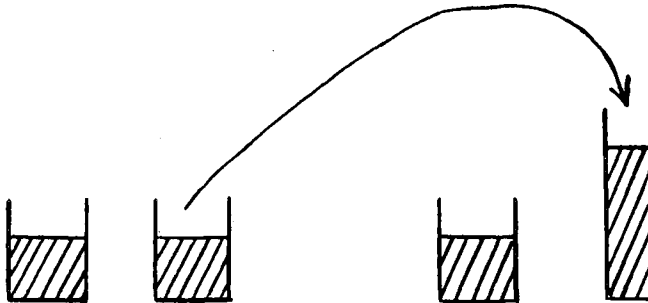


Fig.1 Kleine Kinder behaupten, dass die Flüssigkeitsmenge ändert, wenn man die Flüssigkeit aus ein rechten Glas umgiesst. Vor dem Umgießen war in beiden Gläsern 'gleichviel' Flüssigkeit, nach dem Umgießen hat es im rechten Glas 'mehr'.

bleibt, in einem bestimmten Alter (je nach Kind zwischen 6-8 Jahren) unvermittelt und plötzlich auftaucht. Ähnliches gilt für den Zahlbegriff. Die Anzahl einer Menge von Gegenständen wird vorher als veränderbar betrachtet, wenn man die Position der Gegenstände ändert. Nach der Einsicht in die Zahl-Erhaltung ist die vorherige Ansicht undenkbar geworden; auch bei Veränderung der Lage bleibt die Anzahl der Gegenstände dieselbe. In beiden Fällen ist eine neue Struktur aufgetaucht. Die Art, Realität geistig zu erfassen, wurde 'umstrukturiert'. Eine neue Art der Informationsverarbeitung ist dabei entstanden.

Derartige Umstrukturierungen wurden auch von den Gestaltpsychologen beobachtet und theoretisch erklärt. Piaget ist aber kein

Gestalttheoretiker. Die Frage, worin er sich von ihnen unterscheidet, ist nicht ohne Interesse, und soll später aufgenommen werden. Vom didaktischen Standpunkt aus ist wesentlich zu wissen, welche Einsichten den Kindern nur schwer beigebracht werden können. Man muss beispielsweise warten, bis die Kinder soweit sind, eine Erhaltungsgrösse zu begreifen, wie die der Flüssigkeitsmenge, der Anzahl, des Gewichts usw. Erst nachher kann man mit entsprechenden Schulungen einsetzen, und, darauf aufbauend, den zählenden und messenden Umgang mit der Realität verständlich machen.

Diese Erkenntnis ist nicht etwa neu. Man hat immer gewusst, dass es so etwas wie die Schulreife gibt, d.h. einen Stand der geistigen Entwicklung, der erreicht werden muss, bevor Schulungsversuche sinnvoll werden.

2. Assimilationsschemata und Kognitionsstufen

Kinder sind sowohl in ihren Erfahrungen als auch bei Belehrungsversuchen anfänglich nur beschränkt zur Informationsaufnahme in der Lage. Piaget hielt dies im Begriff des *Assimilationsschemas* fest. Eine Situation wird vom informationsverarbeitenden Intellekt des Kindes mit begrifflichen Mitteln 'erfasst', d.h. interpretiert und zurechtgelegt. Das Kind muss über sie verfügen, damit es sie an die zu begreifende Situation herantragen kann. Die Kommunikation über Zahlen hat beispielsweise nur einen Sinn, wenn Kinder verstehen, dass die Anzahl einer Menge von Gegenständen erhalten bleibt, wenn man sie lediglich umgruppiert. Diese Erhaltungseigenschaft ist ein wesentlicher Bestandteil des Assimilationsschemas 'Zahl'.

Von der Umwelt wird nur erfasst, was im menschlichen Geist eine begriffliche Entsprechung findet; weitergehende Informationen werden nicht verarbeitet. Die Wahrnehmung der Umwelt wird auf das reduziert, was mit den verfügbaren Schemata verarbeitet oder an sie 'assimiliert' werden kann. Fehlen geeignete Assimilationsschemata, wird die Umwelt nicht adäquat, sondern verzerrt wahrgenommen.

Ein immer wieder beobachtbares Beispiel ist das Maxwellsche Rad, (Yoyo). Das Rad wickelt sich einem Faden entlang ab, an den er gebunden ist. Die Frage ist nun, was im tiefsten Punkt passiert, wenn der Faden voll abgewickelt ist und das Rad wieder an ihm emporzuklattern beginnt. Ändert sich in diesem Punkt die Drehrichtung des Rades oder nicht? Physikalisch ungebildete Beobachter glauben sich oft nach durchgeführtem Experiment zu erinnern, sie hätten eine Änderung der Drehrichtung festgestellt. Es bedarf einer Vertrautheit mit dem Trägheitsprinzip, um die Bewegung richtig aus dem Gedächtnis zu rekonstruieren. Das Schema 'Trägheit' erzeugt den Wechsel in der Erfassung des Vorgang. Dies gilt allgemein: die bereits beschriebenen Kognitionsstufen lassen sich darauf zurückführen, dass ein neues Assimilationsschema verfügbar geworden ist.

3. Die konstruktive Aktivität im Wahrnehmungs- und Denkprozess

Die sprachlichen Metaphern des *Erfassens* und *Begreifens* einer Situation machen deutlich, dass das Wahrnehmen und Verstehen eine Aktivität des Subjekts darstellt. Assimilationsschemata müssen an die Realität herangetragen und eventuell auch entsprechend erweitert werden, falls sie kein sinnvolles und konsistentes Bild zu erzeugen vermögen. Diesen Anpassungsprozess der Schemata bezeichnet Piaget als Akkommodationsprozess. In diesem Prozess werden neue Assimilationsschemata aus bestehenden erzeugt.

Die Aktivität des Subjekts bei der Informationsverarbeitung lässt sich bereits im Falle der einfachen Wahrnehmung einer Zeichnung nachweisen. Die folgende Kippfigur kann - je nachdem - als eine alte Frau interpretiert werden, die schräg nach vorn schaut, oder als eine schräg nach hinten blickende junge Dame. Oft muss man mehrmals hinschauen, um beide Varianten (oder Interpretationsmöglichkeiten) der Figur zu erkennen.



Fig.2 Kippfigur. Die Wahrnehmung hängt vom geistigen Konstruktionsprozess ab, der das Bild in einer bestimmten Weise interpretiert.

Die Kippfigur zeigt, dass der kindliche Geist nicht einfach registriert, was vor den Augen liegt, sondern immer auch zurechtlegt, interpretiert oder rekonstruiert. In einem längeren Prozess werden die schematisch wahrgenommenen Bruchstücke zu einem sinnvollen Ganzen zusammengesetzt. Auch die Orientierung im 'Hier und Jetzt', beispielsweise nach dem Erwachen, braucht in der Regel einige Zeit. Nach Piaget werden in diesem Konstruktionsprozess aktuelle sinnliche Eindrücke zusammen mit Erinnerungsfetzen zu einem sinnvollen Ganzen verwoben. In seiner Sprache: Assimilationsschemata werden aktiviert und miteinander kombiniert, bis es zum Bewusstsein kommt: "Ich sehe dies da" (z.B. eine alte Frau vor meine Augen).

Die grundlegende Einsicht, dass Auffassen und Verstehen eine geistige Konstruktion erfordern, hat didaktische Konsequenzen. Was immer wir den Kindern im Unterricht vorlegen: Experimente, Argumente, Begriffe usw., wir müssen damit rechnen, dass sie in jedem Kind eine charakteristische Brechung erfahren, die durch seine Assimilationsschemata (oder Möglichkeiten der Informationsverarbeitung) gegeben sind. Als Lehrer müsste man sich daher bei jeder Demonstration oder Erklärung fragen: Was beweist dies dem Schüler? Welche Assimilationsmöglichkeiten werden von ihm aktiviert? Welche Konstruktionsprozesse werden ausgelöst, und wie können Sie vom Lehrer beeinflusst, d.h. in die richtige Richtung gelenkt werden?

Leider wissen wir in den wenigsten Fällen, welche Konstruktionsprozesse im Schüler ablaufen. Selbst als bewusst auf feedback hindringende Lehrer können wir nie alle Elemente des Verarbeitungsprozesses wahrnehmen. Die experimentelle Forschung erlaubt hier, unser Wissen zu erweitern. Das *klinische Experiment* führt zu wichtigen Erfahrungen besonders dann, wenn es unsere Experimente oder Argumente im Unterricht zum Gegenstand hat.

4. Das klinische Experiment als Untersuchungsmethode

Im klinischen Experiment werden Kinder verschiedenen Alters einzeln mit einer Situation oder einem Vorgang konfrontiert (beispielsweise mit einem schwingenden Pendel). Sie erhalten zudem die Möglichkeit, in den Vorgang handelnd einzugreifen, also z.B. die Amplitude zu ändern, oder die Pendellänge, oder das angehängte Gewicht zu variieren. Der klinische Experimentator oder Interviewer registriert nun, was das Kind spontan, d.h. von sich aus, an Ideen produziert, und zu welchem Ganzen es sie verwebt, zu welchen Schlüssen es gelangt.

Piaget hat über 50 Jahre damit verbracht, Kinder mit Hilfe seiner 'klinischen' Untersuchungsmethode zu testen (bzw. von seinen Mitarbeitern testen zu lassen). Der Begriff 'klinisch' stammt aus der Psychiatrie der Zwanzigerjahre, als man Patienten ausführlich Gelegenheit gab, ihre private, persönliche Weltsicht darzulegen.

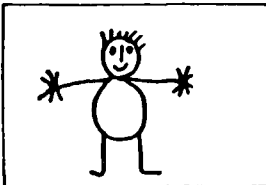
Entsprechend ging es Piaget um die Beschreibung, wie Kinder 'spontan', d.h. ungeleitet von Erwachsenen, eine bestimmte Situation beschreiben. Es ging also nicht um die Abfragung von Gelerntem oder Angelerntem. Was Erwachsene oder Lehrern Kindern mitteilen und beibringen, war nebensächlich, die Aufmerksamkeit wurde auf die - beschränkten - kindlichen Möglichkeiten konzentriert, Information überhaupt aufzunehmen und zu verarbeiten.

Erstaunlicherweise lassen sich bei vielen klinischen Experimenten Kinder relativ leicht in Klassen mit einheitlichen Erklärungsmustern zusammenfassen; jüngere Kinder erfassen relativ wenig, ältere mehr, bis schliesslich die geistig am meisten entwickelten Kinder so reagieren, wie auch ein intelligenter Erwachsene auf dieselbe Situation oder Problemstellung antworten würde.

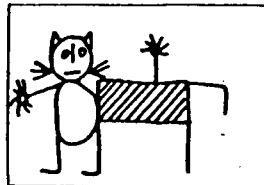
Von dieser Klassenbildung der Kindern beim Erfassen eines Vorgangs oder Gegenstands gelangt man zur Idee der Kognitionsstufe, wenn man annimmt, dass auch geistig reifere Kinder den Gegenstand vorerst so auffassen, wie es auch die jüngeren Kinder tun, dass sie aber nacheinander die verschiedenen diskreten Assimilationsmöglichkeiten erproben, bis sie zu einer befriedigenden Lösung gelangen. Sie gelangen also von einem Auffassungsschemā zum geeigneteren nächsten Schema, das sich vom vorangehenden unterscheidet und besser an die Realität angepasst ist. Ihr geistiger Konstruktionsprozess erscheint durch den Wechsel der Assimilationsschemata als diskontinuierlich. Er führt durch fortwährende Verbesserungen der Anpassung der Schemata zu dem gestuften Prozess, den Piaget als Akkommodation bezeichnet hat.

5. Assimilation und Akkommodation in geistigen Konstruktionen

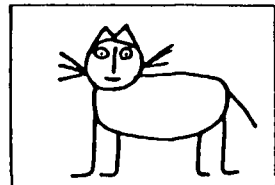
Tatsächlich gibt es Hinweise darauf, dass Kinder, die zu besseren Lösungen einer Aufgabe gelangen, in ihrem Konstruktionsprozess vorerst Phasen durchlaufen, in denen einfachere und weniger passende, aber vertrautere Assimilationsmöglichkeiten erwogen werden, Phasen, in denen die schwächeren Schüler stecken bleiben. So führt die Aufforderung, eine Katze zu zeichnen, zu folgenden Lösungen:



Ausgangsform der
Mensch



additives Heranschieben
der Tiermerkmale



die Tiermerkmale
werden integriert

Fig.3 Akkommodation von Assimilationsschemata an eine neue Gegebenheit

Offensichtlich ist die (erste) Kognitionsstufe, auf der eine menschliche Figur als Assimilationsschema dient, mit der endgültigen Lösung (dritte Stufe) durch eine Übergangsphase verbunden, wo die Kinder gewissermaßen den Weg vom einen Assimilationsschema zum nächsten andeuten. Derartige Zwischenphasen lassen sich auch andernorts ausmachen. Diese Entwicklungsprozesse, die ausgehend von bereits verfügbaren Assimilationsschemata zu neuen Schemata führen, sind durch die Aufhebung von Widersprüchen zwischen dem gestellten Ziel und der erreichten Lösung gekennzeichnet.

Lehrer können effektvoller unterrichten, wenn sie die Assimilationen, von denen ihre Schüler beim Verstehensprozess ausgehen, und die Anpassungs- oder Erweiterungsprozesse, die zum tatsächlichen Verständnis führen, entweder exakt kennen oder doch eine ungefähre Vorstellung davon haben. Dies kann durch klinische Experimente teilweise erreicht werden.

6. Das klinische Experiment und die Unterrichtssituation

In klinischen Experimenten ist ein *einzelner* Schüler mit einer Aufgabe konfrontiert, die ihm auch im Unterricht gestellt ist, wenn er dem Lehrervortrag folgen soll. Auch dann muss er den Sinn der Lehreraussage rekonstruieren, indem er von seinen eigenen geistigen Möglichkeiten Gebrauch macht. Im Gegensatz zum Klassengespräch können in Einzelgesprächen aber auch die Vorstellungen schwächerer Schüler erfasst werden, die im Klassengespräch sich nicht zum Wort melden. Meist sind dies auch die schwächeren Schüler, die sich mit gutem Grund wenig zutrauen. Im klinischen Experiment kann abgeklärt werden, warum sie einen bestimmten Gedanken nicht nachvollziehen können, an welchen Schwierigkeiten sie scheitern.

Es ist unbestritten, dass bis jetzt nur sehr wenige aktuelle Unterrichtssituationen mit der klinischen Methode untersucht wurden. Insofern hat Piaget eher ein Forschungsprogramm skizziert, dessen Ausführung den Naturwissenschaftsdidaktikern als Aufgabe gestellt bleibt, als endgültige didaktische Rezepte formuliert. Je mehr Beispiele aus klinischen Experimenten bekannt sind, desto eher wird es auch gelingen, in anderen Situationen abzuschätzen, wie Schüler reagieren könnten. Die klinische Untersuchungsmethode sollte nicht zuletzt auch von Lehramtskandidaten erprobt werden, denn die angehenden Lehrer müssen später ein Sensorium dafür haben, was in den Köpfen der Schüler vor sich geht, wenn sie unterrichten.

7. Kognitionsstufen und Entwicklungsstadien

Wenn man Piaget genauer liest, stellt man fest, dass er oft nicht nur von Stufen, d.h. plötzlichen Umstrukturierungen in der Auffassung eines Gegenstandes oder Vorganges, sondern von Entwicklungsstadien spricht. Zu den didaktisch wichtigen Entwicklungsstadien gehören das

symbolische Stadium (1,5 - 4 Jahre), das präoperationale Stadium (4-7 Jahre), das konkret-operationale Stadium (7-12 Jahre) und das formal-operationale Stadium (ab 12 Jahren). Die oben beschriebenen Umstrukturierungen, die Stufen (genauer: Kognitionsstufen) im Erkenntnisprozess, sind an sich unabhängig von den Entwicklungsstadien. Sie können - müssen aber nicht - den Übergang von einem Entwicklungsstadium ins nächste anzeigen.

Eine Reihe von Kognitionsstufen in klinischen Experimenten zeigen den Übergang vom präoperationalen Stadium ins konkret-operationale Stadium an, der ungefähr mit der Erreichung der sogenannten Schulreife zusammenfällt. Dazu gehört das aufkeimende Verständnis für gewisse Erhaltungsgrößen (Anzahl, Substanzmenge bei Deformationen, Länge bei Verschiebungen usw.), das in der Regel plötzlich, ohne Vorankündigung, im Alter von 6-8 Jahren entsteht.

Erwachsene und Kinder über ca. 7 Jahren wissen, dass sich die Länge eines Stabes nicht ändert, wenn man ihn verschiebt, kleinere Kinder nehmen indessen an, dass zwei Stäbe nur gleichlang sind, wenn man sie 'bündig', d.h. so aneinanderlegt, dass die Ende je beieinander liegen. Verschiebt man zwei als gleichlang erkannte Stäbe gegeneinander, wird die Längengleichheit geleugnet. Ähnliches gilt für die Substanzmenge z.B. einer Tonkugel. Wird die Kugel deformiert, vermuten präoperationale Kinder, dass sich die Substanzmenge ändert. Auch die Mächtigkeit einer Menge wird als veränderbar beurteilt, wenn man die Elemente räumlich umgruppiert.

Während der Übergang präoperational/konkret-operational relativ 'scharf' ist, kann nicht von einem einheitlichen Übergang ins formal-operative Stadium im Alter von ungefähr 12 Jahren gesprochen werden. Dies hängt unter anderem daran, dass Piaget kein einheitliches Kriterium für diesen Übergang angegeben hat, wie das Verständnis für Erhaltungsgrößen, welches den Eintritt ins konkret-operationale Stadium anzeigt. (Dieses Stadium ist übrigens alles andere als homogen, wie die vielen Kognitionsstufen anzeigen, die sich innerhalb des konkret-operationalen Stadiums nachweisen lassen, wie z.B. das Verständnis für Gewichtserhaltung (9-10 Jahre) oder die Erhaltung des Volumens; 11-12 Jahre.) Es fällt wesentlich schwerer, die Änderungen zu beschreiben, welche das formal-operationale Denken auszeichnen.

8. Konkret-operationales und formal-operationales Denken

Gräber und Stork (1984) haben in einem wichtigen Aufsatz die didaktische Bedeutung hervorgehoben, welche der Übergang ins formale Stadium für die Physik- und Chemiedidaktik haben könnte. Die bekannten Schwierigkeiten, welche bestimmte Schüler mit diesen Fächern haben, könnten darauf zurückzuführen sein, dass in diesen Fächern 'formal' argumentiert wird, während diese Schüler noch 'konkret' denken. Nun gibt es allerdings eine Reihe von *verschiedenen* Kriterien, welche das

Denken ab 12 Jahren vom vorherigen Stadium unterscheiden können, und die unabhängig von einander verstanden werden müssen, wenn der Schüler 'effektiv' formal denken soll.

Um nur die wichtigsten zu nennen: Piaget spricht (1974) davon, dass die logische Implikation von Aussagen, 'p impliziert q' erst im formalen Stadium verstanden wird. Man kann Kindern beispielsweise beidseits beschriebene Karten vorlegen, die mit der einen Seite nach unten auf den Tisch gelegt werden und Nummern oder Buchstaben tragen. Die Frage lautet dann: "Welche Karten muss man mindestens aufdecken, um zu überprüfen, ob alle Karten mit einer Zahl unten einen Buchstaben oben tragen?" (Es geht also formallogisch darum, ob die Aussage p (Zahl unten) die Aussage q (Buchstabe oben) impliziert).

Konkret-operationale Denker - es können auch Erwachsene sein - werden diejenigen Karten aufdecken, welche einen Buchstaben *oben* tragen, um zu überprüfen, ob eine Zahl unten ist. Dies ist aber nichts die logisch relevante Prüfung. Über die Karten mit Buchstaben unten ist gar nichts ausgesagt - diese dürfen durchaus einen Buchstaben oben tragen! Zu überprüfen ist die umgekehrte Aussage: Keine Karte mit einer Zahl oben darf eine Zahl *unten* haben! Die Aussage 'p impliziert q' ist formal-logisch äquivalent zu 'nicht-q impliziert nicht-p', d.h. jede Karte mit einer Zahl oben (nicht-q) muss die Aussage nicht-p (Buchstabe unten) implizieren; nur diese Aussage ist im Beispiel überprüfbar!

Derartige *logische* Strukturfragen standen im Zentrum von Piagets Aufmerksamkeit. Entsprechend versuchte er auch den Übergang ins formale Denken durch das Verständnis logischer Strukturen zu beschreiben. Dies ist aber nicht die einzige Erfordernis, wenn Kinder im Sinne der Naturwissenschaften formal-operational denken können sollen. Wie bereits anderswo erläutert (Kubli 1985), müssen etwa beim vielzitierten Pendelexperiment zwei weitere Kriterien verstanden werden, welche inhaltlich und nicht formallogischer Natur sind.

Bekanntlich ist die Periode T der Schwingungen beim Pendel (in Grenzen) unabhängig von der Amplitude und dem angehängten Gewicht. Um eine Abhängigkeit nachzuweisen, müssen jeweils alle anderen Parameter konstant gehalten werden. Nicht alle Kinder verstehen diese *Forschungslogische* Einschränkung, die bei der Durchführung des Experiments beachtet werden muss, sondern variieren im klinischen Experiment alle Parameter gleichzeitig (und gelangen so natürlich auch zu keinem Ergebnis).

Diesem Kriterium, das von Piaget als Definition für den Übergang ins formale Stadium angegeben wird, überlagert sich jedoch ein zweites. Unabhängig davon, ob Kinder die forschungslogische Struktur des Experiments verstehen, können sie auch nach durchgeführtem Experiment (dessen Messgenauigkeit natürlich beschränkt ist) leugnen, dass die Periode T unabhängig von der Amplitude sei. Diese Antwort

geht auf physikalische Überlegungen zurück, und nicht auf formallogische Probleme.

Die genauere Befragung über die Gründe der Leugnung der Unabhängigkeit der Periode von der Amplitude zeigt, dass Kinder durch das (unausgesprochene) Argument irritiert sein können, dass die Pendelmasse bei grösserer Amplitude einen längeren Weg zurücklegen muss. Weshalb braucht sie dann nicht mehr Zeit? Hier ist der Hinweis auf die grössere Geschwindigkeit entscheidend, eine Idee, auf die bestimmte Kinder spontan nicht kommen können. Sie brauchen also die Hilfe und Erklärung des Lehrers, um das Experiment voll zu verstehen.

In ähnlicher Weise lässt sich - im klinischen Experiment *und* im Unterricht - feststellen, dass viele Schüler nicht einsehen *können*, warum das schwerere Pendel bei gleicher Pendellänge dieselbe Periode haben soll: Es wird doch von einer grösseren Kraft beschleunigt! Wird dieser scheinbare Widerspruch nicht explizit im Unterricht mit dem Hinweis auf die grössere Trägheit aufgehoben, müssen bei diesen Schülern negative Gefühle zurückbleiben. Sie haben ja eine an sich vernünftige Überlegung durchgeführt - warum ist sie nicht richtig? Die Diskussion im Unterricht kann zeigen, dass sie eben durch eine andere, physikalisch ebenso berechnete Überlegung aufgehoben wird: "Die grössere Geschwindigkeit reduziert die benötigte Zeit"! Die Schüler haben also nicht falsch argumentiert, sondern waren lediglich *unvollständig* in der Berücksichtigung von relevanten Argumenten. (Eine Tatsache, die sich eher akzeptieren lässt.)

Diese mehr *inhaltlichen* als logisch-formalen Argumente zeigen, dass man die Stadieneinteilung nicht ausschliesslich nach logischen Kriterien vornehmen kann, wie Piaget dies tat. Eine auf diesen Punkt hinzielende Kritik ist also berechtigt. Der Hinweis auf die inhaltlichen Argumente macht auch klar, warum das 'formale' Stadium von einem bestimmten Schüler je nach Sachgebiet erreicht werden kann oder nicht. Man kann also nicht ein für allemal annehmen, dass der Schüler nun in jeder Hinsicht alle Kriterien des formal-operationalen Denkens beherrscht (wie manche Autoren anzunehmen scheinen), wenn er in einem einzigen Test formal argumentiert.

Didaktisch einleuchtend ist allerdings die Forderung, Physik- und Chemieunterricht prinzipiell auf den konkret-operativen Denker auszurichten. (Was dies im einzelnen heisst, soll noch gezeigt werden.) Diese Forderung ergibt sich auch aus einer Einsicht von Champagne (1982): 'Experten' im Lösen von physikalischen Aufgaben beginnen immer mit einer *konkreten* Analyse der Situation, bevor sie nach Formeln greifen; 'Versager' argumentieren indessen "pseudo-formal": sie greifen unbedenken nach Formeln, ohne zu prüfen, ob sie auf den gegebenen Fall passen. Der Griff nach Formeln nach einem Zufallsprinzip ist deshalb möglich, weil für sie nicht mit physikalischen Inhalten verbunden sind. Entsprechend schwer ist ihnen

einsichtig zu machen, warum eine Formel für den vorgegebenen Fall nicht gilt.

9. Die 'operationale' Abgrenzung von Entwicklungsstadien

Kritik an der Piagetschen Abgrenzung von Entwicklungsstadien ist gerechtfertigt. Bis heute wurde allerdings von den Kritikern übersehen, dass sich in der 'operationalen' Einteilung ein wichtiges erkenntnistheoretisches Prinzip verbirgt, das ebenfalls von naturwissenschaftsdidaktischer Bedeutung ist. Piaget hat es erstmals übernommen, 'Operationen' als Kriterien für die geistige Entwicklung von Kindern zu verwenden. Was hat man darunter zu verstehen, und worin liegt ihre didaktische Bedeutung?

Leider gibt Piaget selber eine unklare Definition des Begriffs 'Operation' - er spricht von 'reversibel gewordenen, verinnerlichten Handlungen'. Leider ist nicht klar, wie die Reversibilität einer verinnerlichten Handlung überprüft werden soll. Es ist daher ratsam, auf eine Definition zurückzugehen, die Bridgman (1927, 1936) gegeben hat. Nach Bridgman sind Operationen Handlungen, die ein objektives, intersubjektiv kommunizierbares Weltbild zu erzeugen erlauben.

Mit dieser Definition wird eine grundlegende, neue Sicht des Begriffs 'Wissen' oder 'Erkennen' festgelegt. Wir sind geneigt, Wissen und Erkennen als ein Geschäft des Individuums zu betrachten. Wir nehmen an, dass auch ein sozial vollständig isoliertes Individuum die Umwelt erkennen könnte. Die Vorstellung des 'Wolfskindes', das unabhängig von jeder menschlichen Umwelt seine Umwelt soweit unter Kontrolle bringt, dass es darum überleben kann, geht in dieser Richtung.

Nun ist Wissenschaft andererseits ein soziales Unternehmen. Als wissenschaftliche Wahrheit gilt nur, was intersubjektiv reproduzierbar ist. Eine wissenschaftliche Einsicht ist im Prinzip von anderen überprüfbar und kann mit anderen geteilt werden. Das von der Wissenschaft erarbeitete Wissen ist deshalb primär ein *kollektives* Wissen, das, je nachdem, von einem bestimmten Individuum übernommen werden kann.

Das Erkennen im Alltag schwankt zwischen den beiden Polen 'Wolfskind' und 'vergesellschafteter Wissenschaftler'. Einerseits ist nur schwer einzusehen, wie die soziale Umwelt auf die *automatisch* ablaufenden Wahrnehmungsprozesse des Individuums einwirken kann (z.B. auf die individuelle Bewusstseinsbildung im Hier und Jetzt). Andererseits nehmen wir mit Recht als gegeben an, dass bestimmte Wahrnehmungsurteile von anderen geteilt werden - wir wissen auch, welche Wahrnehmungen von anderen unmöglich persönlich gemacht werden können. Wir geben uns daher sorgfältige Mühe, 'private' Meinungen von 'öffentlichen' oder kollektiven Urteilen zu trennen.

10. Vom egozentrischen Denken zur Objektivität

Nach Piaget muss das Kind in einem sich über Jahre erstreckenden Entwicklungsprozess lernen, inwiefern seine Urteile 'objektiv' sind, d.h. von anderen geteilt werden, und inwiefern nicht. Ein kleines Kind kann sich z.B. nicht vorstellen, dass es über Wissen verfügt, das nicht automatisch vollständig geteilt wird - dass die Mutter z.B. nicht wissen kann, wen es auf der Strasse getroffen hat. Es postuliert eine 'Allwissenheit' der anderen, weil es noch nicht unterscheiden kann, was privates und was intersubjektiv geteiltes Wissen ist. Wenn es lernt, wie (sprachlich) etwas mitgeteilt werden kann, lernt es auch die Grenzen der zwischenmenschlichen Kommunikation zu erkennen.

Den anfänglichen Standpunkt des Kindes, der durch die Unkenntnis der Möglichkeiten des Wissenserwerbs gekennzeichnet ist, nennt Piaget *Egozentrismus*. Diese Erscheinung beruht darauf, dass Kinder erst erfahren und lernen müssen, welche Inhalte kommuniziert werden können und welche nicht. Diese Erfahrungen sind ein Ergebnis der Interaktion und Kommunikation mit anderen und sind hauptsächlich mit dem Erlernen der Sprache verknüpft.

Der Abgrenzungsprozess von intersubjektivem und privatem Wissen wird bereits mit dem Erwerb der Sprache eingeleitet. Die Sprache gibt uns Ausdrucksmöglichkeiten, die eine Ablösung des Wissens vom Hier- und-Jetzt der *persönlichen* Erfahrung gestatten. Dabei ist aber unumgänglich, den Wörtern bestimmte Bedeutungen zuzuweisen, die durch Verfahren gegeben sind, wie man die Bedeutung rekonstruieren kann. Die berüchtigte Definition des Begriffs: "Ein X ist, wenn man" gibt eben gerade das Verfahren an, wie man zu einer Bedeutung kommt.

Wissenschaftliche Begriffe werden operational, d.h. durch Messverfahren definiert, die eine Bestimmung erlauben. Dasselbe gilt jedoch auch für viele Alltagsdefinitionen. Insofern schliesst sich das wissenschaftliche Denken nahtlos an das Alltagsdenken an. Das gemeinsame Handeln ist wesentlicher Bestandteil jeglicher Begriffsbildung. In der *Kooperation* werden Handlungen als Bestandteil von Verfahren- ausgewiesen, die zur Begriffsbestimmung notwendig sind, und damit als *Operationen*. Es ist daher sinnvoll, die Aufmerksamkeit grundsätzlich dem Geschehen auf der *pragmatischen* Ebene zuzuwenden.

Die Erkenntnis, welche Bedeutung der pragmatischen Ebene bei der Entwicklung des Erkennens zukommt, trennt Piaget von den Gestaltpsychologen. Letzteren führen die plötzlichen Umstrukturierungen in der geistigen Entwicklung, von denen eingangs die Rede war, auf die Bildung von 'Gestalten' zurück. Nach der Meinung des Schreibenden sind die plötzlichen Neustrukturierungen jedoch auf die zunehmende *Einsicht* der Kinder in die *pragmatischen Voraussetzungen* des Kommunikationsprozesses zurückzuführen. Effizientes Lehren von Naturwissenschaften muss daher immer wieder auf diese Voraussetzungen bezugnehmen. Mit zum Verständnis der

pragmatischen Voraussetzungen von Naturwissenschaften gehört aber auch die Einsicht in den *Sinn* dieser Verfahren.

11. 'Operationales Lernen' im naturwissenschaftlichen Unterricht

Die wenigsten Naturwissenschaftsdidaktiker sind sich bewusst, welche Bedeutung den Operationen bei der Organisation des *kollektiven* Wissens zukommt. Die physikalischen Messhandlungen, unter denen die Zeit- und Längenmessung, die Gewichtsmessung und die davon abgeleiteten Grössen die wichtigsten sind, sind nicht nur für die darauf aufbauende Physik wesentlich. Sie ermöglichen auch bestimmte und sehr wichtige Formen der Kommunikation im Alltag.

Der naturwissenschaftliche Unterricht baut auf Grundlagen auf, die in der Grundschule im Lauf des konkret-operationalen Denkstadiums erarbeitet wurden. Es ist z.B. wesentlich, dass Kinder in der Grundschule *gesehen* haben, wie man einen Flächeninhalt durch Verschiebung des Masseinheit bestimmt, oder wie man ein Volumen ausmisst. Wird aber in der Grundschule bei der Einführung der Zeit auch besprochen, welche Funktion dem Pendel bei der Zeitmessung zukommt? Wohl kaum. Auch werden sich die wenigsten explizit Gedanken darüber gemacht haben, welche sozialen Auswirkungen die 'Erfindung' der Zeit hat. Derartige Überlegungen gehören auf der Sekundarstufe. Es wird indessen oft übersehen, wie wichtig es ist, auf diese erkenntnistheoretischen Grundprobleme hinzuweisen, wenn Schüler den *Sinn* erfassen sollen, den die Beschäftigung mit Naturwissenschaften für sie haben kann.

Der Sinn des Umgangs mit Naturwissenschaften wird oft in den technischen Anwendungen gesehen, die mit ihrer Hilfe hervorgebracht werden. Besonders für Jungen besteht der Reiz oft mehr in den technischen Anwendungen als in den kommunikationstheoretischen Implikationen. Interessensforschungen, z.B. von John Head (1985) und eigene Arbeiten (Kubli, im Druck), haben indessen gezeigt, wie wichtig es besonders für Mädchen ist, dass sie den naturwissenschaftlichen Unterricht primär als eine Erweiterung ihrer Kommunikationsmöglichkeiten erfahren können.

Das naturwissenschaftliche Denken wird gerade für *personenorientierte* Schüler, die reinen 'Sachfragen' wenig Interesse abgewinnen können, attraktiver, wenn die 'kommunikationsbezogene' Komponente deutlich herausgearbeitet wird. Untersuchungen von Schülerinteressen für Naturwissenschaften zeigen klar, dass besonders Mädchen auch auf der Gymnasialstufe den Bezug zur Alltagskommunikation erkennen müssen, wenn naturwissenschaftliche Erkenntnisse als sinnvolles Wissen geschätzt und geachtet - und in ihr Langzeitgedächtnis integriert - werden sollen.

Es ist beispielsweise sinnvoller, die gesellschaftliche Bedeutung der Einführung normierter Begriffe - etwa des Meters - zu besprechen,

als die Anzahl der Wellenlängen anzugeben, welche das Kryptonuklid für die Länge 1 Meter aussenden muss. Naturwissenschaft ist nicht zuletzt deshalb für viele fremd und unverständlich, weil den pragmatischen Grundlagen des naturwissenschaftlichen Weltbildes im Unterricht nicht die nötige Beachtung geschenkt wird. Die Schüler sehen in den Naturwissenschaften ein Tätigkeitsfeld, das Spezialisten vorbehalten ist, und nicht eine sinnvolle Organisation unserer kollektiven Kenntnisse. Schüleraussagen wie 'Mir ist alles so fremd, ich verstehe wohl die Einzelheiten, aber ich begreife nicht, warum ich das alles lernen soll' dürften verschwinden, wenn man vermehrt den Unterricht so konzipieren würde, dass die Kommunikationsmöglichkeiten klar werden, welche die eingeführten Begriffe eröffnen. Darin liegt letztlich auch die allgemeinbildende Bedeutung dieser Fächer.

12. Piaget und die Schule

Mit Piaget erhält der Schüler gewissermassen seine legitimen Rechte zurück, die in seinem Anspruch bestehen, jene Frage beantwortet zu erhalten, die er für relevant erachtet. Nach meinen Erfahrungen stellen Schüler mehr Fragen, als normalerweise in den wenigen Stunden behandelt werden können, die in unseren Fächern zur Verfügung stehen, vorausgesetzt, dass man sie dazu ermuntert. Die beste Ermunterung zu eigenen Fragen, die ein Schüler stellen kann, besteht in seiner Erfahrung, dass der Lehrer bereit ist, auf sein Denken einzugehen, auf die Schwierigkeiten, die er mit dem Stoff hat, sowohl was das Verständnis der Einzelheiten als auch das Verständnis des Sinns naturwissenschaftlichen Unterrichts anbelangt.

Ich habe in 'Erkenntnis und Didaktik' (Kubli 1983) abschliessend die gewonnenen Erkenntnisse im Idealbild des 'echten Diskurses' zusammengefasst. Der echte Diskurs kann nicht entstehen, wenn der Lehrer seinen Stoff durchzieht, ohne sich um die Wünsche und Bedürfnisse der Schüler zu kümmern. Von der Lehrerseite ist ein Lernprozess nötig, der darauf abzielt, das Schülerdenken zu verstehen - so wie es im klinischen Experiment in etwas gereinigter Form möglich ist. Im Ideal *reziproken Lernens* finden sich am besten ausgedrückt, was die Beschäftigung mit Piaget den Naturwissenschaftslehrern und -didaktikern bringen könnte und bringen sollte.

Note

Die Ausarbeitung dieses Vortrags wurde unterstützt durch den Schweizerischen Nationalfonds.

Literatur

- Bridgman, P. *The Logic of Modern Physics*, New York: 1927.
Bridgman, P. *The Nature of Physical Theory*, Princeton: 1936.

- Champagne, A.B. Cognitive Research and the Design of Science. In: W.Jung, H.Pfundt, R.Duit (Hrsg.) *Problems Concerning Students' Representations of Physics and Chemistry Knowledge*, Ludwigsburg: 1982.
- Gräber, W. und Stork, H. Die Entwicklungspsychologie Jean Piagets als Mahnerin und Helferin des Lehrers im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *MNU (= Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht)*, 37, S. 193 und 257 ff., 1984.
- Head, J. *The Personal Response to Science*, Cambridge: 1985.
- Kubli, F. *Erkenntnis und Didaktik - Piaget und die Schule*, München: 1983.
- Kubli, F. Piagets Entwicklungspsychologie und die Unterrichtspraxis. In: *MNU (= Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht)*, 38, 434 ff., 1985.
- Kubli, F. Research into Interests and Cognitive Psychology. In: P.Nentwig (Hrsg.), *Motivation by Contents*, Proceedings of the SSRE-Symposium, Fribourg, 1986 (im Druck).
- Piaget, J. *Die Entwicklung des Erkennens*, 3 Bd., Stuttgart: 1972/73.
- Piaget, J. *Abriss der genetischen Epistemologie*, Olten: 1974.