

Forschungsbericht / Research report  
Nr. 12

# Gaston Bachelard als Naturwissenschaftsdidaktiker

Walter Herzog

Korrespondenzadresse:  
Universität Bern, Institut für Pädagogik, Abteilung Pädagogische Psychologie,  
Muesmattstrasse 27, 3012 Bern

---

1995



# Gaston Bachelard als Naturwissenschaftsdidaktiker

Walter Herzog

"Die Welt, in der man denkt, ist nicht die Welt, in der man lebt."

*Gaston Bachelard*

## Einleitung

In den letzten Jahren häufen sich die Klagen über das Ungenügen des Naturwissenschaftsunterrichts. Bemängelt wird, dass eine Mehrzahl von Schülerinnen und Schülern nicht wirklich versteht, was ihnen gelehrt wird. Zwar mögen sie Wissen erwerben, das in objektiven Tests als durchaus beträchtlich erscheint (vgl. z.B. Moser 1992, o.J.). Dieses Wissen ist jedoch oberflächlich und steht oft *neben* einem Korpus an Alltagskenntnissen naturwissenschaftlicher Sachverhalte, den es nicht zu ersetzen vermag. Die Schülerinnen und Schüler lernen, aber sie verstehen nicht, was sie lernen. Folglich können sie das Gelernte in alltäglichen Situationen auch nicht anwenden.

Didaktisch besonders gravierend ist das Unverständnis, das Schülerinnen und Schüler der naturwissenschaftlichen Erklärung physikalischer oder biologischer Sachverhalte gegenüber zeigen. Es gibt mittlerweile eine Reihe von Studien, die zeigen, dass vorwissenschaftliche Überzeugungen nicht nur dem formellen Unterricht widerstehen, sondern diesen auch überleben (vgl. Caramazza, McCloskey & Green 1981; Clement 1982; diSessa 1983; McCloskey 1983a, 1983b; McCloskey, Caramazza & Green 1980; Osborne 1984; Solomon 1983). Kinder und Jugendliche erwerben zwar im Physikunterricht Kenntnisse in Newtonscher Mechanik, ausserhalb der Schule und nach Abschluss ihrer Schulzeit denken sie jedoch nicht daran, diese Kenntnisse anzuwenden. Sie ziehen es vor, alltägliche Naturereignisse in den Kategorien eines vor-modernen, quasi-aristotelischen Denkansatzes zu erklären (vgl. diSessa 1982). Damit wird in einem Kernbereich der Naturwissenschaftsdidaktik deren Scheitern angezeigt. Der Unterricht scheint nicht mehr zu vermögen, als die intuitive Alltagsphysik der Schülerinnen und Schüler kosmetisch zu überdecken.

Beunruhigend ist auch die Erkenntnis, dass Schülerinnen und Schüler oft unfähig sind, mathematisches und naturwissenschaftliches Wissen ausserhalb des Kontextes, in dem es erworben wurde, anzuwenden (vgl. zusammenfassend Gardner 1993, p. 202ff.). Das in der Schule erworbene Wissen wird nicht zu einem "Denkwerkzeug", mittels dessen ausserschulische Situationen bewältigt werden. Die Welt der Schule und das Wissen der Schule werden getrennt gehalten von der alltäglichen Lebenswelt. Als gäbe es eine Physik zur Lösung der physikalischen Probleme im Unterricht und eine solche zur Bewältigung der Alltagsprobleme.

Die Gründe für das Versagen der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik dürften vielfältig sein. Sie werden unter anderem in einem falschen Verständnis des Lernens und Wissenserwerbs gesehen. Das Lernen wird als Stückwerk betrachtet, das in Analogie zur didaktischen Aufbereitung des Lehrstoffes vor sich geht. Mit der logischen oder psychologischen Präsentation des Stoffes, so wird erwartet, korrespondiert ein Aufbauprozess auf seiten der Unterrichtsnehmer. Doch menschliches Lernen erfolgt kaum stückwerkartig, vor allem nicht, wenn es um



das Lernen von Wissen und Begriffen geht. Schulisches Lernen ist Veränderung von kognitiven *Strukturen*.

Kinder haben spontane Ideen über natürliche Phänomene, und dies lange bevor sie formellen Unterricht erhalten und ihnen naturwissenschaftliches Wissen gelehrt wird. Dem Lernen von Wissenschaft hat daher ein *Verlernen* ("Vergessen") von vorwissenschaftlichen Begriffen und Bildern vorzugehen. Setzt sich der Physikunterricht zum Ziel, den Schülerinnen und Schülern das Galilei-Newtonsche Naturverständnis zu vermitteln, so ist zunächst deren intuitives, aristotelisches Weltbild zu erschüttern. Schulisches Lernen beginnt nie bei Null. Es ist daher mit störenden Interferenzen der vorwissenschaftlichen Begriffswelt mit den wissenschaftlichen Inhalten zu rechnen, wenn die "falschen Intuitionen", mit denen die Kinder in den Unterricht kommen, nicht eliminiert werden.

Wissen bildet Strukturen, Netze und Skripts, die nicht punktuell zu verändern sind, sondern nur als Ganzes. Lernen ist daher kein Prozess der Addition von Informationspartikeln, genauso wenig wie Verlernen ein solcher der blossen Subtraktion ist. Der Erwerb von Wissen und die Umformung von Wissen beruhen auf der Veränderung von kognitiven Strukturen. Nur wenn ein solcher Strukturwandel gelingt, gelingt auch die Überwindung des protowissenschaftlichen zugunsten des wissenschaftlichen Weltbildes. Informationen über die Alltagsbegriffe und lebensweltlichen Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern sind daher eine wesentliche Voraussetzung für einen gelingenden Naturwissenschaftsunterricht. Die Aufdeckung dieser Wissensbestände muss Teil des Unterrichts werden, und zwar nicht nur als Präliminarie zu Beginn einer Lektionsfolge, sondern als permanente Aufgabe der Unterrichtstätigkeit (vgl. Driver & Oldham 1986).

Dieses alternative Verständnis von Lernen und Wissenserwerb, das beansprucht, die einleitend formulierte Kritik am gängigen Mathematik- und Naturwissenschaftsunterricht zu überwinden, kann in den Kontext einer *konstruktivistischen* Erkenntnistheorie gestellt werden. Ein konstruktivistischer Ansatz betont die Eigenaktivität des lernenden Individuums. Durch sein eigenes Verhalten baut sich das Individuum eine Welt auf. Ursache der Veränderung seines Weltbildes ist das Individuum selbst. Das lernende Individuum konstruiert sein Wissen, niemand sonst - auch und gerade nicht die Lehrperson (vgl. von Aufschnaiter, Fischer & Schwedes 1992; Driver & Bell 1986; Holzkamp 1993). Menschen versuchen, in ihrem Verhalten Sinn zu finden, ihre Welt und sich selbst zu verstehen. Dazu konstruieren sie mit Hilfe der ihnen verfügbaren kognitiven Mittel "persönliche Konstrukte" (Kelly), Prototheorien und - wenn alles gutgeht - wissenschaftliche Theorien.

Ein konstruktivistischer Ansatz bezweifelt die Rationalität didaktischer Hilfsmittel, die ausschliesslich auf "Anschauung", Induktion, "Entdeckung" oder Erfahrungsbildung ausgerichtet sind. Wenn Wahrnehmung und Erkenntnis *konstruktive* Prozesse sind, dann gibt es keine Autorität der Sinne oder der Anschauung, der sich die Schülerinnen und Schüler unterwerfen müssten. Insofern muss auch der Nutzen von Lehrer- oder Schülerexperimenten kritisch hinterfragt werden. Ist die wissenschaftliche Methode nicht induktiv, machen Laborerfahrungen *per se* keinen besseren Naturwissenschaftsunterricht. Es ist auch nicht anzunehmen, dass Experimente als solche Widersprüche im Denken von Schülerinnen und Schülern, etwa solche zwischen ihren vorwissenschaftlichen Begriffen und Vorstellungen einerseits und dem wissenschaftlichen Wissen andererseits, bewusst machen (vgl. Posner, Strike, Hewson & Gertzog



1982; Watson & Konicek 1990). Wie die Sinne im allgemeinen, haben Experimente im besonderen keine Autorität schlechthin. Unerwartete Ergebnisse können "wegrationalisiert" werden und nicht-kontrollierten störenden Einflüssen, nicht-repräsentativen Untersuchungsobjekten, Fehlern im Messvorgang etc. zugeschrieben werden. Schülerinnen und Schüler verhalten sich diesbezüglich nicht anders als Wissenschaftler (vgl. Hübner 1986; Kuhn 1976). Selbst wenn die Daten eines Experiments eindeutig sind, ist nicht ausgemacht, welcher Seite mehr vertraut wird: der Theorie, die folglich gegen eine Änderung immunisiert wird, oder den Daten, die zu einer Änderung der Theorie führen. Laborarbeit ist nur dann bildend, wenn die Voreinstellungen der Schülerinnen und Schüler bekannt sind und an diesen didaktisch gearbeitet wird.

Interessanterweise korrespondieren diese wissenschaftsphilosophischen Überlegungen mit neueren Analysen der Wissenschaftsgeschichte. So ist etwa der Übergang von der Physik des Aristoteles zu derjenigen Galileis und Newtons durch die experimentelle (empirische) Haltung der letzteren *allein* nicht erklärbar. Es hat sich damals kaum so verhalten, wie Bertold Brecht (1977) in seinem "Leben des Galilei" glauben macht, dass nämlich Galileis Gegner (die Aristoteliker) einfach dumm waren, weil sie nicht durch das Fernrohr schauen wollten, während Galilei die Vernunft auf seiner Seite hatte, weil er bereit war, den Mond durch ein Instrument zu beobachten. Der Umbruch im physikalischen Weltbild war keine schlichte Folge des Sammelns von Daten und deren induktiver Verallgemeinerung. Er war genauso ein Umbruch im *Denken* wie in der Erfahrung (vgl. Feyerabend 1976; Kuhn 1976; Nersessian 1989). Galilei beobachtete eine Welt, die er zunächst mathematisch idealisiert hatte. Um eine solche "Mathematisierung der Natur" (Husserl) zu erreichen, muss die qualitative, person-bezogene Betrachtungsweise, wie sie für die aristotelische Physik typisch ist, zugunsten einer "dezentrierten" Perspektive aufgegeben werden (vgl. Husserl 1977).

Auch wenn es irreführend wäre, davon ausgehen zu wollen, im individuellen Prozess des Lernens von Wissenschaft würden die historischen Etappen einer Disziplin rekapituliert, kann doch als Gemeinsamkeit der beiden Veränderungsprozesse ihr *konstruktiver* Charakter ausgemacht werden. Es soll nicht behauptet werden, die ontogenetischen Veränderungen seien eine Wiederholung der "phylogenetischen" Fortschritte einer Wissenschaft. Jedoch kann die Kenntnis der Wissenschaftsgeschichte Inspiration sein für die Bildung von Hypothesen über den Prozess der Änderung von individuellen Denkweisen, Konzepten und Weltbildern im Prozess der Aneignung von Physik, Chemie oder Biologie. Dies umso mehr, wenn man auch die Wissenschaftsgeschichte nicht als einen additiven Vorgang, sondern als einen Strukturwandel des Geistes begreift. Es bestehen verblüffende Parallelen zwischen dem intuitiven Verständnis in Teildisziplinen der Physik, wie Mechanik, Elektrizitätslehre, Astronomie u.a., und dem historischen Sinn vorwissenschaftlicher Konzeptionen (vgl. Clement 1982; McCloskey 1983a, 1983b).

Gelegentlich wird angenommen, dass die kognitiven Veränderungen, die von Schülerinnen und Schülern der Naturwissenschaften gefordert werden, dem vergleichbar sind, was in einer "wissenschaftlichen Revolution" sensu Kuhn vor sich geht (vgl. Carey 1985).<sup>1</sup> Diese Vermutung soll im folgenden Anlass sein für die Auseinandersetzung mit einem Wissenschaftshistoriker, der sich schon früh - vor Kuhn, Feyerabend, Hübner, Toulmin, Foucault und anderen - der

---

<sup>1</sup> Wobei Kuhn interessanterweise die gegenläufige These als Inspiration für die Arbeit an seinem Buch über wissenschaftliche Revolutionen anführt: Piagets Analysen der kognitiven Entwicklung bei Kindern und Jugendlichen (vgl. Kuhn 1976, p. 8).



historischen Aufklärung des wissenschaftlichen Wandels zugewandt hat, nämlich *Gaston Bachelard*. Auch Bachelard hat die These vertreten, dass zwischen dem, was in der Wissenschaftsgeschichte beobachtet werden kann, und den individuellen Veränderungen beim Lernen von Wissenschaft, Parallelen bestehen. Da er seine Analysen dezidiert in den Rahmen einer "Psychoanalyse des wissenschaftlichen Geistes" gestellt hat, versprechen seine Arbeiten insbesondere Einsichten in die *psychologischen* Bedingungen des Gelingens und Scheiterns naturwissenschaftlichen Lernens. Von besonderem Interesse könnte die Auseinandersetzung mit Bachelard auch deshalb sein, weil sein "psychoanalytischer" Ansatz Einblick in die *affektive* Seite des wissenschaftlichen Lernens verspricht, etwas, was man in der einschlägigen Literatur - ihrer einseitig kognitivistischen Orientierung wegen - nicht findet.

## Zur Person und zum Werk Gaston Bachelards

Vorgängig ein paar Bemerkungen zur Biographie von Gaston Bachelard. Er wurde am 27. Juni 1884 geboren. Sein Berufsleben begann er als Postbeamter. Unterbrochen durch Militärdienst war er insgesamt zehn Jahre bei der Post tätig. Er studierte in seiner Freizeit Mathematik und machte 1912 das Staatsexamen. Nach dem Ersten Weltkrieg, den er über drei Jahre an der Front verbrachte, war Bachelard Physik- und Chemielehrer an einem Gymnasium in Bar-sur-Aube, seinem Geburtsort. Die Schultätigkeit hat in seinem Werk, vor allem in dem Buch "Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes", tiefe Spuren hinterlassen. Bachelard verlor nie das Interesse an Problemen der Didaktik und wurde nicht müde, die Verzerrungen zu kritisieren, in denen die Ergebnisse der Wissenschaften in den Schulbüchern auftauchen, wo sie die Schüler eher verwirren als belehren (vgl. Lepenies 1984, p. 11). 1920 erlangte Bachelard das Staatsexamen in Philosophie, 1927 doktorierte er mit einer erkenntnistheoretischen Arbeit. Bis 1930 unterrichtete er als Gymnasiallehrer. Im Alter von 46 Jahren folgte er einem Ruf der Universität von Dijon, wo er während zehn Jahren Philosophieprofessor war. In dieser Zeit wandte er sich vermehrt Fragen der Literatur zu. Ab 1940 wirkte er an der Sorbonne als Professor für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte. Zugleich war er Direktor des Instituts für Wissenschafts- und Technikgeschichte. 1954 - 70jährig - erfolgte seine Emeritierung. Bachelard starb am 16. Oktober 1962.

Canguilhem nennt Bachelard den ersten französischen Epistemologen, "... der sich auf dem aktuellen und begrifflichen Niveau der Wissenschaften befand, über die er reflektierte, schrieb und veröffentlichte" (Canguilhem 1979, p. 18). Wie schon erwähnt, interessierte sich Bachelard in der zweiten Lebenshälfte vermehrt für Fragen der Literatur. Insgesamt kreist sein Werk um die Themen Wissenschaftsgeschichte, moderne Naturwissenschaften und Poetologie (vgl. Schöffel 1987, p. 225). Bachelard selbst beschrieb sich als "homme des vingt-quatre heures", als der er einerseits "homme rationaliste" und andererseits "homme de la nuit" war (vgl. Dubrulle 1983, p. 7). In einem Interview mit Madeleine Chapsal meinte er: "En fait il y a deux choses qui m'intéressent dans la vie: la pensée scientifique et la poésie" (Chapsal 1984, p. 161). Als Philosoph des Tages war Bachelard Epistemologe, als Philosoph der Nacht Literaturkritiker. Die beiden Philosophien stehen einander weitgehend unvermittelt gegenüber. Bachelards Botschaft liegt darin, dass erst beides zusammen, Wissenschaft und Kunst, die Wahrheit ausmacht. Das diskursive wird ergänzt durch das *onirische* (träumerische) Denken. Wobei Bachelard davon ausgeht, dass sowohl die Wissenschaft als auch die Träumerei Entwürfungen vom Alltag - von der Lebenswelt - sind (vgl. Kopper 1964, p. 303f.). Da es mir in



dieser Arbeit um Fragen der Wissenschaftsphilosophie und des Lernens von Wissenschaft geht, gehe ich auf die "dunkle" Seite von Bachelards Werk nicht näher ein.

## Bachelards Wissenschaftsverständnis

Die Wissenschaft beruht auf einer Distanzierung zur alltäglichen Erfahrung. Die Orientierung am Anschaulichen, an dem, was uns unmittelbar "gegeben" ist, erachtet Bachelard als ein "Erkenntnishindernis". Genauer gesagt, als eines der zwei wesentlichen Erkenntnishindernisse. Er spricht von den "... beiden konträren epistemologischen Hindernisse(n), die jedes Denken beschränken: das Allgemeine und das Unmittelbare" (Bachelard 1980, p. 19). Gegen beide Hindernisse muss sich die wissenschaftliche Erkenntnis durchsetzen. Dabei ist das Unmittelbare der Orientierungspunkt des Empirismus, während das Allgemeine dem Rationalismus zugeordnet wird. Bachelard will letztlich zwischen diesen beiden gleichermassen einseitigen und falschen Philosophien vermitteln. Die grössere Gefahr sieht er allerdings vom Empirismus ausgehen: "... nach unserer Auffassung (muss) eine der beiden metaphysischen Richtungen höher bewertet werden ...: und zwar die, die vom Rationalismus zur Erfahrung hin verläuft" (ebd., p. 21). Das Denken strukturiert die Erfahrung. Oder, wie sich Bachelard ausdrückt: Ein "geordnetes Phänomen" führt zu besserer Erkenntnis als ein "natürliches Phänomen". Darin liegt eine gewisse Nähe zur Wissenschaftstheorie Poppers, nach der Wissenschaft ebenfalls von Theorien, ja selbst von Mythen ausgeht, die die Beobachtung strukturieren und Erkenntnis allererst ermöglichen (vgl. Popper 1974). Und wenn Popper seine Wissenschaftstheorie "kritischen Rationalismus" nennt, dann kommt auch bei ihm zum Ausdruck, dass er den Rationalismus höher wertet als den Empirismus.<sup>2</sup>

Bachelard macht deutlich, dass die alltägliche und die wissenschaftliche Erfahrung zwei verschiedene Dinge sind: "Es besteht nämlich ein Bruch zwischen der sinnlichen Erkenntnis und der wissenschaftlichen Erkenntnis. Man sieht die Temperatur auf einem Thermometer; aber man empfindet sie nicht. Ohne eine Theorie wüsste man nie, ob das, was man sieht, und das, was man empfindet, demselben Phänomen entspricht" (Bachelard 1980, p. 24). Der "Bruch" zwischen Alltag und Wissenschaft ist nicht einfach entstanden, sondern musste mühsam erkämpft werden. Darin besteht die Kernthese von Bachelards wissenschaftshistorischen Analysen. Seiner Ansicht nach ist erst die Wissenschaft des 20. Jahrhunderts zur *reinen* Wissenschaft geworden. Gemeint sind insbesondere Physik und Chemie, in der Physik im speziellen die Relativitäts- und die Quantentheorie. Bei diesen sieht Bachelard einen "neuen wissenschaftlichen Geist" am Werk. So auch der Titel eines seiner Bücher: "Der neue wissenschaftliche Geist" (Bachelard 1988a). In diesem Buch diskutiert Bachelard die anfangs des Jahrhunderts neu entstandenen Disziplinen: die nicht-euklidische Geometrie, die nicht-aristotelische Logik, die nicht-newtonsche Mechanik und - zusammengefasst - die *nicht-cartesianische Wissenschaft*. Die Überwindung des Cartesianismus ist in der modernen Physik erfolgt. Auf jenem Gebiet, das Descartes ausgiebig behandelt hat, nämlich auf demjenigen der Physik bzw. der Mechanik, ist er am klarsten widerlegt worden.

<sup>2</sup> Die Verweise auf Popper, die ich auch im folgenden gelegentlich machen werde, sollen nicht eine besondere Affinität zwischen Bachelard und Popper suggerieren, sondern die Beurteilung der eher unbekannten Position Bachelards mit Hilfe der als bekannt vorausgesetzten Wissenschaftsphilosophie Poppers erleichtern.



Bachelard operiert mit dem Konzept der *Widerlegung*. Hierin ist er Popper erneut sehr ähnlich. Die Wissenschaft schreitet nicht voran, indem sie Tatsachen anhäuft, sondern indem sie Irrtümer ausmerzt. "Es gibt nur ein Mittel, die Wissenschaft voranzubringen; und dies besteht darin, der bereits konstituierten Wissenschaft unrecht zu geben, das heisst: ihre Konstitution ändern" (Bachelard 1980, p. 45). Nicht das Unwissen, sondern der Irrtum steht am Anfang der Wissenschaft. Unser Geist ist nicht leer, wenn wir mit Forschung beginnen, sondern voll - voll von Irrtümern. Die wissenschaftliche Methode besteht darin, diese Irrtümer abzutragen. Wie für Popper, so ist für Bachelard der Erkenntnisprozess letztlich *negativ* und destruktiv. Es geht darum, das Falsche, an dem wir so sehr hängen, zu zerstören und auszurotten. Das ist letztlich eine mystische Vorstellung: Bildung besteht nicht in der Anhäufung von Wissen, sondern in der Entbildung und Reinigung des Geistes, um so zur Wahrheit vorzustossen. Etwas konkretistisch formuliert Bachelard: "... bevor man aufbaut, muss man zerstören" (Bachelard 1955, p. 419).

In der "Philosophie des Nein" heisst es, das Wissen gehe nicht aus dem Unwissen hervor, "wie das Licht aus der Finsternis". Wir würden gewöhnlich nicht im Dunkeln, sondern im falschen Licht leben. Das Unwissen sei ein "Gespinnst aus manifesten, hartnäckigen, zusammenhängenden Irrtümern" (Bachelard 1980, p. 22). Bachelard betont, "... dass die geistige Finsternis eine Struktur besitzt und dass unter diesen Bedingungen jede richtige objektive Erfahrung stets die Korrektur eines subjektiven Irrtums voraussetzt. Aber die Irrtümer lassen sich nicht einfach einer nach dem anderen ausräumen. Sie sind koordiniert. Der wissenschaftliche Geist kann sich nur konstituieren, wenn er den nicht wissenschaftlichen Geist ausrottet. Der Wissenschaftler vertraut hier allzu oft auf eine Pädagogik der einzelnen Schritte, während der wissenschaftliche Geist doch eigentlich auf eine totale Reform des Subjekts zielen sollte. Jeder wirkliche Fortschritt im wissenschaftlichen Denken verlangt eine Konversion. Die Fortschritte des zeitgenössischen wissenschaftlichen Denkens haben Wandlungen direkt in den Prinzipien der Erkenntnis bedingt" (ebd., p. 22f.).

Diese Stelle gibt sehr schön die Gemeinsamkeiten, aber auch die Unterschiede zwischen Bachelard und Popper wieder. Die Gemeinsamkeiten liegen darin, dass beide nicht vom Geist als von einem leeren Kübel, in den Wissen eingelagert wird, ausgehen. Popper hat sich immer wieder gegen das "Kübelmodell" der Erkenntnis gewandt (vgl. z.B. Popper 1974, p. 369ff.). Der Unterschied zwischen Popper und Bachelard liegt nun aber darin, dass Popper letztlich eine *Kontinuität* zwischen Alltag und Wissenschaft annimmt, während Bachelard von einer *Diskontinuität* ausgeht. Für Popper müssen Wissenschaft, Philosophie und rationales Denken "beim Alltagsverstand anfangen" (ebd., p. 45). Damit könnte Bachelard vielleicht noch einverstanden sein. Nicht aber, wenn es bei Popper weiter heisst: "... alle Wissenschaft und Philosophie ist aufgeklärter Alltagsverstand" (ebd., p. 46), die wissenschaftliche Erkenntnis "... bloss eine Weiterentwicklung der alltäglichen Erkenntnis" (Popper 1989, p. XVIII). Damit unterstellt Popper einen fließenden Übergang von der Falschheit zur Wahrheit. Das zeigt auch sein Konzept der "Wahrheitsnähe". Zwischen wahr und falsch besteht ein Kontinuum, auf dem man sich schrittweise voranbewegen kann.

Bachelard ist anderer Ansicht. Er wendet sich gegen die kontinuistische Auffassung Poppers und postuliert einen *Bruch* zwischen Alltag und Wissenschaft. "Der wissenschaftliche Geist kann sich nur konstituieren, wenn er den nicht wissenschaftlichen Geist ausrottet" (vgl. oben).



Wir sollen nicht auf eine "Pädagogik der einzelnen Schritte" bauen, sondern auf die "totale Reform des Subjekts" zielen. Die Fortschritte des wissenschaftlichen Denkens haben "Wandlungen direkt in den *Prinzipien* der Erkenntnis bedingt" (vgl. oben). Was Bachelard sagt, tönt weit mehr nach Kuhn als nach Popper. Es tönt nach wissenschaftlichen *Revolutionen*, nach "Konversionen", wie Bachelard in Übereinstimmung mit Kuhn sagt (vgl. Bachelard 1980, p. 23; Kuhn 1976, p. 162).

Bachelard ist kein Freund des Alltagsverstandes. Die Fortschritte der Wissenschaft werden nicht *mit*, sondern *gegen* den Alltagsverstand gemacht. Bachelards Wissenschaftstheorie ist konstruktivistisch, während diejenige Poppers realistisch sein will.<sup>3</sup> Gemäss Bachelard entspricht das Werden eines wissenschaftlichen Begriffs einer Transformation von der realistischen in eine rationalistische Form. Popper glaubt letztlich an die Abbildtheorie der Wahrheit. Wissenschaft, die ihr Ziel erreicht hätte, würde die Welt wiedergeben, wie sie "an sich" ist. Demgegenüber betont Bachelard, dass die Realität eine *Realisierung* ist. Wirklichkeit wird verwirklicht. Realität wird begriffen, wenn sie realisiert werden kann. Und das gilt insbesondere für die Wissenschaft. Die Wissenschaft realisiert Begriffe, die "keine Wurzel[n] in der alltäglichen Wirklichkeit" haben (vgl. Bachelard 1980, p. 49). Sie schafft ihre eigene Wirklichkeit, und das ist der Grund, weshalb zwischen Wissenschaft und Alltag ein Bruch und nicht eine Kontinuität herrscht.

Die Realisierung hat den "Vorrang vor der Realität" (vgl. Bachelard 1980, p. 49). Deshalb "... ist das durch die wissenschaftliche Bildung geprägte Verstehen erheblich unterschieden von dem durch die alltägliche Beobachtung geprägten Verstehen" (ebd., p. 78). Die Folge ist, wie Bachelard apodiktisch formuliert: "Unter allen Umständen hat das *Unmittelbare* vor dem *Konstruierten* zu weichen" (ebd., p. 164). Das Unmittelbare ist eine Fiktion. "Nichts ist gegeben. Alles ist konstruiert" (Bachelard 1984, p. 47). Die Wissenschaft schafft sich ihre Gegenstände geradezu durch die Zerstörung der Gegenstände der alltäglichen Erfahrung. Und der Fortschritt der Wissenschaft besteht darin, dass die Konstruktionsmittel der Erkenntnis ausgewechselt werden. Das ist auch die These von Kuhn. In einer wissenschaftlichen Revolution werden nicht nur die Theorien ausgewechselt, sondern auch die Mittel zur Konstruktion von Theorien, also die Metatheorien. Sowohl bei Bachelard wie bei Kuhn schreitet die Wissenschaft nicht kontinuierlich auf dem Wege zur immer umfassenderen wahren Erkenntnis fort (wenn es diesen Weg denn überhaupt gibt). Sondern sie bewegt sich in Etappen vorwärts, die durch tiefe erkenntnistheoretische Brüche voneinander getrennt sind. "Bachelard verknüpft derart wissenschaftstheoretische mit wissenschaftshistorischen Analysen ..." (Lepénies 1984, p. 17).

## Epistemologische Hindernisse

Damit haben wir einen ersten Eindruck von Bachelards Wissenschaftsverständnis gewonnen. Es ist ein Wissenschaftsverständnis, das, wie eben nochmals angedeutet, in Verbindung zur *Wissenschaftsgeschichte* steht. Dabei hat Bachelard eine klare Vorstellung vom Verhältnis von Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte. Die Wissenschaftsgeschichte steht unter der Prämisse der Wissenschaftstheorie. Der Historiker, der *nicht* Wissenschaftstheoretiker ist, hat keine Selektionskriterien zur Hand, um die Fülle seines Materials zu gliedern. Anders der Wissenschaftshistoriker, der im Lichte der Wissenschaftstheorie arbeitet. "Der Epistemologe

<sup>3</sup> Allerdings hat Bachelard erst allmählich zu seiner anti-realistischen Position gefunden (vgl. Pariente 1987).



muss ... die Dokumente, die der Historiker gesammelt hat, auslesen. Er muss sie aus der Sicht der Vernunft beurteilen, ja aus der Sicht der entwickelten Vernunft, denn allein von unserer Zeit her können wir die Irrtümer der Vergangenheit des Geistes richtig beurteilen" (Bachelard 1984, p. 51). Die Wissenschaftstheorie macht der Wissenschaftsgeschichte eine normative Vorgabe. Geschichte ist daher nie die Erinnerung an ein Geschehen, sondern Konstruktion einer Vergangenheit. Sie ist bewertete Geschichte ("histoire jugée").<sup>4</sup>

Weder das Gegebene noch das Gewesene haben für Bachelard eine eigene Dignität. Nur das Konstruierte ist von rationalem Wert.<sup>5</sup> Die wissenschaftliche Rationalität kehrt den alltäglichen Zugang zur Wirklichkeit um: das Gegebene ist ihr das Resultat, die Erfahrung das Ziel (vgl. Rötzer 1988, p. 126). Die Wissenschaft verwandelt Phänomene in Produkte - dies ein Kennzeichen der Moderne schlechthin (vgl. Blumenberg 1960, p. 30, Anm. 45). An die Stelle der Phänomenologie setzt Bachelard eine "Phänomenotechnik". Diese gilt auch gegenüber der Geschichte. Auch die historischen Fakten werden hergestellt (vgl. Balke 1993, p. 249). Alle Wissenschaften *fabrizieren* ihre Gegenstände.

Bachelard nimmt die Perspektive der "entwickelten Vernunft" ein, um die Wissenschaftsgeschichte aufzuschliessen, denn nur so können wir die Irrtümer der früheren Entwicklungsstufen der Wissenschaft überhaupt beurteilen. "Hier wird sichtbar, was die Arbeit des Epistemologen von der des Wissenschaftshistorikers unterscheidet. Der Wissenschaftshistoriker muss die Ideen aus Tatsachen nehmen. Der Epistemologe muss die Tatsachen als Ideen nehmen, indem er sie in ein Denksystem einfügt. Eine Tatsache, die von einer Epoche falsch interpretiert wurde, bleibt für den Historiker eine *Tatsache*. In der Sicht des Epistemologen ist sie ein *Hindernis*, ein Konter-Gedanke. Vor allem in der Vertiefung des Begriffs eines *Erkenntnishindernisses* wird die Geschichte des wissenschaftlichen Denkens ihren vollen geistigen Wert erhalten" (Bachelard 1984, p. 51 - letzte Hervorhebung von mir, W.H.).

Damit ist die wesentliche Kategorie genannt, die Bachelard in seinen wissenschaftshistorischen Studien verwendet: das Erkenntnishindernis. Bachelard - und das ist wohl das Originelle an seinem Ansatz - versucht nicht, eine Erfolgsgeschichte der Wissenschaft zu schreiben, sondern er interessiert sich für die Hindernisse, die die Wissenschaftler überwinden mussten, um zum Erfolg zu gelangen. In der Wissenschaftsgeschichte sind auch die "dunklen Stellen des Denkens" (Bachelard) darzustellen (vgl. Canguilhem 1979, p. 12). "Die Erkenntnis des Wirklichen ist ein Licht, das immer auch Schatten wirft" (Bachelard 1984, p. 46). Diese Schatten bzw. Hindernisse sind in erster Linie das *Unmittelbare* und das *Allgemeine*. Wir denken vom Konkreten her, und wir denken vom Abstrakten her, und beide Male verfehlen wir die Wahrheit. Das Hindernis des Unmittelbaren liegt insbesondere im Alltagsdenken. Im Alltag denken wir

<sup>4</sup> Dies ist die Perspektive, in der auch Piaget seine genetische Epistemologie angelegt hat. Auch Piaget ist vom aktuellen Stand der Wissenschaften ausgegangen und hat gefragt, wie der Weg zu diesem vorgängig festgelegten Ziel historisch verlaufen ist (vgl. z.B. Piaget 1973, insbes. p. 20f.). Bachelard und Piaget argumentieren fast identisch. Es wäre eine interessante Fragestellung, den Einflüssen Bachelards auf Piaget nachzugehen. Piaget hat Bachelards Arbeiten zweifellos gekannt, wie seine "Introduction à l'Epistémologie Génétique" (Piaget 1975) zeigt.

<sup>5</sup> Hier folgt Bachelard - allerdings nicht explizit - Goethe, der in seinen "Materialien zur Geschichte der Farbenlehre" betont, "... die Weltgeschichte (müsse) von Zeit zu Zeit umgeschrieben werden ... Eine solche Notwendigkeit entsteht aber nicht etwa daher, weil viel Geschehenes nachentdeckt worden, sondern weil neue Ansichten gegeben werden, weil der Genosse einer fortschreitenden Zeit auf Standpunkte geführt wird, von welchen sich das Vergangene auf eine neue Weise überschauen und beurteilen lässt. Ebenso ist es in den Wissenschaften" (Goethe 1964, p. 413).



von dem aus, was uns vor Augen liegt, was uns so und so *erscheint*. Das Hindernis des Allgemeinen liegt in erster Linie in der Philosophie, die falsche Abstraktionen konstruiert und so die Realität ebenso verfehlt wie der Alltagsverstand.<sup>6</sup>

Bachelard bezeichnet die Hindernisse des wissenschaftlichen Denkens als *psychologische* Hindernisse. Insofern ist sein Ansatz der Kritik der "Idole" des menschlichen Verstandes durch Francis Bacon verwandt (vgl. Dubrulle 1983, p. 62ff.). Die Hindernisse der wissenschaftlichen Erkenntnis liegen in der Psyche des Menschen. Bachelard kommt so zu seiner Idee der "Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis", wie der Untertitel der "Bildung des wissenschaftlichen Geistes" lautet. Auch die "Psychoanalyse des Feuers", ein anderes Buch von Bachelard, zeugt von seiner *psychologischen* Perspektive auf die wissenschaftliche Erkenntnis.

"Psychoanalyse" muss man bei Bachelard allerdings im weiten Sinn verstehen. Bachelard geht sehr unorthodox mit der Psychoanalyse um. Bezüge zu Freud sind genauso da wie solche zu Carl Gustav Jung. Des weiteren verwendet Bachelard eher gewisse Grundideen der Psychoanalyse als deren Theorien und Begriffe. Im wesentlichen geht es einfach darum, Hindernisse der wissenschaftlichen Erkenntnis aufzudecken und diese in der psychischen (affektiven) Haltung der Wissenschaftler zu lokalisieren. Das erste Kapitel der "Bildung des wissenschaftlichen Geistes" beginnt mit dem Satz: "Sucht man nach den psychologischen Voraussetzungen des wissenschaftlichen Fortschritts, so gelangt man bald zu der Überzeugung, dass das *Problem der wissenschaftlichen Erkenntnis unter dem Begriff des Hindernisses angegangen werden muss*" (Bachelard 1984, p. 46). Das Buch selbst bietet ein Panoptikum solcher epistemologischer Hindernisse, ein Gruselkabinett des verirrten wissenschaftlichen Geistes.

Bachelard wertet die Hindernisse der Wissenschaft nicht einfach negativ. Sie sind negativ allein im Verhältnis zur Wissenschaft. Sie sind dagegen positiv im Verhältnis zu Dichtung und Literatur. "Die Bilder beispielsweise, deren sich die Alltagserfahrung bedient, um ihren vor-wissenschaftlichen Einsichten Ausdruck zu verleihen, sind ebenso ein Hindernis auf dem Weg des wissenschaftlichen Fortschritts wie ein unverzichtbarer Bestandteil all jener Mythen und Vorstellungen, aus denen sich die Dichtung speist. Die Quellen des wissenschaftlichen Irrtums sind die schöpferischen Kräfte der Kunst" (Lepénies 1984, p. 21). Das ist eine interessante These zum Verhältnis von Wissenschaft und Kunst. Bachelard sieht die Kunst dort verwurzelt, wo die Wissenschaft gerade nicht wurzeln darf, nämlich in der ursprünglichen, naiven Erfahrung des Alltags bzw. im Traumbewusstsein. Und das gilt auch historisch: Wissenschaft gibt es erst dort, wo sich eine Erkenntnisform von der Alltagserfahrung absetzt und ihre Bezüge zu lebensweltlichen Fragestellungen und Problemen aufgibt.<sup>7</sup>

Daraus ergibt sich das relativ strenge Kriterium, das Bachelard an die Wissenschaft anlegt. Wissenschaft ist für Bachelard eigentlich erst das, was wir mit der Physik und Chemie des 20. Jahrhunderts vor uns haben. Alles andere ist noch zu sehr mit epistemischen Hindernissen be-

<sup>6</sup> An dieser Stelle wäre es interessant, nach Parallelen zwischen den Gedanken Bachelards und Wittgensteins zu suchen. Auch wenn Bachelard philosophischen Abstraktionen genauso kritisch gegenüber steht wie Wittgenstein, ist er doch nicht der Meinung, dass die Rückführung der metaphysischen Verwendung von Wörtern auf ihren alltäglichen Gebrauch (vgl. Wittgenstein 1971, p. 67) als Problemlösung ausreichend wäre.

<sup>7</sup> Foucault hat diese These in seiner "Archäologie der Humanwissenschaften" vertieft. Die Entstehung des Wahnsinns und des Romans verdanken sich gleichermaßen einem Strukturwandel der "Episteme". Die Errichtung der rationalen Wissenschaft erschliesst der Literatur das Feld der Metapher, der Bilder und der Irrationalität (vgl. Foucault 1974). Dass auch Foucault von Bachelard beeinflusst worden ist, braucht kaum betont zu werden (für einige Belege vgl. Schmid 1991, passim).



lastet, als dass es wirklich Wissenschaft heissen könnte. Bachelard postuliert ein "Dreistadiengesetz des wissenschaftlichen Geistes" (vgl. Bachelard 1980, p. 69; 1984, p. 42), verlaufend vom vorwissenschaftlichen über den wissenschaftlichen zum neuen wissenschaftlichen Geist. In der "Bildung des wissenschaftlichen Geistes" heisst es: "Wollte man uns ... um einer plakativen Klarheit willen drängen, die verschiedenen Zeitalter des wissenschaftlichen Denkens mit oberflächlichen historischen Etiketten zu versehen, so würden wir mit einiger Angemessenheit drei grosse Perioden unterscheiden: Die erste Periode, die den *vorwissenschaftlichen Zustand* repräsentiert, würde die klassische Antike, die Jahrhunderte der Renaissance und der neuen Versuche im 16. und 17. und auch noch das 18. Jahrhundert umfassen. Die zweite Periode, die den *wissenschaftlichen Zustand* repräsentiert, würde sich, mit Anfängen im ausgehenden 18. Jahrhundert, über das ganze 19. Jahrhundert und den Beginn des 20. Jahrhunderts erstrecken. Als drittes würden wir das Zeitalter des *neuen wissenschaftlichen Geistes* sehr präzise mit dem Jahre 1905 beginnen lassen, dem Zeitpunkt, zu dem die Einsteinsche Relativitätstheorie gerade die ursprünglichen Konzepte, die man für auf immer unveränderbar gehalten hatte, deformiert hatte" (Bachelard 1984, p. 39).

Bachelard bringt diese historischen Stufen mit der individuellen Entwicklung in Verbindung - wiederum sehr ähnlich wie Piaget. "In seiner individuellen Bildung durchläufe der wissenschaftliche Geist danach notwendig folgende drei Stufen, die weit präziser sind als die Stadien Comtes.

1. *Die konkrete Stufe:* der Geist erfreut sich hier der ersten Bilder der Erscheinungen und stützt sich auf eine philosophische Literatur, die die Natur verherrlicht und auf wundersame Weise zugleich die Einheit der Welt und ihre reiche Vielfalt besingt.
2. *Die konkret-abstrakte Stufe:* der Geist trägt hier geometrische Schemata an die physikalische Erfahrung heran und stützt sich auf eine Philosophie der Einfachheit. Der Geist befindet sich noch in einer paradoxen Lage: er ist sich seiner Abstraktion um so sicherer, je deutlicher diese Abstraktion sich ihm in einer sinnlichen Anschauung darstellt.
3. *Die abstrakte Stufe:* der Geist unternimmt hier Erkundungen, die sich der Anschauung des realen Raumes eigenwillig entziehen, die sich eigenwillig von der unmittelbaren Erfahrung lösen und sogar in offenem Widerspruch zur stets unsauberen, immer gestaltlosen primären Realität stehen" (Bachelard 1984, p. 41f.).

Wenn wir uns Piagets Stufen des präoperationalen, des konkret-operationalen und des formal-operationalen Denkens vergegenwärtigen, dann haben wir hier eine fast völlige Entsprechung.

### Das Unmittelbare als Erkenntnishindernis

Was sind nun die Hindernisse, die Bachelard im einzelnen diskutiert, Hindernisse, die den Fortschritt der Wissenschaft gehemmt haben? Wie bereits erwähnt, ist eines der grossen Hindernisse, die Bachelard veranschlagt, das Denken im Konkreten der unmittelbaren Anschauung. Die erste Beobachtung, so heisst es, "... ist immer ein erstes Hindernis für die wissenschaftliche Bildung. ... In der Ausbildung eines wissenschaftlichen Geistes ist das erste Hindernis die erste Erfahrung ..." (Bachelard 1984, p. 54, 59). Deshalb müssen wir dem Unmittelbaren widerstehen. Wir verstehen "... die Natur in uns wie ausserhalb unserer selbst ..., indem wir ihr widerstehen" (ebd., p. 59). Bedenkt man, dass es Bachelard um das Verstehen der Naturwissenschaften geht, so mutet es geradezu paradox an, wenn er fordert, der wissenschaftli-



che Geist müsse sich "... gegen die Natur bilden, gegen das, was in uns und ausserhalb unserer selbst Anstoss und Weisung der Natur ist, gegen die Vereinnahmung durch die Natur, gegen die bunten und vielgestaltigen Tatsachen" (ebd.). Durch Befriedigung der Neugier fördert man die wissenschaftliche Bildung nicht, im Gegenteil. "Man ersetzt die Erkenntnis durch Bewunderung ..." (ebd., p. 67).

Der Kritik am Unmittelbaren entspricht die Kritik am *Sehen* und an der *Anschauung* als Erkenntnismittel. "Die Anschauung sagt zuviele Dinge auf einmal" (Bachelard 1975, p. 245). Phänomenologisch, als (intentionale) Bezogenheit auf ein Objekt, wird die wissenschaftliche Erkenntnis falsch begriffen. Materie ist nicht das, was sich zeigt, sondern das, was Widerstand leistet, und das, was verändert werden kann. Deshalb ist die Phänomenologie durch eine *Phänomenotechnik* zu ersetzen. Der Ursprung der "Phänomene" liegt in Handlungen und Operationen. Wissenschaft besteht daher auch nicht in der schlichten Geometrisierung der Wirklichkeit. Die Materie ist nicht einfach "ausgedehnt", wie Descartes glaubte. Die Meditation à la Descartes führt nicht zur Erkenntnis der Wirklichkeit. Naturwissenschaftliches Erkennen erfordert ein Widerstrebendes und ein Widerstandsbewusstsein.<sup>8</sup>

Bachelard gibt eine Reihe von Beispielen für die Irreleitung des wissenschaftlichen Geistes durch die Haftung am Unmittelbaren. So hatte die Angst der Menschen vor Naturereignissen verhindert, dass sie sich die notwendige Distanz schaffen konnten, um Donner und Blitz zu verstehen (vgl. Bachelard 1984, p. 62). Bilder halten das Denken gefangen. So auch im Falle von Explosionen, die in ihrer Kraft und verheerenden Auswirkung eine nüchterne Analyse genauso verhindern wie die Angst vor dem Donner (vgl. ebd., p. 81). Ähnliches gilt für die Elektrizität, die zunächst ein Faszinosum war und als solches Objekt des Interesses wurde. Bachelard schreibt: "... bei der Lektüre zahlreicher Bücher, die der Elektrizitätslehre im 18. Jahrhundert gewidmet waren, wird sich der moderne Leser der Schwierigkeiten bewusst werden, die man hatte, sich vom Pittoresken der ersten Beobachtung zu lösen, den elektrischen Erscheinungen ihre Farbigkeit zu nehmen, die Erfahrung von ihren parasitären Zügen, ihren Unregelmässigkeiten zu befreien. Es wird dann deutlich werden, dass der erste empirische Zugriff nicht einmal den richtigen Aufriss der Erscheinung gibt, nicht einmal eine wohlgeordnete, hierarchisch gegliederte Beschreibung der Phänomene" (ebd., p. 67). Die Vielfalt und Fülle der Phänomene beeindruckt und verhindert eine experimentelle Einstellung, die nicht Vielfalt braucht, sondern Variation.

Bezeichnend für die vorwissenschaftliche Mentalität ist die Alchimie. In der Alchimie überkreuzen sich objektive und subjektive Einstellungen. Den Alchimisten ging es um mehr als nur um irdische Erkenntnis, "... ihnen ging es um das Seelenheil" (Bachelard 1984, p. 94). Wo daher ein alchemistisches Experiment fehlschlug, da war immer die Möglichkeit offen, den Fehlschlag der seelischen Verfassung des Experimentators anzulasten. Der Alchimist hatte sein Experiment in seelischer oder moralischer Unreinheit durchgeführt. Um dem Experiment zum Erfolg zu verhelfen, musste der Alchimist daher oft langes Fasten auf sich nehmen. "Niemals waren die

<sup>8</sup> Auch diesbezüglich besteht Übereinstimmung zwischen Bachelard und Popper. Popper beschreibt den Erkenntnisprozess in Bildern des Vorantastens in einem Gebiet, wo man nicht sehen, sondern nur spüren kann. Die Falsifikation einer Theorie "... gleicht der Erfahrung eines Blinden, der gegen ein Hindernis läuft" (Popper 1974, p. 389). Der Weg zur Wahrheit gleicht dem Vorantasten eines Bergsteigers, der im dichten Nebel sein Ziel erreicht, aber nicht wissen kann, wo er sich befindet, da er *nichts sieht* (vgl. Popper 1969, p. 225f.). Auch konstruktivistische Autoren wie Maturana (1982) und von Glasersfeld (1985) favorisieren in ihren Illustrationen des Erkenntnisprozesses die Metaphorik des Tastens gegenüber derjenigen des Sehens.



Tugenden der Entsagung, der Rechtschaffenheit, der Geduld, der skrupulösen Methode, der beharrlichen Arbeit so innig mit dem Beruf verschmolzen wie in der alchemistischen Zeit. Es scheint, dass der Mann des Laboratoriums sich in unserer Zeit leichter von seiner Aufgabe zu lösen vermag. Er vermengt sein Gefühlsleben nicht mehr mit seinem wissenschaftlichen Leben" (ebd., p. 97).

Bachelard findet es frappierend, dass sich alle alchemistischen Experimente auf zwei Arten interpretieren lassen, chemisch und moralisch (vgl. Bachelard 1984, p. 99). Es scheint, als ob bei den Alchimisten noch die alte, antike Vorstellung von Wissen als Bildung des Menschen dominierte, jedoch verbunden mit einer bereits manipulativen Haltung gegenüber dem Erkenntnisobjekt. Wo die Griechen kontemplativ erkennen, da sind die Alchimisten bereits Experimentatoren. Aber noch glauben sie, sich selbst durch ihre Erkenntnistätigkeit zu verändern, während die neuzeitliche Wissenschaft den Erkenntnisprozess völlig vom individuellen Subjekt ablösen wird. Die Welt ist noch nicht Objekt geworden und der Mensch noch nicht Subjekt. "Die Alchemie herrscht in einer Zeit, in der der Mensch die Natur mehr liebt als benutzt" (ebd., p. 100). Die Liebe war denn auch ein beständiges Moment der alchemistischen Praxis im Laboratorium. Liebe und Sexualität bestimmten den Erkenntnisprozess genauso wie der Verstand. Wo die unmittelbare Anschauung die Erkenntnis dominiert, da begegnet der Mensch der Welt "... mit all seinen Wünschen, mit all seinen Leidenschaften, mit seiner ganzen Seele" (ebd., p. 102).<sup>9</sup>

Wünsche und Leidenschaften machen den Menschen zu einem passiven, rezipierenden Wesen. Genauso die Unmittelbarkeit des Gegebenen. Das vorwissenschaftliche Denken scheint deshalb noch nicht wissenschaftlich zu sein, weil es sich faszinieren lässt. Es staunt und träumt, es amüsiert und zerstreut sich. "Im 18. Jahrhundert wird die Natur ... an der Oberfläche ergriffen" (Bachelard 1993, p. 84). Um wissenschaftlich zu werden, braucht die Erkenntnis mehr Aktivität. Vom passiven, registrierenden muss zum aktiven, überlegten Empirismus übergegangen werden (vgl. Bachelard 1984, p. 157). Eine der Hauptthesen der "Bildung des wissenschaftlichen Geistes" ist daher "... die Überlegenheit der abstrakten und wissenschaftlichen Erkenntnis über die unmittelbare und intuitive" (ebd., p. 169).

Diese Überlegenheit demonstriert Bachelard an einem weiteren Beispiel: dem Hang zum Substantialismus. Der vorwissenschaftliche Geist neigt dazu, mit Hilfe von Substanzen zu erklären. Den Dingen wird ein Inneres unterschoben, z.B. dem Menschen eine geistige Substanz, und aus dem Inneren wird das Verhalten der Dinge (des Menschen) erklärt. Bachelard zögert denn auch nicht, den Psychologen den "modernen Alchimisten" zu nennen (vgl. Bachelard 1984, p. 161), denn Psychologen scheinen ohne eine Innerlichkeit als Erklärungsgrund nicht auszukommen.<sup>10</sup> "Wenn die Substanz ein *Inneres* besitzt, muss man versuchen, sie zu durchwühlen. Diese Operation wird als 'Extraktion oder Exzentrisierung der Seele' bezeichnet. Michael Sendivogius sagt zum *Mercurius*, den er lange 'gegeißelt und durchwühlt' hatte: 'Sage mir, was Du in Deinem Innersten bist und ich werde dich (sic) nicht länger peinigen.' In diesem In-

<sup>9</sup> Erst bei Francis Bacon weicht die sexuelle Metaphorik, mit der der Erkenntnisprozess erfasst wird, einer Herrschaftsmetaphorik (vgl. Keller 1986; Merchant 1980; Whitney 1989). Genauer muss man sagen, dass die sexuelle Metaphorik, die auch noch bei Bacon nachweisbar ist, ihren Charakter ändert, insofern sie das Moment der Unterwerfung in sich aufnimmt.

<sup>10</sup> Vergleichbar argumentiert Skinner, wenn er davon spricht, auch das "Gebiet des Verhaltens" hätte seine Alchimisten gehabt und habe sie noch heute (vgl. Skinner 1976, p. 31).



nern, 'im Zentrum des kleinsten Atoms der Metalle befinden sich die verborgenen Qualitäten, ihre Farbe, ihre Tinktur'. Man sieht deutlich, dass die Qualitäten der Substanzen als innere Qualitäten gedacht werden. Die Erfahrung gibt dem Alchimisten eher vertrauliche Mitteilungen als Lehren" (ebd., p. 163). Was man sieht, wird zum Zeichen der unsichtbaren inneren Substanz.

Der Substantialismus ist ein "schreckliches Hindernis" für die wissenschaftliche Bildung (vgl. Bachelard 1980, p. 87). In der Psychologie sind es Eigenschaften, die die Gefahr bieten, substantialistisch verstanden zu werden. Dies insbesondere in der Physiognomik, wo äussere Merkmale als Symbole innerer Eigenschaften gedeutet werden. Der Körper wird zum Zeichen der Seele. Das Äussere verweist auf die "Substanz" des Menschen. Haben wir diese ausgemacht, dann scheinen wir den Menschen zu kennen.

Die Verführungskraft der Substanzvorstellung hat ihre Wurzeln im Unbewussten. Die Substanz eines Gegenstandes ist nach dem Modell eines persönlichen Gutes zusammengesetzt. "Man ergreift geistig davon Besitz, wie man einen auf der Hand liegenden Vorteil wahrnimmt" (Bachelard 1984, p. 201). Substanzen lassen sich besitzen. Wer an Substanzen glaubt, ist daher ein Geizhals. "Die Psychoanalyse, die es zur Heilung vom Substantialismus zu entwickeln gilt, ist die Psychoanalyse des *Habens*" (ebd., p. 202).<sup>11</sup> Das Gefühl, etwas haben zu können, verwirrt den Erkenntnisakt. Die Suche nach Stoffen, etwa in der Alchimie, ist daher eine Suche nach dem Wertvollen. Edelsteine, Smaragde und Gold spielten in der Alchimie eine grosse Rolle. Das zog sich weiter in die Heilkunde hinein, in die Pharmazie, wo man glaubte, Krankheiten liessen sich durch wertvolle Substanzen heilen (vgl. ebd., p. 206ff.).

Das substantialistische Denken scheint unterstützt zu werden vom "Mythos der Verdauung". "Bevor das Kind die Dinge kennt, führt es sie zum Munde, um sie zu erkennen" (Bachelard 1984, p. 251).<sup>12</sup> Das Wirkliche ist zunächst einmal eine Nahrung. Das Konzept der Nahrung wurzelt tief im Unbewussten, strukturiert das alltägliche Erkennen und verhindert seine Entwicklung (vgl. Bachelard 1993, p. 57). Nahrung ist etwas, das wir uns nehmen, einverleiben und dadurch *haben*. Bachelard schreibt: "Die Verdauung entspricht in der Tat einer Besitzergreifung, deren Eindeutigkeit ohne Parallele dasteht und deren Gewissheit gänzlich unangreifbar ist. Die Verdauung ist der Ursprung der stärksten Form von Realismus, der gierigsten Habsucht. Sie ist wahrhaft die Funktion der animistischen Habsucht. Der ganze Komplex der Körperwahrnehmung liegt dem Mythos des Inneren zugrunde. Diese 'Verinnerlichung' stützt die Postulierung einer 'Innenwelt'. Der Realist ist ein Esser" (Bachelard 1984, p. 251). Der Magen wird so zur Metapher der Erkenntnis. Denken wir an Piaget und den Begriff der Assimilation. Assimilation ist ein Begriff aus dem Funktionskreis der Verdauung. Im übertragenen Sinn meint er "Einverleibung" von Wirklichkeit in Erkenntnischemata. Für Bachelard ist diese Terminologie von fragwürdigem Wert.

Allerdings schöpften die Alchimisten die Metaphorik der Verdauung anders aus als Piaget. Sie operierten vor allem mit der *Wärme* des Magens (vgl. Bachelard 1984, p. 254f.). Dies ist die zentrale Eigenschaft, um die sich der vorwissenschaftliche Geist endlos dreht: "... die Verdauung ist ein langsames und stetiges Kochen, und damit ist jeder fortgesetzte Kochvorgang ein Verdauungsprozess. Diese Umkehrung muss eingehend betrachtet werden, wenn man die Ausrichtung des animistischen Denkens verstehen will. Es handelt sich hier nicht um eine

<sup>11</sup> Von hier aus liessen sich Fäden zur Charakteranalyse von Erich Fromm ziehen (vgl. z.B. Fromm 1979).

<sup>12</sup> Nicht nur Freud, auch Piaget hat ähnlich argumentiert.



bloße metaphorische Wendung. Im vorwissenschaftlichen Geist glaubt die Chemie tatsächlich zu lernen, wenn sie die Phänomene der Verdauung genauestens untersucht. Und stellt die *Form* des menschlichen Körpers nicht einen wohl geschlossenen Backofen dar? In einem schon etwas alten Text vom Ende des 16. Jahrhunderts teilt uns Alexandre de la Tourette in aller Harmlosigkeit seine Träumerei mit: 'Wir sehen auch, wie jener vortreffliche Alchimist, unser Herrgott, seinen Ofen (den Körper des Menschen) in einer so schönen und tauglichen Gestalt geformt hat, dass daran nichts zu verbessern ist: mit seinen Zuglöchern und Registern, wie Mund, Nase, Ohren und Augen sie bilden, die in diesem Backofen eine linde Hitze und sein kontinuierliches, luftiges, klares und wohl geregeltes Feuer erhalten sollen, damit Er all seine alchimistischen Operationen darin vornehmen kann.' Die Verdauung, sagt ein anderer Autor des 18. Jahrhunderts, ist 'ein kleiner Brand. ... Die Nahrung muss ebenso nach der Aufnahmefähigkeit des Magens proportioniert sein wie das Holz nach der des Herdes'"(ebd., p. 256). Was der Alchimist in der Retorte vollbringt, ähnelt oder ist gleich dem, was im Magen des Menschen vor sich geht. Die Natur mahlt und verdaut (vgl. ebd., p. 260f.). Der Hunger wird zur Inspiration der Erkenntnis. Das Innere, wo die Substanzen sind, ist ein Bauch, den es zu öffnen gilt (vgl. ebd., p. 282).

Der Schritt vom Inneren als Bauch zum Inneren als Gebärmutter ist nicht weit und ermöglicht eine andere Metaphorik, die allerdings wiederum nicht im übertragenen Sinn, sondern realistisch verstanden wird. "Nachts, wenn der Alchimist neben dem Ofen träumt, wenn das Objekt nur noch Wunsch und Hoffnung ist, versammeln sich die Metaphern" (Bachelard 1984, p. 284).<sup>13</sup> Und im Traum sind es nicht zuletzt *sexuelle* Metaphern, die dominieren. Es erstaunt daher nicht, dass die alchimistischen Operationen oft als mehr oder weniger sorgfältig beobachtete Kopulationen beschrieben werden: "'Wenn du siehst, wie die Naturen sich im Glasgefäß vermischen und wie geronnenes und erhitztes Blut werden, dann sei gewiss, dass das Weib die Umarmung des Mannes erfahren ... das königliche Kind also empfangen ist.' 'Dies ist das Gold, das in unserem Werk die Stelle des Mannes einnimmt und das man mit einem anderen, weissen und rohen Gold verbindet, das die Stelle des weiblichen Samens einnimmt, in den der Mann sein Sperma eingibt: beide vereinigen sich mit einem unlösbaren Bande ...'" (ebd., p. 279). Maliziös folgert Bachelard: "Der Fluchtpunkt für das Verständnis der Alchimie ist die Psychologie des Fünfzigjährigen, die Psychologie des Mannes, der zum erstenmal seinen sexuellen Wert bedroht fühlt" (ebd., p. 288).

Die Beispiele zeigen, dass der Körper des Wissenschaftlers ein Erkenntnishindernis abgeben kann.<sup>14</sup> Die Bedürfnisse von Nahrung und Sexualität färben den Erkenntnisprozess und verzerren die nüchterne Analyse des Objektes. "Wie man sieht, ist es erforderlich, den ganzen Menschen mit seiner schweren Last der Abstammung und des Unbewussten, mit seiner ganzen verwirrenden und kontingenten Jugend zu betrachten, wenn man das Ausmass der Hindernisse erfassen will, die sich der objektiven, der gelassenen Erkenntnis entgegenstellen. Aber vergeblich! Die Erzieher arbeiten kaum an der Vermittlung dieser Gelassenheit. Und so führen sie die Schüler auch nicht zur Erkenntnis des Objektes. Sie urteilen mehr, als dass sie lehren. Sie tun

<sup>13</sup> Die Metaphern tragen für Bachelard das "Zeichen des Unbewussten" (vgl. Bachelard 1984, p. 285). Doch heisst es auch: "Die Metapher hat dieselben allgemeinen Eigenschaften wie die Realität. Die Realität kann nicht anders als in der Metapher gedacht und verstanden werden" (Bachelard 1980, p. 92).

<sup>14</sup> Hier gälte es allerdings weiterzudenken und das Verhältnis von Körper und Erkenntnis *dialektischer* zu fassen (vgl. Apel 1985; Fellmann 1991; Johnson 1987; Varela & Thompson 1992).



nichts, um die Angst zu mildern, die jeder Geist vor der Notwendigkeit ergreift, sein eigenes Denken zu korrigieren und aus sich herauszugehen, um die objektive Wahrheit zu finden" (Bachelard 1984, p. 305). Bachelard verweist auf die Erzieher und Lehrer. Denn was in der Geschichte der Wissenschaft ein Erkenntnishindernis war, kann es auch in der Ontogenese des Einzelnen sein. Der Unterricht hätte darauf Rücksicht zu nehmen.

## Feuer und Flamme als Erkenntnishindernis

In der "Bildung des wissenschaftlichen Geistes" untersucht Bachelard Hindernisse der wissenschaftlichen Erkenntnis, die schliesslich *überwunden* worden sind. Aus der Alchimie ist die Chemie entstanden. Das animistische Denken konnte aus der Physik vertrieben werden. Aus dem Kampf zwischen Vorwissenschaft und Wissenschaft im 18. Jahrhundert ist im 19. Jahrhundert die Wissenschaft als Siegerin hervorgegangen. Auch wenn der "neue wissenschaftliche Geist" erst im 20. Jahrhundert auftauchen wird, können doch die Physik und Chemie des 19. Jahrhunderts bereits den Anspruch auf Wissenschaftlichkeit erheben.

Nun gibt Bachelard auch ein Beispiel einer misslungenen Verwissenschaftlichung, nämlich in seinem Buch "Psychoanalyse des Feuers". Das Feuer hat sich der wissenschaftlichen Analyse gegenüber als resistent erwiesen. Die objektive Haltung liess sich nie realisieren, der Reiz der ersten Begegnung mit dem Feuer ist so übermächtig, dass er "... selbst die geradlinigsten Geister auf Abwege führt und sie immer wieder in den Schoss der Poesie zurückträgt, wo Träumerei an die Stelle des Denkens tritt und Poeme die Theoreme überlagern" (Bachelard 1985, p. 6). Das Feuer ist praktisch völlig ins Reich der Poesie eingetreten. "Die Flamme ist ... eine poetisierende Substanz" (Bachelard 1988b, p. 66). Sie ist ein Objekt der Dichtung, keines der Wissenschaft. "Die heutige Wissenschaft hat sich fast vollständig von dem wahrhaft grundlegenden Problem abgewandt, das das Phänomen des Feuers der naiven Seele aufgibt. In den Chemiebüchern wurden im Laufe der Zeit die Kapitel über das Feuer immer knapper. Und in vielen modernen Chemiebüchern suchte man gar vergeblich nach einer Untersuchung über das Feuer oder über die Flamme. *Das Feuer ist kein wissenschaftliches Objekt mehr*" (Bachelard 1985, p. 6). Doch das Feuer ist nicht allein. "Es wäre nicht schwierig, auch für das Wasser, die Luft, die Erde, das Salz, den Wein und das Blut das gleiche zu tun" (ebd., p. 11), was Bachelard am Beispiel des Feuers aufzeigt.

Tatsächlich sind es diese *konkreten* Phänomene, die den wissenschaftlichen Geist blenden. Noch im 18. Jahrhundert experimentierte man direkt mit solchen alltäglichen Stoffen. 1788 destillierte Lavoisier neben kalziniertem Eisensulfat "... auch Wachs, Öl, Elfenbein, Stärke und Fleisch" (Bachelard 1984, p. 227). Selbst zu Beginn des 19. Jahrhunderts glaubte man noch, in diesen konkreten Stoffen das Objekt der Chemie vor sich zu haben. Gegenstand der Wissenschaft war dasjenige, was faszinierte. Und dazu gehörten Feuer, Blut und Erde. Alle diese Phänomene verschwanden jedoch als Gegenstand der Erkenntnis, sobald die Wissenschaft geboren wurde. Sie wanderten in die Domäne der Poesie ab.

Das Feuer ist von einer fundamentalen Ambivalenz gekennzeichnet. "Unter allen Phänomenen ist das Feuer wahrhaft das einzige, dem sich mit der gleichen Bestimmtheit die beiden entgegengesetzten Werte zusprechen lassen: das Gute und das Böse. Es erstrahlt im Paradies. Es brennt in der Hölle. Es ist Labsal und Qual. Es ist das Feuer des Herdes und der Brand der Apokalypse" (Bachelard 1985, p. 13). Das Feuer provoziert die Kontemplation, das Nachsinnen in Ver-



sunkenheit. "Für den Menschen war ohne Zweifel das von einem Herd umschlossene Feuer der erste Gegenstand der Träumerei, das Symbol der Ruhe, die Einladung zur Rast. Eine Philosophie der Ruhe lässt sich schwerlich vorstellen ohne Träumerei vor einem flackernden Holzfeuer. Vor dem Feuer nicht in Träumerei zu verfallen, heisst für uns daher, die wahrhaft menschliche und ursprüngliche Bedeutung des Feuers zu vergessen. Zweifellos wirkt das Feuer wärmend und belebend. Aber dieser Erquickung wird man sich erst in einer langen Kontemplation bewusst; man wird der Wohltat des Feuers nur inne, wenn man die Ellbogen auf die Knie aufstützt und den Kopf in die Hände legt. Diese Haltung ist uralte. Das Kind nimmt sie am Feuer ganz von selbst ein. Und nicht umsonst ist sie die Haltung des Denkers. Sie beinhaltet eine ganz besondere Aufmerksamkeit, die nichts gemein hat mit der Wachsamkeit des Wächters oder des Beobachters. Sie ist nur sehr selten bei einer anderen Kontemplation anzutreffen. Am Feuer muss man sich hinsetzen, muss man sich ausruhen, ohne einzuschlafen, muss man die Träumerei der spezifischen Situation akzeptieren" (ebd., p. 22f.).<sup>15</sup>

So erzeugt das Feuer Ehrfurcht und Gefühle des Glücks. Das Feuer steht auch in Beziehung zur Sexualität. Die Wärme des Feuers legt seine Sexualisierung nahe. Das Feuer der Liebe, die Flamme der Lust werden geradezu zu Erklärungen für die Herkunft des Feuers. "Wenn die Eroberung des Feuers ursprünglich eine sexuelle 'Eroberung' ist, nimmt es nicht wunder, dass das Feuer so lange und so stark sexualisiert blieb. Es handelt sich hier um eine Besetzung, die die objektiven Untersuchungen über das Feuer zutiefst verunklärt" (Bachelard 1985, p. 58). Die Sexualisierung des Feuers lässt es mit Leben in Verbindung bringen. Das Feuer ist Leben, oder das Leben ist Feuer (vgl. ebd., p. 62). Damit wird ein enormes Hindernis für die nüchterne Analyse des Feuers errichtet.

Umgekehrt wird vom Verständnis des Feuers die Möglichkeit ewigen Lebens erhofft. Und auch dafür gibt es in der Alchimie Beispiele. Bachelard meint, "... dass eine grenzenlose sexuelle Träumerei, eine Phantasie von Reichtum und ewiger Jugend, ein Traum von Allmacht die ganze Alchimie durchzieht. Nunmehr möchten wir beweisen, dass diese *sexuelle Träumerei* eine Träumerei vom brennenden Herd ist. Man könnte sogar sagen, dass die Alchimie schlicht und einfach die sexuellen Merkmale der Träumerei vom brennenden Herd in die Wirklichkeit umsetzt. Sie ist keineswegs eine Beschreibung der objektiven Phänomene, sondern vielmehr der Versuch einer Einschreibung der menschlichen Liebe in das Herz der Dinge" (Bachelard 1985, p. 69). Die Öfen und Retorten der Alchimisten entpuppen sich als Sexualorgane. Die verborgene Substanz, nach der sie suchen, ist analog den verborgenen Geschlechtsorganen der Frau. "Vom Standpunkt der Wärmeerzeugung ist die Trennung nach Geschlechtern deutlich komplementär. Das weibliche Prinzip der Dinge ist ein Prinzip der Oberfläche und der Hülle, der beschützenden Zuflucht und Geborgenheit. Das männliche Prinzip ist ein Prinzip des Zentrums, des Machtzentrums, es ist aktiv und spontan wie der Funke und der Wille. Die weibliche Wärme greift die Dinge von aussen an, das männliche Feuer hat seinen Ansatzpunkt immer im Zentrum der Substanz. Dies ist der tiefe Sinn der alchimistischen Träumerei. Um diese Sexualisierung des alchimistischen Feuers und die deutliche Besetzung des im Samen wirkenden männlichen Feuers zu verstehen, darf man nicht vergessen, dass die Alchimie ausschliesslich eine Männerwissenschaft ist, eine Domäne von Junggesellen, von Männern ohne

<sup>15</sup> Bezeichnenderweise entwickelte Descartes seinen hyperbolischen Zweifel an allem, was existiert, während er meditierend *am Ofen sass* (vgl. Descartes 1976, p. 38). Ein Ofen, der zur damaligen Zeit eine Feuerstelle gewesen sein dürfte.



Frau, die sich aus der Gemeinschaft der Menschen in einen Männerbund von Eingeweihten zurückgezogen haben. Die Alchimie ist nicht unmittelbar den Einflüssen weiblicher Träumerei ausgesetzt. Ihre Theorie des Feuers ist also stark geprägt durch unbefriedigte Wünsche" (ebd., p. 71f.). Der Alchimist will die Körper öffnen. "Diese 'Öffnung' der Körper, diese Besitzergreifung der Körper von innen her, diese *totale* Besitzergreifung ist zuweilen ein offenkundiger Geschlechtsakt. Er vollzieht sich, wie gewisse Alchimisten sagen, mit der Rute des Feuers" (ebd., p. 72).

Bachelard glaubt, das Feuer sei der erste Gegenstand, "... das *erste Phänomen*, über das der menschliche Geist *reflektierte*. Für den prähistorischen Menschen verdient allein das Feuer das Begehren nach Erkenntnis, denn dieses Begehren geht einher mit dem Wunsch nach Liebe. Man hat zweifellos oft wiederholt, die Eroberung des Feuers habe den Menschen endgültig vom Tier geschieden, aber man hat vielleicht nicht erkannt, dass sich der Geist in seinen Anfängen, mit seiner Poesie und seiner Wissenschaft, an der Meditation über das Feuer entwickelt hat" (Bachelard 1985, p. 75). Das erste Phänomen, das die Aufmerksamkeit des Menschen auf sich lenkte, war das "Pyromen" (vgl. ebd., p. 78). Weil dieses Pyromen so sehr mit menschlichen Bedürfnissen durchsetzt ist, widersetzt es sich der wissenschaftlichen Analyse. Das Feuer ist im vorwissenschaftlichen Geist steckengeblieben. "Durch die naiven Vorstellungen, die man sich von ihm macht, liefert es insbesondere ein Beispiel für das *substantialistische Hindernis* und für das *animistische Hindernis*, die beide das wissenschaftliche Denken hemmen" (ebd., p. 82). Das Feuer wird substantialisiert und personifiziert. "Die Vorstellung, das Feuer *ernähre* sich wie ein lebendes Wesen, nimmt unter den Meinungen, die sich unser Unbewusstes über das Feuer bildet, vielleicht den grössten Platz ein. Für einen modernen Geist ist der Ausdruck 'einem Feuer Nahrung geben' nurmehr ein plattes Synonym für 'ein Feuer unterhalten'. Aber die Worte beherrschen uns mehr, als wir meinen, und wenn uns das alte Wort über die Lippen kommt, kommt uns auch zuweilen das alte Bild in den Sinn" (ebd., p. 86).

Wir belasten die objektive Erklärung mit den falschen Klarheiten der körperlichen Erfahrung des Verdauungsvorganges. Die Verdauung wird zum Hindernis, das der Erklärung materieller Phänomene im Weg steht. Man muss den "Menschen nach dem Mahl" einer Psychoanalyse unterziehen, um zu wichtigen affektiven Elementen im Verständnis der Psychologie der realistischen Evidenz zu gelangen (vgl. Bachelard 1985, p. 99). "Ohne Umschweife können wir ... verdauungsbezogene Körperwahrnehmungen als Quelle fundamentaler philosophischer Anschauungen ansetzen" (ebd., p. 100). Aber natürlich sind es irrtümliche Anschauungen. Irrtümlich ist auch die Vorstellung vom Feuer als Medium der Läuterung, wie sie etwa in der Idee des Fegefeuers zum Ausdruck kommt. Das Feuer soll das Unreine eliminieren, das Böse vernichten, das Unkraut vertilgen und die Erde düngen (vgl. ebd., p. 136). Die höchste Idealisierung des Feuers schliesslich ergibt sich aus seiner Verbindung mit dem Licht (vgl. ebd., p. 139).

## Der neue wissenschaftliche Geist

Wie wir gesehen haben, unterscheidet Bachelard drei Stufen der Wissenschaftsentwicklung: Vorwissenschaft - Wissenschaft - neue Wissenschaft. Wir haben bisher die Bildung des wissenschaftlichen Geistes diskutiert, also den Übergang von der Vorwissenschaft zur Wissenschaft, eingeschlossen ein Beispiel für das Misslingen dieses Übergangs, nämlich das Feuer.



Wie stellt sich nun der Übergang zum "neuen wissenschaftlichen Geist" dar, ein Übergang, in dem Bachelard erst die Wissenschaft im strengen Sinn im Entstehen begriffen sieht?

Im wesentlichen, so lässt sich sagen, tritt in der neuen Wissenschaft die Wirklichkeit einen weiteren Schritt zurück. Die Fülle der Phänomene verschwindet praktisch endgültig. "Das zeitgenössische wissenschaftliche Denken beginnt ... mit einer *epochalen Wende*, mit einem Ausklammern der Wirklichkeit" (Bachelard 1980, p. 47). Die wissenschaftliche Erfahrung ist bestätigte Vernunft (vgl. Bachelard 1988a, p. 11). Zwar gründete auch Descartes die Wissenschaft in der Vernunft. Doch der neue wissenschaftliche Geist ist nicht mehr der cartesianische.

Descartes verlangte vom Wissenschaftler, auf die einfachsten, aber evidentesten Ideen zurückzugehen. Von dort aus sollte das System der Erkenntnis aufgebaut werden. Solche einfachen, evidenten Ideen sind im Bereich der Geometrie die Parallelität zweier Geraden und in der Physik die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse oder auch die Materialität eines Gegenstandes. Es sind dies alles *anschaulich* erfasste Evidenzen. Die moderne Physik ist nun dadurch ausgezeichnet, dass sie diese Evidenzen in Frage stellt. Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts glaubte man, dass Parallelen *existieren*; die gewöhnliche Erfahrung rechtfertigte diese Vorstellung (vgl. Bachelard 1988a, p. 26). Genauso war man überzeugt von der Materialität der Wirklichkeit. Der Begriff der Masse bezog sich auf eine evidente Vorstellung von konkret fassbarer Materie (vgl. ebd., p. 49). Die moderne Physik löst diesen Konkretismus auf. Der Philosoph, der die Lehren der Relativitätstheorie anerkennt, bekommt eine *neue Wirklichkeit* in den Blick (vgl. Bachelard 1955, p. 415). In der Mikrophysik gibt es nicht mehr Gegenstände, mit denen etwas geschieht. Beim elementaren Objekt der Mikrophysik handelt es sich nicht mehr um feste Körper (vgl. Bachelard 1988a, p. 42). Ding und Prozess fallen zusammen.<sup>16</sup> Ein Photon beispielsweise ist "als solches" nicht existent. Es ist Ding-und-Bewegung bzw. Ding-in-Bewegung (vgl. ebd., p. 65). Die Materie ist fließend. Nur noch die Objekte der alltäglichen Erkenntnis "... können *in Ruhe* existieren, sanft und träge im Raum" (Bachelard 1993, p. 65).

Die Vorstellung einer verharrenden, mit sich gleich bleibenden Substanz löst sich auf. Unter dem Sein zeichnet sich ein *Werden* ab (vgl. Bachelard 1980, p. 82). Materie und Energie sind ineinander überführbar; die Energie ist Teil der Substanz; Substanz und Energie sind gleicher Seinsstufe. "Die Energie ist genauso *real* wie die Substanz und *die Substanz ist nicht realer als die Energie*. Über das Zwischenglied Energie drückt die Zeit der Substanz ihr Gepräge auf. Die frühere Vorstellung von einer per definitionem von der Zeit unabhängigen Substanz lässt sich nicht beibehalten" (ebd.). Wir können "... nicht mehr sagen, die Materie sei an ihrer Energie erkennbar wie die Substanz an ihrem Phänomen, und auch nicht, die Materie *habe* Energie; auf der Seinsebene muss es vielmehr heissen: die Materie *ist* Energie, und umgekehrt: Energie *ist* Materie. Diesem Ersatz des Verbs *haben* durch das Verb *sein* werden wir in der neuen Wissenschaft noch häufiger begegnen" (Bachelard 1988a, p. 68f.). Die Forschungen der neuen Physik führen "... zu einer *Entmaterialisierung des Materialismus*" (ebd., p. 70). Das Atom ist Werden und Sein; es ist Bewegung und Ding.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Hier liesse sich auf die Arbeiten von Whitehead (1984a, 1984b) verweisen.

<sup>17</sup> In der Terminologie von Jonas (1973) verwandelt sich das Zugrundeliegende von der Substanz zum *Substrat*.



Damit wird auch die traditionelle Logik erschüttert. Denn die aristotelische Logik passt auf eine Welt der Substanzen und des Raumes.<sup>18</sup> "Das stabilisierbare Objekt, das unbewegliche Objekt, das Ding in Ruhestellung bildeten den Untersuchungsbereich der aristotelischen Logik. Vor dem menschlichen Denken zeichnen sich nun andere Objekte ab, die, was sie betrifft, nicht stabilisierbar sind, die in Ruhestellung keine Eigenschaft und folglich keine begriffliche Bestimmung hätten. Es ist also wohl nötig, in irgendeiner Weise das Spiel der logischen Werte zu modifizieren, kurzum, es ist unerlässlich, so viele Logiken aufzustellen, wie es Arten von beliebigen Objekten gibt" (Bachelard 1980, p. 129). Was wir benötigen, ist eine nicht-aristotelische Logik.

In der Mikrophysik bildete sich der neue wissenschaftliche Geist heraus. Hier versagt die gemeine Anschauung hinsichtlich ihrer analytischen Möglichkeiten. Es versagt aber auch unsere Sprache. Unsere Alltagssprache ist auf unsere Lebenswelt beschränkt. Es ist eine materialistische Sprache, die uns glauben macht, die Natur eines Stoffes wurzle in einer ruhigen, gegen die Zeit gleichgültigen Materie (Substanz). Wir denken in Dingen und Attributen, während die Welt der mikrophysikalischen Ereignisse nicht substantiell ist. Die Teilchen der Mikrophysik kennen keine absolute Permanenz, sie erweisen sich nicht als die (beständigen) Träger ihrer Attribute (vgl. Bachelard 1988a, p. 88).<sup>19</sup>

Bachelard geht noch einen Schritt weiter und postuliert die Existenz einer *objektiven Unbestimmtheit* der Realität (vgl. Schöffel 1987, p. 253). Der Konstruktivismus ist auf eine Ambiguität verwiesen, durch die sich die objektive Wirklichkeit auszeichnet. Die primäre Realität ist stets unsauber und gestaltlos (vgl. Bachelard 1984, p. 42). Wegen dieser Unbestimmtheit kann der Wissenschaftler (allgemein: der Mensch) Bestimmungen ins Sein einführen. Er kann Seien-des konstituieren.<sup>20</sup> Allerdings kann er dies nicht beliebig, denn das Sein leistet Widerstand.

Der naive Realismus, der für unser Alltagsleben charakteristisch ist, verliert seine Überzeugung im Bereich der modernen Physik. "Den Phänomenen der Mikrophysik mangelt es an *realistischem Appeal*" (Bachelard 1988a, p. 97). Was wir beobachten, ist weniger real als das Ergebnis einer *Realisierung*. Es ist hier, im Bereich der Mikrophysik, wo Bachelard seinen Begriff der Realisierung verankert. Was der Physiker erkennt, ist das Resultat einer experimentellen Verwirklichung. "Generell muss man sich im klaren sein, dass es in jedem Falle, ob es sich nun um Photonen, um Elektronen oder um Atome handelt, besser ist, von Realisierung zu sprechen als von Realität" (ebd., p. 96). Die Realisierung korrespondiert einem technischen Realismus und gehört zu den Eigentümlichkeiten des heutigen wissenschaftlichen Denkens.

<sup>18</sup> "Vor allem aber scheint der Raum das Grundmodell für die Entwicklung der Logik zu sein" (Luhmann 1985, p. 525, Anm. 54).

<sup>19</sup> Klagen über die Unzulänglichkeit unserer Sprache, die mit ihrer "subjektivistischen Satzform" (vgl. Dux 1982, p. 98ff.) zu irreführenden Abstraktionen verleitet, sind auch aus anderen Disziplinen, beispielsweise der Soziologie, bekannt. So meint Elias, unsere Sprach- und Denkmittel seien "... in hohem Masse so geformt, als ob alles ausserhalb des Einzelmenschen den Charakter von 'Objekten' und überdies gewöhnlich noch von ruhenden Objekten habe. Begriffe wie 'Familie' oder 'Schule' beziehen sich ganz offensichtlich auf Geflechte von Menschen. Aber der herkömmliche Typ unserer Wort- und Begriffsbildung lässt es so erscheinen, als ob es sich um Gegenstände, um Objekte von der gleichen Art handele, wie Felsen, Bäume oder Häuser" (Elias 1971, p. 9). Unsere Sprachmittel sind verdinglichend. So auch Luhmann: "Es gehört zu den schlimmsten Eigenschaften unserer Sprache ..., die Prädikation auf Satzsubjekte zu erzwingen und so die Vorstellung zu suggerieren und schliesslich die alte Denkgewohnheit immer wieder einzuschleifen, dass es um 'Dinge' gehe, denen irgendwelche Eigenschaften, Beziehungen, Aktivitäten oder Betroffenheiten zugeschrieben werden. Das Dingschema ... bietet aber nur eine vereinfachte Version der Sachdimension" (Luhmann 1985, p. 115).

<sup>20</sup> Vgl. Dürr (1988) für einen neueren Beleg für diese These.



"Nachdem die geistige Aktivität der modernen Wissenschaft in den ersten Anstrengungen des wissenschaftlichen Geistes eine Vernunft nach dem Bilde der Welt geschaffen hat, macht sie sich daran, eine Welt nach dem Bilde der Vernunft zu konstruieren. Die wissenschaftliche Tätigkeit realisiert im buchstäblichen Sinne rationale Gebilde" (ebd., p. 18f.).

## Wissenschaftsphilosophisches Resümee

Versuchen wir, die zentralen Punkte des Wissenschaftsverständnisses von Gaston Bachelard zu resümieren. Zunächst einmal betont Bachelard die *Negativität* des Erkenntnisprozesses. Darauf verweist sehr schön einer seiner Buchtitel: "Die Philosophie des Nein". Der Wissenschaftler muss "nein" sagen können. Wie Popper sieht Bachelard in der Kritik den Wesenskern der wissenschaftlichen Methode. Und er wendet sich dagegen, den wissenschaftlichen Geist im Schein der Positivität ruhen zu lassen: "Es kommt eine Zeit, wo der Geist mehr schätzt, was sein Wissen bestätigt, als was ihm widerspricht, wo er die Antworten den Fragen vorzieht. Dann hat der Bewahrungsinstinkt die Oberhand, das geistige Wachstum kommt zum Stillstand" (Bachelard 1984, p. 48). Überall, wo wir nicht in Frage stellen, besteht die Gefahr, dass sich ein Erkenntnishindernis einnistet, denn ein wissenschaftlicher Gedanke ist eine bewältigte Schwierigkeit, ein überwundenes Hindernis, ein korrigierter Irrtum.

In der Geschichte der Wissenschaften setzen sich nicht die Tatsachen gegenüber den Ideen und Theorien durch, wie dies zumeist dargestellt wird. Fortschritt ist vielmehr Verneinung alter Ideen durch neue (vgl. Bachelard 1984, p. 91). Der Irrtum ist der Motor der wissenschaftlichen Entwicklung. "Psychologisch gibt es keine Wahrheit ohne korrigierte Irrtümer. Eine Psychologie der Objektivität ist eine Geschichte unserer persönlichen Irrtümer" (ebd., p. 344). Da ein objektives Vorgehen ohne das Bewusstsein eines anfänglichen Irrtums nicht möglich ist, müssen wir die Ausbildung zur Objektivität mit einem Bekenntnis unserer intellektuellen Fehler beginnen: "... wiederholen wir vor uns stets und mit Blick auf das geistige Leben: Irrtum, du bist kein Übel" (ebd., p. 349).

Der wissenschaftliche Geist urteilt über seine Vergangenheit, indem er sie verurteilt. "Seine Struktur ist das Bewusstsein der eigenen historischen Irrtümer" (Bachelard 1988a, p. 171). Das geistige Leben der Wissenschaft bewegt sich dialektisch an der Grenze zwischen dem Wissen und dem Nichtwissen.

Ein zweiter Punkt steht dem ersten nahe. Er betrifft die Auslösung wissenschaftlicher Erneuerungen. Ähnlich wie der Wissenschaftler einer alten Theorie gegenüber "nein" sagen muss, sagt die Wirklichkeit seinen Theorien gegenüber "nein". Bachelard argumentiert auch hier ähnlich wie Popper. Es sind die *Widerstände*, auf die unsere Theorien stossen, die uns veranlassen, sie zu modifizieren (vgl. Bachelard 1984, p. 345f.). Die Hindernisse der Erkenntnis werden überwunden, weil sie uns quasi im Wege stehen. Bachelard spricht vom "Widerstand der Erkenntnishindernisse" (ebd., p. 270).

Ein dritter Punkt betrifft das Verhältnis von Rationalismus und Empirismus. Auch diesbezüglich steht Bachelard Popper erneut relativ nahe. Primär sind unsere Theorien. Wir erkennen im Lichte von Theorien. Für den wissenschaftlichen Geist ist "... jede Erfahrung ein Moment des theoretischen Denkens ..., ein *vorbereitetes* Resultat" (Bachelard 1984, p. 164). In diesem Sinne sind auch unsere Messinstrumente theoretischer Natur. Instrumente sind "... nichts an-



deres als materialisierte Theorien" (Bachelard 1988a, p. 18). "Ein Messinstrument ist letztlich immer eine Theorie, und man muss begreifen, dass das Mikroskop mehr eine Verlängerung des Geistes ist als des Auges" (Bachelard 1984, p. 348). Bachelard scheint jedoch nicht so weit zu gehen wie Popper, der die Induktion zurückweist. Jedoch sind seine Äusserungen diesbezüglich nicht explizit.

Ein vierter Punkt betrifft die Wurzeln des Irrtums. Wir irren uns, weil wir zu nah am Objekt sind oder - umgekehrt - weil wir eine zu grosse Distanz zum Objekt haben. Sind wir zu nahe, nehmen unsere Bedürfnisse, Wünsche und Gefühle überhand. Das Bedürfnis, den Gegenstand zu fühlen, der Hunger nach dem Objekt, die unbestimmte Neugier - sie entsprechen noch in keiner Weise einem Zustand wissenschaftlichen Geistes (vgl. Bachelard 1984, p. 345). So steht die alchemistische Mentalität "... in unmittelbarer Verbindung mit Träumerei und Träumen: sie vermischt die objektiven Bilder mit den subjektiven Wünschen" (ebd., p. 276). "Die Seele des Alchimisten ist in seinem Werk beteiligt ..." (ebd., p. 278). Wissenschaft erfordert *Distanz*. Wie Norbert Elias (1983), der von einem Spannungsverhältnis zwischen "Engagement und Distanzierung" spricht, sieht Bachelard in der aktiven Beteiligung am Geschehen der Natur ein Hindernis für deren Erkenntnis. "Das objektive Denken muss sich hüten vor kindlichem Staunen, es braucht ironische Distanz" (Bachelard 1985, p. 5). Der Wissenschaftler muss sich über sich selbst lustig machen können. "Ohne diese selbstkritische Ironie ist kein Fortschritt objektiver Erkenntnis möglich" (ebd., p. 12).

Da der Irrtum nicht nur kognitiv verwurzelt ist, sondern bis in die Bedürfnisse und Gefühle des vorwissenschaftlichen Menschen hineinreicht, ergibt sich als fünfter Punkt eine umfassende Perspektive auf das erkennende Subjekt. Mit der psychologischen Orientierung seines Ansatzes wird bei Bachelard etwas fassbar, was bei Popper und dessen Beschränkung auf die "Logik der Forschung" nicht sichtbar wird, nämlich die *affektive* Seite des Erkenntnisprozesses. Jede wissenschaftliche Bildung muss "... mit einer intellektuellen *und* affektiven Katharsis beginnen" (Bachelard 1984, p. 53 - meine Hervorhebung, W.H.).

Bachelard ertappt das erkennende Subjekt bei seinen Träumen über die Welt, und er nimmt diese Träume ernst. Sie sind ihm nicht "blosse" Psychologie. Die Einbildungskraft, die Phantasie, ist die treibende Kraft der psychischen Produktion. "Psychisch werden wir durch unsere Träumerei erschaffen" (Bachelard 1985, p. 143). Deshalb bedarf das erkennende Subjekt einer Psychoanalyse. Denn in der Wissenschaft sollen wir denken und nicht träumen. Das Umgekehrte mag für die Poesie gelten: der Dichter ist ein Träumer.

Ein sechster Punkt betrifft die *Diskontinuität* zwischen vorwissenschaftlichem und wissenschaftlichem Geist. Was die Retorte der Alchimisten anbelangt, meint Bachelard, "... dass zwischen der vulgären und der wissenschaftlichen Verwendung des Destillierkolbens eher ein Bruch als Kontinuität besteht" (Bachelard 1984, p. 186). Aufs Ganze gesehen, müssen wir "... einen wirklichen Bruch zwischen der sinnlichen und der wissenschaftlichen Erkenntnis hinnehmen" (ebd., p. 345). Dieser Bruch zwischen Vorwissenschaft und Wissenschaft gilt auch später, in modifizierter Form, innerhalb der Wissenschaft. "Die Wachstumskrisen des Denkens bringen eine vollständige Umwälzung des Wissenssystems mit sich. Der kluge Kopf muss umgemodelt werden. Er erfährt einen Artwechsel" (ebd., p. 49). Wie später Thomas Kuhn spricht Bachelard von "Revolution(en) in der Gemeinschaft der Wissenschaftler" (ebd., p. 157). Die Wissenschaft schreitet nicht kontinuierlich voran, sondern ihr Weg führt über erkenntnistheore-



tische Brüche. "Unterzieht man die epistemologischen Beziehungen zwischen der heutigen Physik und der newtonschen Wissenschaft einer allgemeinen Betrachtung, so sieht man, dass es keine 'Entwicklung' von den alten zu den neuen Lehren gegeben hat, sondern gleichsam eine 'Entwicklung' des alten Denkens durch das neue. Die Geistesgenerationen folgen einander wie Kästen, die andere Kästen umschliessen" (Bachelard 1988a, p. 61). Alle "fruchtbaren Revolutionen des wissenschaftlichen Denkens" sind Krisen (vgl. ebd., p. 134). Es gibt daher keine fundamentalen Denkmethoden, die ein für alle Mal gültig wären (vgl. ebd., p. 137). Die Vernunft selbst unterliegt der Veränderung.<sup>21</sup> Die Lehre von der absoluten und unveränderlichen Vernunft " ... stellt nur eine Philosophie dar, und diese Philosophie ist überholt" (Bachelard 1980, p. 165).

Ein siebter Punkt betrifft das Konzept der *Realisierung*. Erkenntnis ist nicht Abbildung einer an sich seienden Wirklichkeit. Erkenntnis ist Verwirklichung. Die Wissenschaft verwirklicht ihre Objekte, " ... ohne sie jemals ganz fertig vorzufinden" (Bachelard 1984, p. 111). Bachelard betont die aktive Rolle des Erkenntnissubjekts. Ähnlich wie Kant schreibt er: "Man muss die Natur zwingen, genauso weit zu gehen wie unser Geist" (Bachelard 1980, p. 50). Die Arbeit des Verstandes ist "Konstruktionstätigkeit" (vgl. Bachelard 1988a, p. 11). Das gilt im übrigen auch für die Technik. Die Menschen wurden fähig, ein Flugzeug zu bauen, als sie aufhörten, den Vogelflug zu imitieren. Und die Nähmaschine wurde erfunden, als man davon abkam, die Geste der Näherin nachzuahmen (vgl. Bachelard 1993, p. 124).

Ein achter Punkt schliesslich betrifft die *soziale Dimension* der Erkenntnis. Anders als Popper bekennt sich Bachelard ausdrücklich zur Sozialität des Erkenntnisprozesses. Er spricht vom "physikalischen Gemeinwesen" (vgl. Bachelard 1993, p. 123, 128, 132) und vom "wissenschaftlichen Gemeinwesen" (vgl. ebd., p. 140). Seine Epistemologie "... entfaltet sich jenseits des Subjekt-Objekt-Schematismus, der die Einsicht in die *Diskursivität* aller Erkenntnisprozesse, der 'alltäglichen' wie der wissenschaftlichen, versperrt" (Balke 1993, p. 239). Die Gegenstandserkenntnis bedarf der Kontrolle durch den anderen (vgl. Bachelard 1984, p. 347f.). Die Objektivität ist auf das soziale Verhalten zu gründen. Das Auge des anderen ist dazu auserkoren, "... die Form ... der objektiven Erscheinung zu sehen: sage mir, was du siehst, und ich sage dir, was es ist" (ebd., p. 346). Die Konstruktion des Gegenstandes ist erst abgeschlossen, wenn sie der Kontrolle durch den anderen unterworfen worden ist. "... erst in der Masse, in der eine Wissenschaft sozial wird, d.h. leicht zu vermitteln ist, gewinnt sie ihre objektiven Grundlagen" (ebd., p. 351). Was in der Wissenschaft zutage tritt, ist "sozial konstituiert" (vgl. Bachelard 1993, p. 123). Dabei ist der andere nicht einfach einer, der sprachlos die eigene Theorie zu falsifizieren versucht, sondern ein Kommunikationspartner. "Die Wahrheit ist die Tochter der Diskussion ..." (Bachelard 1980, p. 153). Die "diskursive Korrektur" ist die "fundamentale Vorgehensweise der objektiven Erkenntnis" (Bachelard 1984, p. 349). "Die Objektivität vermag sich nicht von den sozialen Aspekten des Beweises loszumachen" (Bachelard 1988a, p. 17).

Bachelard argumentiert *gegen Descartes*. Er deckt die psychologischen Motive des Cartesianismus auf. In der Unmittelbarkeit liegt nicht die Chance der Erkenntnis, sondern ein Erkenntnishindernis. Descartes wollte Evidenz im unmittelbar Gegebenen. Bachelard sieht darin die Mentalität des Geizhalses. Die unmittelbare Erkenntnis ist ihrem Prinzip nach subjektiv. "Indem sie

<sup>21</sup> So sehen es auch Feyerabend (1976, 1989) und Hübner (1986).



die Realität als ihren Besitz betrachtet, vermittelt sie voreilige Gewissheiten, die die objektive Erkenntnis eher hindern als fördern" (Bachelard 1984, p. 306).

Descartes ging vom Gegebenen aus, weil er Gewissheit haben wollte. Gewissheit aber gibt es in der Wissenschaft nicht. Bachelard will die Haltung des offenen Zweifels an der Vergangenheit sicheren Wissens bewahren und damit über den Cartesianismus hinausgehen (vgl. Bachelard 1988a, p. 163). Die wissenschaftliche Methode ist ein Verfahren, welches das Risiko sucht. "Der Zweifel steht vor ihr und nicht hinter ihr wie im cartesianischen Leben" (Bachelard 1993, p. 146). Das wissenschaftliche Denken setzt unaufhörlich seine eigene Konstitution aufs Spiel. In dieser Haltung glaubt sich Bachelard durch seine Analyse der modernen Physik bestärkt. Auch die moderne Physik führt vom Cartesianismus weg. "Ganz generell ist das Einfache stets das Vereinfachte; man kann es korrekt nur denken, soweit es als Produkt eines Vereinfachungsverfahrens erscheint" (Bachelard 1988a, p. 138).

Das Einfache kann nicht Ausgangspunkt der Erkenntnis sein. "Während die Naturwissenschaft Descartes'scher Prägung sehr logisch aus Einfachem Komplexes machte, versucht das heutige wissenschaftliche Denken, das komplexe Reale hinter der einfachen Erscheinungsform zu erkennen ..." (Bachelard 1988a, p. 138f.). Die moderne Physik ist weniger analytisch als synthetisch, wobei "... der Geist der Synthese, der die moderne Wissenschaft beseelt, eine ganz andere Tiefe und eine grössere Freiheit besitzt als die cartesische *Zusammensetzung*. ... Die Synthese im Bereich der Physik findet ihre Stütze in der metaphysischen Synthese von Ding und Bewegung. Und sie stellt eines der am schwersten zu formulierenden synthetischen Urteile dar, denn dieses Urteil widerspricht aufs entschiedenste den analytischen Gewohnheiten der üblichen Erfahrung, welche die Phänomene ganz selbstverständlich auf zwei Bereiche verteilt: auf den des statischen Phänomens (Ding) und den des dynamischen Phänomens (Bewegung). Wir müssen dem Phänomen all seine Bezüge zurückgeben, und zuallererst müssen wir mit dem Konzept der *Ruhe* brechen. In der Mikrophysik ist es absurd, sich Materie in Ruhe vorzustellen, da sie für uns nur als Energie existiert und uns Botschaften allein in Form von Strahlung zukommen lässt" (ebd., p. 22f., 140). Die Formulierungen Bachelards weisen voraus auf das Paradigma der Selbstorganisation.

Bachelard lehnt die cartesianische Vorstellung der Gegebenheit einfacher und absoluter Wesenheiten ab. Die Anschauung ist nicht die Basis der Erkenntnis. Sie ist nichts Ursprüngliches. "Von nun an geht jede Anschauung von einer Wahlentscheidung aus; daraus ergibt sich eine fundamentale Mehrdeutigkeit an der Basis wissenschaftlicher Beschreibung, und die Unmittelbarkeit der cartesischen Evidenz verflüchtigt sich. Descartes glaubt nicht allein an die Existenz absoluter Elemente in der objektiven Welt, er ist darüber hinaus der Auffassung, diese absoluten Elemente seien in ihrer Totalität und unmittelbar bekannt. Auf der Ebene dieser Elemente ist die Evidenz am klarsten. Und die Evidenz ist vollständig, weil die einfachen Elemente unteilbar sind. Wir sehen sie ganz, weil wir sie getrennt sehen. So wie die klare und distinkte Idee über jeden Zweifel erhaben ist, so ist die Natur des einfachen Objekts vollkommen losgelöst von jeglicher Beziehung zu anderen Objekten" (Bachelard 1988a, p. 141). Doch genau dieses Weltbild stellt die moderne Physik in Frage. "In Wirklichkeit gibt es keine einfachen Phänomene; das Phänomen ist ein Geflecht von Beziehungen. Es gibt keine einfachen *Wesenheiten*, keine einfachen Substanzen; die Substanz ist ein Gewebe aus Attributen" (ebd., p. 147). An die



Stelle der Substanz tritt die Beziehung, an die Stelle des Seins die Relation. "Nicht das Sein erhellt die Beziehung, die Beziehung erhellt das Sein" (ebd., p. 143).

## Didaktische Konsequenzen

Soweit die Darstellung der Wissenschaftsphilosophie von Gaston Bachelard. Im folgenden soll die Bedeutung der Ideen Bachelards für die Naturwissenschaftsdidaktik herausgestrichen werden. Es ist offensichtlich, dass die Bilder und Vorstellungen von Naturvorgängen, welche die Kinder in den Unterricht bringen, von vergleichbarer Art sind wie die Erkenntnishindernisse, die Bachelard mit Bezug auf die Wissenschaftsgeschichte dargestellt hat. So finden sich im Bereich des physikalischen Wissens bei Schülerinnen und Schülern Ansichten, die der Impetustheorie nahe stehen (vgl. McCloskey 1983b), und in der Biologie dominieren prädarwinistische teleologisch ausgerichtete Vorstellungen (vgl. Pedersen & Halldén 1994).

Bachelard bringt seine wissenschaftstheoretischen Ausführungen immer wieder in Verbindung mit der Pädagogik. Seine Bücher sind angereichert mit persönlichen Erfahrungen aus seiner Zeit als Gymnasiallehrer für Physik und Chemie. Was er in der Wissenschaftstheorie vertritt, vertritt er auch in der Pädagogik. In der "Bildung des wissenschaftlichen Geistes" heisst es beispielsweise: "Auch in der Erziehung wird der Begriff des *Erziehungshindernisses* zu wenig beachtet. Oft hat mich die Tatsache frappiert, dass die Lehrer in den naturwissenschaftlichen Fächern mehr noch - falls das möglich ist - als die übrigen nicht verstehen, dass man nicht versteht. Nur wenige haben sich eingehender mit der Psychologie des Irrtums, des Unwissens, der Reflexionslosigkeit befasst. ... Die Lehrer in den naturwissenschaftlichen Fächern haben die Vorstellung, der Geist verfare nach dem Muster einer Schullektion, eine zurückgebliebene geistige Entwicklung lasse sich stets durch die Wiederholung einer Klasse noch richten, man könne eine Erklärung verständlich machen, indem man sie Punkt für Punkt wiederholt. Sie haben nicht bedacht, dass der Jugendliche bereits mit vorgeformten empirischen Kenntnissen in die Physikstunde kommt. Es geht für ihn dann nicht darum, eine erfahrungsorientierte Bildung zu *erwerben*, sondern sie zu *wechseln*, die Hindernisse beiseite zu räumen, die das tägliche Leben bereits aufgehäuft hat" (Bachelard 1984, p. 52 - erste Hervorhebung von mir, W.H.). Wir können auch hier die Kübelmetapher von Popper zuhilfe nehmen. Unsere Didaktik operiert zumeist auf der Basis einer Erkenntnistheorie, die den Geist als Behälter versteht. In diesen Behälter muss Wissen eingelagert werden, und eine gute Lehrperson scheint eine zu sein, die möglichst elegant und geschmeidig die geistigen Kübel der Schülerinnen und Schüler zu füllen vermag. Es geht darum, etwas in etwas anderes hineinzutun. Dass der Behälter bereits voll sein könnte, auf diese Idee kommt man nicht.

Aber genau dies ist die These sowohl von Bachelard wie von Popper. Die Köpfe sind schon voll, und es geht darum auszumisten, um besser auffüllen zu können.<sup>22</sup> Dazu ein prägnantes Zitat von Popper: "Meine Wissenschaftstheorie ist ... ungeheuer einfach. Es sind *wir*, die die wissenschaftlichen Theorien schaffen, es sind *wir*, die die wissenschaftlichen Theorien kritisieren. Das ist die ganze Wissenschaftstheorie. *Wir* erfinden die Theorien, und *wir* bringen unsere Theorien um. Wir schaffen damit neue Probleme und kommen in die Situation, in der wir, wenn wir können, neue Theorien erfinden. Das ist in kurzem die Wissenschaft und die Wissen-

<sup>22</sup> Sofern wir im Bild der Kübelmetaphorik bleiben wollen. Aber natürlich ist genau diese Metaphorik problematisch!



schaftsgeschichte. Die übliche Theorie ist ganz anders. Die übliche Theorie nenne ich die *Kübel-Theorie* des menschlichen Geistes. Unser Kopf ist ein Kübel. Er hat Löcher und bei den Löchern fließt die Information von der Welt hinein. Das ist auch die Grundtheorie der Pädagogik. Die Trichtertheorie ist eine Theorie des Lehrprozesses. Der Kübel bekommt noch extra einen Trichter aufgesetzt, und dort giesst man dann das Wissen hinein. Das ist die übliche Theorie. Tatsache ist, dass unsere Pädagogik darin besteht, dass man die Kinder mit Antworten überhäuft, ohne dass sie Fragen gestellt haben, und auf die Fragen, die sie stellen, hört man nicht" (Popper 1985, p. 52). So gesehen ist die Erkenntnistheorie von unmittelbarer Bedeutung für die Didaktik. Lehrer bzw. Lehrerinnen machen es sich zu einfach, wenn sie glauben, sie müssten lediglich für die *Bildung* der Schülerinnen und Schüler sorgen. Denn zuallererst müssen sie für das sorgen, was die Mystiker die *Entbildung* des menschlichen Geistes nennen. Sie müssen an den falschen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler ansetzen und können sich nicht darauf beschränken, die richtigen Vorstellungen zu vermitteln. Wie Bachelard sagt: "Der wissenschaftliche Geist muss sich bilden, indem er sich umbildet" (Bachelard 1984, p. 59).

Bachelard beobachtete, dass Schülerinnen und Schüler spontan in Kategorien denken, die ihm in den wissenschaftlichen Texten des 17. und 18. Jahrhunderts begegnet sind. Er meint daher, der Begriff des Erkenntnishindernisses lasse sich "... in der geschichtlichen Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens *und* in der Praxis der Erziehung untersuchen" (Bachelard 1984, p. 50 - meine Hervorhebung, W.H.).<sup>23</sup> Während eine positivistisch orientierte Didaktik glaubt, naturwissenschaftliches Denken liesse sich unabhängig von seiner Geschichte vermitteln, will Bachelard die Einsicht in die Entstehungsbedingungen der modernen Naturwissenschaften in den Lehrprozess einfließen lassen. Die Lehrperson muss davon ausgehen, dass der Schüler und die Schülerin schon vieles wissen bzw. glauben, vieles zu wissen. Die Schülerinnen und Schüler kommen nicht unbedingt mit dem Bewusstsein zur Schule, in der Landkarte ihres Wissens Lücken zu haben. Dieses Bewusstsein muss ihnen erst vermittelt werden. "Wenn der Geist sich der wissenschaftlichen Bildung stellt, ist er niemals jung. Er ist sogar sehr alt, denn er ist so alt wie seine Vorurteile" (ebd., p. 47).

Wie in der Wissenschaftstheorie macht Bachelard in pädagogischer Hinsicht auf die Gefahren der Anschauung aufmerksam. Wir lehren den Kindern eine Philosophie der Naturwissenschaften, die veraltet ist. "Es ist die experimentelle Naturwissenschaft amtlicher Anweisungen: wiege, miss, zähle; hüte dich vor dem Abstrakten, der Regel; hefte deinen jugendlichen Geist ans Konkrete, ans Faktum. Sehen, um zu verstehen, so sieht das Ideal dieser eigentümlichen Pädagogik aus" (Bachelard 1993, p. 17). Man muss sich bewusst sein, was für Wirkungen Anschauungsmaterialien im Unterricht haben. Zum Beispiel Demonstrationen im Chemie- oder Physikunterricht. Bachelard beschreibt sehr schön die Wirkung von Bildern auf die Psyche von Schülerinnen und Schülern. Zwar lässt sich mittels Anschauung die *Aufmerksamkeit* der Klasse steigern, doch steigt zugleich die Gefahr falscher Assoziationen. Die Flamme im Chemieunterricht weckt die unbewussten, archaischen Vorstellungen, die mit dem Feuer verbunden sind. Kommt es zur Explosion, so sperren die Schüler die Augen auf. "Es scheint, dass jede Explosion beim Jugendlichen die vage Absicht zu schaden, zu erschrecken, zu zerstören suggeriert. Ich habe eine Menge Leute nach ihren Schulerinnerungen gefragt. In nahezu der Hälfte der Fälle bin ich auf Erinnerungen an die Explosion in Chemie gestossen. Meistens waren die

<sup>23</sup> Auch dies eine These, die Bezüge zu Piaget herstellen lässt.



objektiven Ursachen vergessen worden, aber man erinnerte sich an das 'Gesicht' des Lehrers, den Schrecken eines ängstlichen Nachbarn ... All diese Erinnerungen bezeichnen durch ihre Ausgelassenheit hinreichend den verdrängten Willen zur Macht, die anarchischen und satanischen Tendenzen, das Bedürfnis, die Dinge zu beherrschen, um die Menschen zu unterdrücken" (Bachelard 1984, p. 81).

Die Anschauung ist ein zweiseitiges Schwert, wenn sie zur Methode des Unterrichts gemacht wird. Die allzu lebendigen und bildhaften Experimente im Elementarunterricht werden zu Zentren falschen Interesses. "Man kann dem Lehrer nur raten, vom Versuchstisch unverzüglich zur Tafel zu gehen, um so schnell wie möglich das Abstrakte aus dem Konkreten abzuleiten" (Bachelard 1984, p. 82f.). Das Konkrete und Reale, das Natürliche und Unmittelbare bildet in seiner unkontrollierbaren Fülle ein Hindernis der Erkenntnis. Dazu kommt die Sprache, die mit ihrem Dingschema eine substantialistische Suggestion ausübt. Die "übermässige Bildhaftigkeit", die in dem (vermeintlich) harmlosen Wort "Ding" beschlossen liegt (vgl. Bachelard 1993, p. 67), kann das Denken der Schülerinnen und Schüler auf völlig falsche Wege führen.

Ein ebenfalls sprachliches Erkenntnishindernis wird durch ein anderes Beispiel veranschaulicht. Bachelard nimmt wiederum Bezug auf seine Erfahrungen als Gymnasiallehrer: "Im Chemieunterricht habe ich feststellen können, dass in der Reaktion von Säure und Base fast alle Schüler die aktive Rolle der Säure und die passive der Base zuschrieben. Gräbt man ein wenig im Unbewussten, so wird man bald feststellen, dass die Base weiblich und die Säure (im Französischen) männlich ist. Die Tatsache, dass das Produkt ein *neutrales* Salz sein soll, geht nicht ohne psychoanalytischen Nachhall ein. Boerhaave spricht noch von herm-aphroditischen Salzen. Solche Anschauungen sind wirkliche Hindernisse. So ist der Begriff basischer Salze im Elementarunterricht schwieriger verständlich zu machen als der Begriff saurer Salze. Die Säure hat aus der blossen Tatsache heraus, dass sie bezüglich der Base als aktiv gesetzt wurde, ein Erklärungsprivileg erhalten" (Bachelard 1984, p. 286). Die Säure verkörpert das männliche Prinzip. Sie muss somit aktiv sein. In der Vorstellung der Schüler ist sie verantwortlich für die Reaktion, während in Tat und Wahrheit Säure und Base gleichermassen verantwortlich sind für die Reaktion.<sup>24</sup>

Bachelard schreibt auch von den Auswirkungen konkreter Unterrichtserfahrungen. Der Physiklehrer, schreibt er, würde "... über die Vielfalt an individuellen 'Rationalisierungen' staunen, die für ein und dieselbe objektive Erkenntnis gefunden werden. Man braucht nach der Unterrichtsstunde lediglich einige Wochen verstreichen zu lassen, um diese Individualisierung der Objektivitätsbildung festzustellen. Es scheint sogar, als zöge ein zu klares, zu leicht und lebendig erfasstes Bild in der langsamen Individualisierungsarbeit alsbald einen Schwarm falscher Begründungen an sich" (Bachelard 1984, p. 340). Es empfehle sich daher, den subjektiven Wucherungen im Unbewussten der Schüler dadurch Einhalt zu gebieten, dass ein Unterrichtsthema häufiger wieder aufgenommen wird. Ein solcher auf Wiederbelebung des bereits Gelernten gerichteter Unterricht werde an unseren Schulen jedoch ganz besonders vernachlässigt. Er wäre aber für die Stützung einer Ausbildung zur Objektivität unerlässlich. Dem kann wohl auch heute noch vorbehaltlos zugestimmt werden.

<sup>24</sup> Vergleichbares gilt für den Biologieunterricht und das Verständnis geschlechtlicher Vorgänge. Hier ist es erstaunlich, wie selbst in der Wissenschaft "männlich" mit "aktiv" und "weiblich" mit "passiv" assoziiert werden, obwohl vom wissenschaftlichen Sachverhalt her solche Zuordnungen überhaupt nicht gerechtfertigt sind (vgl. Hubbard 1989; Reiche 1990, p. 8ff.).



Bachelard hat seine pädagogischen und didaktischen Äusserungen in den Dreissigerjahren gemacht, zu einer Zeit, als der audiovisuelle Unterricht noch kaum existierte. Seine Analysen müssten heute erweitert werden auf andere Mittel der Veranschaulichung wie Filme und weitere Medien, die im Unterricht eingesetzt werden. Weil diese Medien selten präzise sind, und wir kaum je wissen, was sie an Bildern, Gedanken, Gefühlen und Assoziationen auslösen, können sie unter Umständen den Unterricht eher erschweren als erleichtern.

Auf jeden Fall hat ein wissenschaftlich orientierter Unterricht mit der Gefahr zu rechnen, sein Ziel zu verfehlen, wenn er aus ausschliesslich motivationalen Gründen zu viel an Konkretem, zu viel an Intuitivem und zu viel an Persönlichem zulässt. "Ein Erzieher wird daher immer daran denken müssen, den Beobachter von seinem Objekt zu lösen, den Schüler vor der Masse von Affektivität zu schützen, die sich über bestimmte allzu schnell symbolisierte und in gewisser Weise *zu interessante* Phänomene zusammenzieht" (Bachelard 1984, p. 101).

Was ist zu tun? Bachelard plädiert für eine Pädagogik der *Wechselseitigkeit*. Dem Lehrer fehlt der Sinn für den Misserfolg, weil er sich fälschlicherweise für einen Meister hält. "Wer unterrichtet, herrscht" (Bachelard 1984, p. 53). Das ist zumindest ein interessanter Hinweis darauf, wie die Macht in der Erziehung relativiert werden könnte. Wenn der Unterrichtende herrscht, dann deshalb, weil er alles weiss, weil er nämlich selbst die Fragen stellt, auf die er die Antworten gibt. Der Lehrer monopolisiert nicht nur die Antworten, sondern auch die Fragen, und dadurch wird das pädagogische Verhältnis einseitig. Die Wechselseitigkeit, die allererst soziale Beziehungen aufrechterhält (vgl. Herzog 1991), wird stillgestellt. Bachelard meint, es sei "... ein schwerer Irrtum des üblichen Unterrichtswesens, das unflexible Lehrer-Schüler-Verhältnis ohne Wechselseitigkeit auszugestalten. Das Grundprinzip einer Pädagogik der Objektivität müsste in unseren Augen lauten: *wer unterrichtet wird, muss auch unterrichten*. Ein Unterricht, den man erhält, ohne ihn umzusetzen, bildet einen Geist heran, der keine Dynamik und keine Selbstkritik besitzt. Insbesondere in den wissenschaftlichen Disziplinen lässt eine solche Unterrichtsform ein Wissen, das eigentlich Anstoss zu erfinderischem Vorgehen sein sollte, zu Dogmatismus erstarren. Vor allem aber unterlässt sie es, die psychologische Erfahrung menschlichen Irrtums zu vermitteln" (Bachelard 1984, p. 351).<sup>25</sup> Wo die Wechselseitigkeit zugelassen wird, bekommt auch der Irrtum sein Recht. Der Irrtum aber ist der eigentliche Motor der Bildung des wissenschaftlichen Geistes. "Irrtum, du bist kein Übel", wie Bachelard sagt.

Zweifellos genügt eine Pädagogik der Wechselseitigkeit nicht, um die Defizite des herkömmlichen Naturwissenschaftsunterrichts zu beheben. Sie genügt allein schon deshalb nicht, weil die Kenntnis der Unterrichtsziele auf seiten der Lehrperson liegt. Die Ziele von Bildung und Unterricht lassen sich kaum "demokratisch" bestimmen. Eine Pädagogik der Wechselseitigkeit genügt des weitem auch deshalb nicht, weil der Schritt vom vorwissenschaftlichen zum wissenschaftlichen Wissen nicht sich selbst überlassen werden kann. Da das wissenschaftliche Bewusstsein einen "Bruch" bzw. eine "Konversion" im Denken erfordert, muss der Schritt vorbereitet werden. Die Lehrperson muss um das protowissenschaftliche Denken der Schülerinnen und Schüler wissen, will sie diese erfolgreich unterrichten.

<sup>25</sup> Mittlerweile gibt es eine Reihe von Vorschlägen, wie reziproke Beziehungen in den didaktischen Prozess eingeführt werden können, z.B. Tutoresysteme, reziprokes Lernen, partizipatives Lernen etc. (vgl. z.B. Holzkamp 1993; Krapf 1992; Lave & Wenger 1991).



Das Lernen von Wissenschaft ist im wesentlichen Umlernen. Es bedeutet eine *Umwälzung im Vorverständnis* derart, dass - im Beispiel des Lernens von Physik - "... ein physikalischer Verstehenshorizont fungiert und zwar so, dass die aus alltäglichem Vorverständnis erfahrene Natur in der Art und Weise des mathematischen Entwurfes der Natur umgedeutet und gesehen wird - wie vage und ungefähr zunächst auch immer" (Redeker 1984, p. 199). Schülerinnen und Schüler haben ein *protophysikalisches* Weltbild, das sich vom physikalischen Weltbild der Lehrkraft in wichtiger Hinsicht unterscheidet. Dieses vorwissenschaftliche Weltbild muss die Lehrperson kennen.

Doch hier liegen Schwierigkeiten besonderer Art. Wie Bachelard bemerkt, ist die Fähigkeit der Wissenden, sich ihres Bildungsprozesses zu erinnern, beschränkt. "Selten sind die Forscher, die Gefallen daran finden, die realen Wege ihrer Bildung wiederherzustellen; sie erleben die gegenwärtige Kultur mit zu grosser Intensität, um sich für die dunkle Vergangenheit der Begriffe zu interessieren" (Bachelard 1993, p. 105). Es scheint eine kognitive *Verdrängung* zu geben, die der affektiven vergleichbar ist. Die Psychoanalyse zeigt, wie schwierig es ist, sich seiner Vergangenheit zu erinnern. Nicht nur die (frühe) Kindheit, auch das Jugendalter (die Pubertät) - ein Lebensabschnitt, der hier von besonderer Bedeutung ist - liegt bei den meisten Erwachsenen im dunkeln (vgl. Freud 1980, p. 1745f.). Das aber bedeutet eine Beschränkung der didaktischen Kompetenz der Lehrpersonen, die sich offenbar ihrer eigenen Fehler während der Zeit ihrer naturwissenschaftlichen Bildung nicht zu erinnern vermögen. Wie sollen sie dann "irrtumsfreundlich" unterrichten können?

Weil sie sich nicht erinnern können, müssen die Lehrerinnen und Lehrer der naturwissenschaftlichen Fächer<sup>26</sup> das Wissen um die Fehler und Irrtümer im Denken der Kinder und Jugendlichen erst wieder mühsam *erwerben*. Dazu können ihnen Untersuchungen wie die in der Einleitung zitierten behilflich sein (vgl. auch diSessa 1993; Wellman & Gelman 1992). Die Arbeiten von Bachelard bieten zusätzliche Anregungen, wie die einzelne Lehrperson in einen Prozess der Erkundung und Rekonstruktion des "naiven" Weltbildes der Schülerinnen und Schüler eintreten kann. Verstehen ist eine konstruktive Leistung, die ausschliesslich mit Hilfe der Kategorien erbracht werden kann, über die ein lernendes Subjekt bereits verfügt. Dabei ist in Rechnung zu stellen, dass die alltäglichen, protowissenschaftlichen Kategorien, mit denen Schülerinnen und Schüler in den Unterricht kommen, nicht leicht verfügbar sind. Der Erinnerungslücke auf der Lehrerseite entspricht ein Artikulationsdefizit auf der Schülerseite.

Der Horizont, in dem die physische Natur alltäglich begriffen wird, ist im allgemeinen sprachlich wenig artikuliert und nicht leicht zugänglich. Daraus erwachsen *unterrichtsmethodische* Schwierigkeiten. Die Aufarbeitung des intuitiven Wissens der Schülerinnen und Schüler erfordert besondere sprachliche und kommunikative Anstrengungen. Die Schülerinnen und Schüler müssen ihr protophysikalisches Wissen mitteilen können. Einerseits, damit es ihnen selbst bewusst werden kann, andererseits, damit es der Lehrperson zugänglich wird. Der Naturwissenschaftsunterricht muss daher seine herkömmlicherweise geringe Sprach- und Kommunikationsintensität überwinden (vgl. Herzog 1994; Kubli 1987). Eine Verbesserung des schulischen Unterrichts ist möglich, wenn die Didaktik der naturwissenschaftlichen Fächer die vorwissen-

<sup>26</sup> Aber nicht nur diese. Zu vermuten ist, dass andere Unterrichtsfächer mit vergleichbaren Problemen zu kämpfen haben (vgl. Gardner 1993, p. 215ff.).



schaftlichen Intuitionen und "Theorien" der Schülerinnen und Schüler ernst nimmt und in den kommunikativen Prozess des Unterrichtens aufnimmt.

## Literatur

Eine Bibliographie der Veröffentlichungen von Bachelard findet sich in Bachelard (1993) und - ausführlich - in Ginestier (1968).

Apel, Karl-Otto: Das Leibapriori der Erkenntnis, in: Hilarion Petzold (ed.): Leiblichkeit. Philosophische, gesellschaftliche und therapeutische Perspektiven. Paderborn: Junfermann 1985, p. 47-70.

Aufschnaiter, Stefan von, Hans E. Fischer & Hannelore Schwedes: Kinder konstruieren Welten. Perspektiven einer konstruktivistischen Physikdidaktik, in: Siegfried J. Schmidt (ed.): Kognition und Gesellschaft. Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus 2. Frankfurt: Suhrkamp 1992, p. 380-424.

Bachelard, Gaston: Die philosophische Dialektik in der Begriffswelt der Relativität, in: Paul Arthur Schilpp (ed.): Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Stuttgart: Kohlhammer 1955, p. 413-426.

Bachelard, Gaston: Poetik des Raumes. Frankfurt: Ullstein 1975 (Orig. 1957).

Bachelard, Gaston: Die Philosophie des Nein. Versuch einer Philosophie des neuen wissenschaftlichen Geistes. Frankfurt: Suhrkamp 1980 (Orig. 1940).

Bachelard, Gaston: Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes. Beitrag zu einer Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis. Frankfurt: Suhrkamp 1984<sup>2</sup> (Orig. 1938).

Bachelard, Gaston: Psychoanalyse des Feuers. München: Hanser 1985 (Orig. 1949).

Bachelard, Gaston: Der neue wissenschaftliche Geist. Frankfurt: Suhrkamp 1988 (Orig. 1934) (a).

Bachelard, Gaston: Die Flamme einer Kerze. München: Hanser 1988 (Orig. 1961) (b).

Bachelard, Gaston: Epistemologie. Ausgewählt von Dominique Lecourt. Frankfurt: Fischer 1993 (Neuausgabe).

Balke, Friedrich: Das Ethos der Epistemologie, in: Gaston Bachelard: Epistemologie. Ausgewählt von Dominique Lecourt. Frankfurt: Fischer 1993 (Neuausgabe), p. 235-252.

Blumenberg, Hans: Paradigmen zu einer Metaphorologie. Archiv für Begriffsgeschichte, Bd. 6. Bonn: Bouvier 1960.

Brecht, Bertold: Leben des Galilei. Schauspiel. Frankfurt: Suhrkamp 1977<sup>22</sup>.

Canguilhem, Georges: Die Geschichte der Wissenschaften im epistemologischen Werk Gaston Bachelards, in: ders.: Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie. Gesammelte Aufsätze. Hrsgg. von Wolf Lepenies. Frankfurt: Suhrkamp 1979, p. 7-21.

Caramazza, Alfonso, Michael McCloskey & Bert Green: Naive Beliefs in "Sophisticated" Subjects: Misconceptions About Trajectories of Objects, in: Cognition 1981 (9), p. 117-123.

Carey, Susan: Conceptual Change in Childhood. Cambridge: MIT Press 1985.

Chapsal, Madeleine: Envoyez la petite musique ... Paris: Bernard Grasset 1984.



- Clement, John: Students' Preconceptions in Introductory Mechanics, in: American Journal of Physics 1982 (50), p. 66-71.
- Descartes, René: Meditationen über die Erste Philosophie. Hrsgg. von Gerhart Schmidt. Stuttgart: Reclam 1976.
- diSessa, Andrea A.: Unlearning Aristotelian Physics: A Study of Knowledge-Based Learning, in: Cognitive Science 1982 (6), p. 37-75.
- diSessa, Andrea A.: Phenomenology and the Evolution of Ideas, in: Dedre Gentner & Albert L. Stevens (eds.): Mental Models. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum 1983, p. 15-33.
- diSessa, Andrea A.: Toward an Epistemology of Physics, in: Cognition and Instruction 1993 (10), p. 105-225.
- Driver, Rosalind & Beverley Bell: Students' Thinking and the Learning of Science: A Constructivist View, in: School Science Review 1986 (67), p. 443-456.
- Driver, Rosalind & Valerie Oldham: A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science, in: Studies in Science Education 1986 (13), p. 105-122.
- Dubrule, Gerard: Philosophie zwischen Tag und Nacht. Eine Studie zur Epistemologie Gaston Bachelards. Frankfurt: Peter Lang 1983.
- Dürr, Hans-Peter: Das Netz des Physikers. Naturwissenschaftliche Erkenntnis in der Verantwortung. München: Hanser 1988.
- Dux, Günter: Die Logik der Weltbilder. Sinnstrukturen im Wandel der Geschichte. Frankfurt: Suhrkamp 1982.
- Elias, Norbert: Was ist Soziologie? München: Juventa 1971<sup>2</sup>.
- Elias, Norbert: Engagement und Distanzierung. Arbeiten zur Wissenssoziologie. Hrsgg. von Michael Schröter. Frankfurt: Suhrkamp 1983.
- Fellmann, Ferdinand: Symbolischer Pragmatismus. Hermeneutik nach Dilthey. Reinbek: Rowohlt 1991.
- Feyerabend, Paul: Wider den Methodenzwang. Skizze einer anarchistischen Erkenntnistheorie. Frankfurt: Suhrkamp 1976.
- Feyerabend, Paul: Irrwege der Vernunft. Frankfurt: Suhrkamp 1989.
- Freud, Anna: Probleme der Pubertät, in: Die Schriften der Anna Freud, Bd. VI. München: Kindler 1980, p. 1739-1769.
- Foucault, Michel: Die Ordnung der Dinge. Eine Archäologie der Humanwissenschaften. Frankfurt: Suhrkamp 1974.
- Fromm, Erich: Haben oder Sein. Die seelischen Grundlagen einer neuen Gesellschaft. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1979.
- Gardner, Howard: Der ungeschulte Kopf. Wie Kinder denken. Stuttgart: Klett-Cotta 1993.
- Ginestier, Paul: La pensée de Bachelard. Paris: Bordas 1968.
- Glaserfeld, Ernst von: Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität, in: Einführung in den Konstruktivismus. Schriften der Carl Friedrich von Siemens Stiftung. Hrsgg. von Heinz Gumin und Armin Mohler. Bd. 10. München: Oldenbourg 1985, p. 1-26.



- Goethe, Johann Wolfgang: Materialien zur Geschichte der Farbenlehre, in: ders.: Gedenkausgabe der Werke, Briefe und Gespräche. Hrsgg. von Ernst Beutler. Bd. 16: Naturwissenschaftliche Schriften. Erster Teil. Zürich: Artemis 1964<sup>2</sup>, p. 245-719.
- Herzog, W.: Die Banalität des Guten. Zur Begründung der moralischen Erziehung, in: Zeitschrift für Pädagogik 1991 (37), p. 41-64.
- Herzog, Walter: Von der Koedukation zur Koinstruktion. Ein Weg zur Förderung der Mädchen im naturwissenschaftlichen Unterricht, in: Die Deutsche Schule 1994 (86), p. 78-95.
- Holzkamp, Klaus: Lernen. Subjektwissenschaftliche Grundlegung. Frankfurt: Campus 1993.
- Hubbard, Ruth: Hat die Evolution die Frauen übersehen? in: Elisabeth List & Herlinde Studer (eds.): Denkverhältnisse. Feminismus und Kritik. Frankfurt: Suhrkamp 1989, p. 301-333.
- Hübner, Kurt: Kritik der wissenschaftlichen Vernunft. Freiburg: Alber 1986<sup>3</sup>.
- Husserl, Edmund: Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie. Hrsgg. von Elisabeth Ströker. Hamburg: Meiner 1977.
- Johnson, Mark: The Body in the Mind. The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason. Chicago: The University of Chicago Press 1987.
- Jonas, Hans: Organismus und Freiheit. Ansätze zu einer philosophischen Biologie. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1973.
- Keller, Evelyn Fox: Liebe, Macht und Erkenntnis. Männliche oder weibliche Wissenschaft? München: Hanser 1986.
- Kopper, Joachim: Das gedoppelte Wesen des Wissens um Wahrheit, in: Zeitschrift für philosophische Forschung 1964 (18), p. 297-309.
- Krapf, Bruno: Aufbruch zu einer neuen Lernkultur. Erhebungen, Experimente, Analysen und Berichte zu pädagogischen Denkfiguren. Bern: Haupt 1992.
- Kubli, Fritz: Interesse und Verstehen in Physik und Chemie. Mit Beiträgen von Jeannette Bossi und Mario Risch. Köln: Aulis 1987.
- Kuhn, Thomas: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt: Suhrkamp 1976<sup>2</sup>.
- Lave, Jean & Etienne Wenger: Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation. Cambridge: Cambridge University Press 1991.
- Lepenies, Wolf: Vergangenheit und Zukunft der Wissenschaftsgeschichte. Das Werk Gaston Bachelards, in: Gaston Bachelard: Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes. Beitrag zu einer Psychoanalyse der objektiven Erkenntnis. Frankfurt: Suhrkamp 1984<sup>2</sup>, p. 7-34.
- Luhmann, Niklas: Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie. Frankfurt: Suhrkamp 1985<sup>2</sup>.
- Maturana, Humberto R.: Erkennen. Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Braunschweig: Vieweg 1982.
- McCloskey, Michael: Naive Theories of Motion, in: Dedre Gentner & Albert L. Stevens (eds.): Mental Models. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum 1983, p. 299-324 (a).
- McCloskey, Michael: Irrwege der Intuition in der Physik, in: Spektrum der Wissenschaft 1983, Heft 6, p. 88-99 (b).
- McCloskey, Michael, Alfonso Caramazza & Bert Green: Curvilinear Motion in the Absence of External Forces: Naive Beliefs About the Motion of Objects, in: Science, vol. 210, 5.12.1980, p. 1139-1141.



- Merchant, Carolyn: *The Death of Nature. Women, Ecology and the Scientific Revolution*. San Francisco: Harper & Row 1980.
- Moser, Urs: Was wissen 13-jährige? Internationaler Vergleich in Mathematik und Naturwissenschaften. Deutschsprachige Zusammenfassung unter besonderer Berücksichtigung der Schweizer Ergebnisse. Bern: Amt für Bildungsforschung 1992.
- Moser, Urs: Was wissen 13-jährige? Schulische Leistungen und Schulstrukturen. Bern: Amt für Bildungsforschung o.J.
- Nersessian, Nancy J.: Conceptual Change in Science and in Science Education, in: *Synthese* 1989 (80), p. 163-183.
- Osborne, Roger: Children's Dynamics, in: *The Physics Teacher*, November 1984, p. 504-508.
- Pariente, Jean-Claude: Rationalisme et ontologie chez Gaston Bachelard, in: Guy Lafrance (ed.): *Gaston Bachelard. Profils épistémologiques*. Ottawa: Presses de l'Université d'Ottawa 1987, p. 25-46.
- Pedersen, Svend & Ola Halldén: Intuitive Ideas and Scientific Explanations as Parts of Students' Developing Understanding of Biology: The Case of Evolution, in: *European Journal of Psychology of Education* 1994 (9), p. 127-137.
- Piaget, Jean: *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt: Suhrkamp 1973.
- Piaget, Jean: *Die Entwicklung des Erkennens*, 3 Bde. Stuttgart: Klett 1975.
- Popper, Karl R.: *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul 1969<sup>3</sup>.
- Popper, Karl R.: *Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf*. Hamburg: Hoffmann und Campe 1974<sup>2</sup>.
- Popper, Karl R.: [Statement in:] Karl R. Popper & Konrad Lorenz: *Die Zukunft ist offen. Das Altenberger Gespräch*. Hrsgg. von Hans Kreuzer. München: Piper 1985<sup>2</sup>.
- Popper, Karl R.: *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr 1989<sup>9</sup>.
- Posner, George J., Kenneth A. Strike, Peter W. Hewson & William A. Gertzog: Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, in: *Science Education* 1982 (66), p. 211-227.
- Redeker, Bruno: Zum Lernen von Physik, in: Wilfried Lippitz & Käthe Meyer-Drawe (eds.): *Lernen und seine Horizonte. Phänomenologische Konzeptionen menschlichen Lernens. Didaktische Konsequenzen*. Frankfurt: Scriptor 1984<sup>2</sup>, p. 167-217.
- Reiche, Reimut: *Geschlechterspannung. Eine psychoanalytische Untersuchung*. Frankfurt: Fischer 1990.
- Rötzer, Florian: Die Melancholie eines Aufklärers. Bemerkungen zu Bachelards pluraler Philosophie, in: Gaston Bachelard: *Die Flamme einer Kerze*. München: Hanser 1988, p. 109-130.
- Schmid, Wilhelm: *Auf der Suche nach einer neuen Lebenskunst. Die Frage nach dem Grund und die Neubegründung der Ethik bei Foucault*. Frankfurt: Suhrkamp 1991.
- Schöffel, Georg: *Denken in Metaphern. Zur Logik sprachlicher Bilder*. Opladen: Westdeutscher Verlag 1987.
- Skinner, Burrhus F.: *Wissenschaft und menschliches Verhalten*. München: Kindler 1976.



- Solomon, Joan: Learning About Energy: How Pupils Think in Two Domains, in: European Journal of Science Education 1983 (5), p. 49-59.
- Varela, Francisco J. & Evan Thompson: Der Mittlere Weg der Erkenntnis. Die Beziehung von Ich und Welt in der Kognitionswissenschaft - der Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlicher Erfahrung. Bern: Scherz 1992.
- Watson, Bruce & Richard Konicek: Teaching for Conceptual Change: Confronting Children's Experience, in: Phi Delta Kappan, May 1990, p. 680-685.
- Wellman, Henry M. & Susan A. Gelman: Cognitive Development: Foundational Theories of Core Domains, in: Annual Review of Psychology 1992 (43), p. 337-375.
- Whitehead, Alfred N.: Prozess und Realität. Entwurf einer Kosmologie. Frankfurt: Suhrkamp 1984<sup>2</sup> (a).
- Whitehead, Alfred N.: Wissenschaft und moderne Welt. Frankfurt: Suhrkamp 1984 (b).
- Whitney, Charles: Francis Bacon. Die Begründung der Moderne. Frankfurt: Fischer 1989.
- Wittgenstein, Ludwig: Philosophische Untersuchungen. Frankfurt: Suhrkamp 1971.

© Prof. Dr. W. Herzog  
 Institut für Pädagogik  
 Abteilung Pädagogische Psychologie  
 Muesmattstrasse 27  
 3012 Bern

e-mail: herzog@kl.unibe.ch



