

Peter Kügler

Was tun Naturwissenschaftler?

1. Einleitung und Grundbegriffe

Vieles, was Naturwissenschaftler tun, tun auch andere Menschen. Sie trinken Kaffee, reden über das Wetter oder spazieren im Labor auf und ab und träumen dabei von einem Urlaub in der Karibik. Auf diese Tätigkeiten kommt es nicht an, wenn man wissen möchte, was Naturwissenschaftler *als Naturwissenschaftler* tun. Was uns hier interessiert, sind die Tätigkeiten, die für Naturwissenschaftler charakteristisch sind. Welche Tätigkeiten machen sie zu Naturwissenschaftlern?

Nennen wir eine Tätigkeit, mit der ein oder mehrere *Ziele* verfolgt werden, eine *Handlung*. (Ziellose Tätigkeiten wären also nach dieser Terminologie keine Handlungen.) Es spricht viel dafür, dass die für Naturwissenschaftler charakteristischen Tätigkeiten zielgerichtet und somit Handlungen sind. Auf diese Handlungen und auf ihre Ziele nimmt man häufig dadurch Bezug, dass man von *Methoden* spricht. „Welche Methoden werden in den Naturwissenschaften angewandt?“ ist eine Frage, die implizit voraussetzt, dass es Handlungsziele gibt. Denn eine Methode ist in der Regel etwas, das man anwendet, um ein bestimmtes Ziel – oder mehrere – zu erreichen. In den folgenden Abschnitten werde ich mich mit Methodenfragen in den Naturwissenschaften beschäftigen, also mit den Handlungen von Naturwissenschaftlern und den damit verknüpften Zielen.

Jede Darstellung der Naturwissenschaft wäre einseitig, wenn sie nicht historische, philosophische und soziologische Aspekte berücksichtigen würde (vgl. Kitcher 1998). Daher folgt im nächsten Abschnitt ein kurzer historischer Rückblick. Im 3. und 4. Abschnitt stehen dann philosophische und soziologische Perspektiven im Vordergrund. Dabei werde ich mich auf drei verschiedenen Ebenen bewegen, die ich als Mikro-, Meso- und Makro-Ebene bezeichne. Die drei Ebenen gehen in Wirklichkeit fließend ineinander über; man sollte in ihnen daher keinesfalls mehr sehen als heuristische Einteilungen, die dabei behilflich sein können, einen Überblick über das Handeln in den Naturwissenschaften zu gewinnen.

Auf der Mikro-Ebene geht es um einzelne Handlungen oder kurze Handlungsfolgen. Eine solche Handlung findet z.B. statt, wenn ich ein Blatt Papier einmal in der Mitte falte. Die Herstellung eines Papierfliegers, die sich aus vier, fünf Faltvorgängen zusammensetzt, dauert zwar etwas länger, aber sie gehört wohl ebenfalls zur Mikroebene, weil die Handlungsfolge noch immer recht kurz ist. Ein wissenschaftliches Beispiel ist der Blick auf die Anzeige einer Waage oder eine Zeitmessung mit Hilfe einer Uhr.

Auf der Meso-Ebene stehen etwas längere Handlungsfolgen im Mittelpunkt. Zählt man zur Herstellung des Papierfliegers auch den Kauf des Papiers und den Transport desselben vom Geschäft zum Tisch, an dem gefaltet wird, so erhält man eine recht

lange Kette von Handlungen unterschiedlichen Typs, die schon zur Meso-Ebene gehört. Ein wissenschaftliches Beispiel ist die Vermessung eines größeren Objekts, eine aus vielen Experimenten bestehende Versuchsreihe oder das Verfassen eines Artikels für eine Fachzeitschrift. Diese Beispiele zeigen, dass die Handlungsfolgen auf der Meso-Ebene sehr unterschiedliche Längen aufweisen und sich sogar über viele Tage erstrecken können.

Die Makro-Ebene schließlich betrifft die Naturwissenschaft als Ganze oder, etwas weniger umfassend, einzelne naturwissenschaftliche Disziplinen, Subdisziplinen oder Forschungsprogramme. Aus der Makro-Perspektive betrachtet erscheint die Naturwissenschaft als ein umfangreiches System von Handlungen, das eine komplizierte innere Struktur und eine nicht weniger komplizierte Geschichte besitzt.

2. Zur Geschichte naturwissenschaftlicher Methoden

In der Antike wurde zwischen *téchne* und *theoría*, zwischen praktischem und theoretischem Wissen unterschieden. Zur *téchne* zählten die alten Griechen jede auf Fachkenntnis beruhende Fähigkeit, jede Kunstfertigkeit, die „Einsicht hat von dem, was sie anwendet, was es wohl seiner Natur nach ist, und also den Grund von einem jeden [...] anzugeben weiß“, wie Platon (427-347 v. Chr.) im Dialog *Gorgias* (465 a) schreibt. *Téchne* ist also kein bloßes Geübtsein, wie z.B. Radfahren oder Schlittschuhlaufen, sondern eine Fähigkeit von „Experten“, die eine gewisse Einsicht in Zusammenhänge und Differenzen besitzen und diese in Handlungsregeln umzusetzen vermögen. Als Beispiele galten unter anderem das ärztliche Heilen, die Kriegsführung oder die Landvermessung.

Zur *theoría* andererseits gehört laut Aristoteles (384-322 v. Chr.) jede auf Denken gegründete oder mit Denken verbundene Wissenschaft von Ursachen und Prinzipien“ (1989, 1025 b). Neben der Mathematik und der Theologie wurde von Aristoteles auch die Naturwissenschaft (*physiké*) zur *theoría* gezählt. Zu Inhalt und Methode der so verstandenen Naturwissenschaft machte Aristoteles Beiträge, die bis in die Neuzeit einen großen Einfluss ausübten. Beispielsweise versorgte er die Nachwelt mit Begriffen, die zu Vorläufern der modernen Begriffe „Kraft“ und „Energie“ wurden. Darüber hinaus entwickelte er das Modell der Finalerklärung, der Erklärung eines Phänomens durch *Zwecke*. Dieses Erklärungsmodell erlangte vor allem in den biologischen Wissenschaften Ruhm, unter anderem in der Evolutionsbiologie. Dort wird z.B. die Tatsache, dass manche Tiere Augen besitzen, unter anderem dadurch erklärt, dass Augen ihren Zweck erfüllen: Sie verschaffen dem Tier einen Vorteil gegenüber Konkurrenten und erhöhen dadurch seine Überlebenschancen. Noch wichtiger für die Biologie wurde Aristoteles durch seine Klassifikation der Tiere in der *Historia animalium* und anderen Schriften. Er wurde damit zum Begründer der Wissenschaft der Klassifikation, der sich Zoologen und Botaniker jahrhundertlang mit großem Enthusiasmus hingaben.

Die aristotelische Naturwissenschaft bestand in weiten Bereichen aus systematisierten und theoretisch überbauten Alltagsüberzeugungen. Ein wichtiger Grundsatz der aristotelischen Mechanik war z.B. der, dass jeder Körper zur Ruhe kommt, wenn es nicht

etwas gibt, das ihn in Bewegung hält (wobei dieses Etwas entweder innerhalb oder außerhalb seiner selbst liegt; vgl. Buch 7 der *Physica*). Dieser Grundsatz ist uns allen aus der Alltagserfahrung vertraut: Ein Auto, dessen Motor während der Fahrt abstirbt, kommt allmählich zur Ruhe; ein Tisch bewegt sich nur dann, wenn er geschoben oder hochgehoben wird. Ein anderes Beispiel stammt aus der Zoologie: Dort führte der aristotelische Tribut an die Alltagsmeinung manchmal zu Behauptungen, die aus heutiger Sicht eher seltsam anmuten. So steht in der *Historia animalium* unter anderem, dass bestimmte Tiere von Feuer nicht versehrt werden; das beweise „der Feuersalamander, der, wie man sagt, das Feuer löscht, wenn er hindurchläuft.“ (1957, 552 b)

Vergleichen wir das mechanische und das zoologische Beispiel miteinander, so ergibt sich ein widersprüchliches Bild. Auf der einen Seite stand Aristoteles der Beobachtung sehr nahe: Wir beobachten ja immer wieder, dass Dinge zur Ruhe kommen, wenn sie nicht bewegt werden. Dieser Alltagserfahrung kehrten die Physiker erst zu Beginn der Neuzeit den Rücken, als sie das aristotelische Prinzip durch das Trägheitsprinzip ersetzten, welches verlangt, dass sich ein Körper gleichförmig bewegt (oder ruht), wenn er *keinen* Kräften ausgesetzt ist. Das Trägheitsprinzip war im 17. Jahrhundert, als es von Galilei und Descartes zum ersten Mal formuliert wurde, sicherlich keine Erfahrungstatsache. Erst heute kann diese Erfahrung in Raumschiffen gemacht werden.

Während Aristoteles also ein mechanisches Prinzip aufstellte, das mit der Alltagserfahrung in Einklang steht, enthält seine Zoologie eine Behauptung, die leicht empirisch widerlegt werden könnte. Moderne Zoologen, die sich daran gewöhnt haben, mit Tieren grausame Experimente anzustellen, würden nicht zögern, ein paar Salamander ins Feuer zu werfen, um ihre angebliche Feuerfestigkeit zu überprüfen. Was die Feuerfestigkeit des Salamanders angeht, ist die Zoologie des Aristoteles also weit von einer empirischen Wissenschaft entfernt.

Wie lässt sich dieses Nebeneinander von Beobachtungsnähe (in der Mechanik) und Beobachtungserferne (in der Zoologie) erklären? Ich glaube, dass sich in dem vermeintlichen Widerspruch lediglich zwei allgemeine Merkmale der aristotelischen Auffassung von Naturwissenschaft widerspiegeln: (1) Naturwissenschaft ist für Aristoteles zwar ein Denken, das nicht bloß Erfahrungstatsachen registriert, sondern nach Ursachen und Prinzipien forscht. Doch diese Ursachen und Prinzipien dürfen nicht kontraintuitiv sein. Sie müssen einsichtig und anschaulich sein, daher dürfen sie auch dem Alltagsdenken nicht widersprechen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass das griechische Wort „*theoría*“ ursprünglich „Anschauen“ und „Beobachten“ bedeutete. (2) Die Erfahrungstatsachen andererseits wurden in der aristotelischen Naturwissenschaft noch nicht mit jenem Eifer und jener Gründlichkeit erforscht, die für die heutige Naturwissenschaft charakteristisch sind. Die Naturwissenschaft war noch kein Apparat, der am laufenden Band exakte empirische Daten hervorbringt, durch die Theorien überprüft werden. Der Umgang mit der Erfahrung war wesentlich „lockerer“ als heutzutage. Ob ein Salamander wirklich das Feuer heil übersteht, brauchte zur Zeit von Aristoteles offenbar nicht experimentell überprüft zu werden.

Obwohl in der Naturwissenschaft nach Aristoteles auch experimentelle Methoden zur Anwendung kamen, wurden die beiden genannten Merkmale der aristotelischen Na-

turwissenschaft erst in Francis Bacons (1561-1626) *Novum Organum* von 1620 überwunden. Den bisherigen Naturforschern warf Bacon vor, sie hätten „blind und dumm“ experimentiert und sich nur mit dem abgeben, „was einem gerade begegnet“ (1990, S. 147; I 70). Dieser unsystematischen, an der Alltagserfahrung orientierten Vorgangsweise setzte er sein eigenes Modell einer systematischen, theoriegeleiteten Forschung entgegen: „Die wahre Ordnung der Erfahrung zündet zuerst ein Licht an, zeigt dann bei Licht den Weg, indem sie mit einer wohlgeordneten und gegliederten Erfahrung beginnt, keineswegs aber mit einer voreiligen und irrenden. Daraus entwickelt sie die Lehrsätze und aus diesen folgert sie wiederum neue Experimente“ (S. 177; I 82). Was Bacon vorschwebte, war also ein Zusammenspiel von Theorie und Empirie: Ein theoretischer Gedanke leitet die Suche nach empirischen Belegen; daraus entstehen umfangreichere Theorien, die wiederum Anlass zu neuen Experimenten geben, usw.

Gegenüber der gewöhnlichen Erfahrung und dem Zeugnis der Sinne ist laut Bacon Skepsis angebracht. Die gewöhnliche Erfahrung (*experientia vulgari*) sei von Vorurteilen durchsetzt, die unter anderem von der Philosophie dort eingepflanzt wurden. Außerdem erkennt Bacon, dass die Sinne einen täuschen oder sogar völlig im Stich lassen können, z.B. bei sehr kleinen oder sehr weit entfernten Dingen oder bei zu schnellen oder zu langsamen Bewegungen. „Deshalb lege ich auf die unmittelbare und eigentliche Wahrnehmung der Sinne nicht viel Gewicht, sondern ich halte die Sache so, dass der Sinn nur über das Experiment, das Experiment aber über die Sache das Urteil spricht.“ (1990, S. 49) Damit öffnet Bacon das Tor für eine Naturerklärung, die weder anschaulich zu sein braucht noch mit der Alltagserfahrung übereinstimmen muss, um als eine gute Erklärung zu gelten.

Als geeignetes Mittel, um eine solche kontraintuitive Naturerklärung auf den Weg zu bringen, erwies sich später die Mathematik. Im 1623 erschienenen *Saggiatore* von Galileo Galilei (1564-1642) steht der berühmte Satz, das Buch des Universums sei „geschrieben in mathematischer Sprache, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren“ (1992, S. 38). Die Mathematik ist nicht nur das geeignete Mittel, um Versuchsanordnungen exakt zu beschreiben oder die Ergebnisse von Experimenten statistisch zu erfassen; sie ist darüber hinaus auch ein Mittel der Naturerklärung, der *Interpretatio Naturae*, wie Bacon sie nannte. Moderne naturwissenschaftliche Theorien sind häufig in mathematischer Form verfasst. Dadurch wurden naturwissenschaftliche Erklärungen zwar genauer und leichter generalisierbar, doch sie wurden auch zusehends unanschaulich und abstrakt und zu einer Sache für Spezialisten, die oft nicht in der Lage sind, ihr abstraktes Wissen in eine auch Laien verständliche Sprache zu kleiden.

Die Naturwissenschaft der Gegenwart beruht noch zu einem großen Teil auf den im 17. Jahrhundert von Bacon und Galilei formulierten methodologischen Prinzipien. Sie ist das Ergebnis einer Entwicklung, in deren Verlauf die genannten Tendenzen noch verstärkt wurden. Das Zusammenspiel von Theorie und Experiment, das Bacon angedeutet hatte, entwickelte sich zu einer effizienten Suche nach empirischen Daten, die eine nicht minder effiziente Produktion von Theorien nach sich zog. Die empirische Suche bildete zahlreiche Varianten aus: Ein Experiment in der Elementarteilchenphysik unterscheidet sich in typischer Weise von einem Experiment in der Mikrobiologie;

ein Blick durch ein Fernrohr ist etwas anderes als die Suche nach bisher unbekanntem Pflanzenarten im tropischen Urwald. (Empirische Forschung muss also keineswegs in Gestalt von „Experimenten“ durchgeführt werden; manchmal genügt ein Beobachtungsinstrument, das die Sinne unterstützt, und häufig reicht das unbewaffnete Auge aus.)

Der von Galilei angeregte Einsatz der Mathematik zur Beschreibung der Wirklichkeit erlebt erst heute seine Blütezeit. (In der Zwischenzeit wurden natürlich neue mathematische Methoden entwickelt, die weit über die von Galilei favorisierte Geometrie hinausgehen.) In manchen Bereichen (etwa in der Kosmologie) führte dies zu einer sonderbaren „Entsinnlichung“ der naturwissenschaftlichen Erkenntnis. Die Naturwissenschaft, die oft den Anspruch erhebt, nur „harte empirische Fakten“ zuzulassen, und manchmal vorgibt, ausschließlich der Erfahrung zu vertrauen, diese Naturwissenschaft ergeht sich vielerorts in sagenhaften Spekulationen, die durch die Erfahrung keineswegs gedeckt sind und sich von metaphysischen Spekulationen eigentlich nur noch dadurch unterscheiden, dass sie in die Sprache der Mathematik übersetzbar sind. Einige ziehen daraus den Schluss, dass die Naturwissenschaft – jedenfalls dort, wo sie sich der Mathematik völlig hingibt – nicht mehr die Natur beschreibt und erklärt, sondern nur noch abstrakte Modelle konstruiert, die mit der Wirklichkeit selbst kaum etwas zu tun haben.

3. Naturwissenschaftliche Handlungen und deren Ziele

3.1 Die Mikro-Ebene: Operationalismus

Der spätere Physik-Nobelpreisträger Percy W. Bridgman (1882-1961) stellte 1927 in seinem Buch *The Logic of Modern Physics* die These auf, dass sich jeder physikalische Begriff durch eine Menge von Handlungen (Operationen) definieren lässt. Z. B. würde die Bedeutung des Begriffs „Länge“ durch die Handlungen festgelegt, die nötig sind, um Längen zu messen. Mit Hilfe solcher operational definierter Begriffe könnten wiederum andere Begriffe definiert werden. So lässt sich etwa die Geschwindigkeit eines Körpers berechnen, wenn man die Länge der zurückgelegten Wegstrecke kennt und die Zeit, die der Körper dafür benötigt hat. Länge und Zeit sind operational definierbar (wenn Bridgman Recht hat), daher ist auch die Geschwindigkeit indirekt operational definierbar.

Bridgman vertrat anfangs einen radikalen Empirismus. Er war der Meinung, dass sich alle physikalischen Begriffe auf empirische und damit operational definierbare Begriffe zurückführen lassen (so wie sich der Begriff „Geschwindigkeit“ auf die Begriffe „Länge“ und „Zeit“ zurückführen lässt). Später jedoch musste er einsehen, dass dies nicht möglich ist. Er gestand der theoretischen Physik daher eine größere Eigenständigkeit zu und sprach von „mental Operationen“ und „Papier-und-Bleistift-Operationen“ der theoretischen Physiker (Bridgman 1950/51, S. 258). Dieser Schritt mag notwendig gewesen sein, um den Operationalismus zu retten, er ist aber sicherlich mit Skepsis zu beurteilen. Denn der Begriff „Operationalismus“ wird dadurch derart ausgeweitet, dass er sich auf beliebige geistige Tätigkeiten anwenden lässt. Auch unverständliche metaphysische Spekulationen von Philosophen, die kaum mehr

einen Bezug zur Erfahrung haben, sind ja mentale oder Papier-und-Bleistift-Operationen. Wodurch würde sich die Naturwissenschaft also dann von anderen geistigen Tätigkeiten (wie der Philosophie) unterscheiden?

Eine etwas andere, auf Hugo Dinger (1881-1954) zurückgehende Form des Operationalismus ist die sogenannte „Protophysik“ (vgl. Janich 1997). Die Grundidee der Protophysik besteht darin, dass die Naturwissenschaft auf einer Reihe *vorwissenschaftlicher* Operationen aufbaut, die naturwissenschaftlichen Begriffen ihren Sinn geben und damit die Naturwissenschaft mit der Welt des Alltags verbinden. Die Aufgabe des Protophysikers besteht darin, diese Operationen zu beschreiben, d.h. die Regeln anzugeben, nach denen die Operationen vollzogen werden müssen. Ein wichtiger Schritt ist hier die Angabe von Regeln zur *Herstellung von Messinstrumenten*. Dahinter steckt der Gedanke, dass die Physik vor allem insofern in der vorwissenschaftlichen Welt verwurzelt ist, als viele Messinstrumente – wie etwa Waagen und Uhren – von Handwerkern hergestellt und auch im Alltag verwendet werden (wobei diese Instrumente für den wissenschaftlichen Gebrauch natürlich verfeinert werden).

In Gestalt der Protophysik ist der Operationalismus heute einer der wichtigsten Beiträge zur Methodologie der Naturwissenschaft. Man sollte aber nicht übersehen, dass der Operationalismus eine Voraussetzung macht, die nicht unproblematisch ist: Handlungen werden Ziele unterschoben, die mit den Zielen, die die Handelnden selbst verfolgen, nicht identisch sind. Ein Handwerker, der eine Uhr herstellt, beabsichtigt damit wohl kaum, die begrifflichen Grundlagen der Naturwissenschaft festzulegen. Ein Wissenschaftler, der die Uhr zur Zeitmessung benützt, beabsichtigt damit in erster Linie, den Zeitpunkt eines bestimmten Ereignisses oder die Zeitstrecke zwischen zwei Ereignissen festzustellen. Darüber hinaus verfolgt er auch noch übergeordnete Ziele: Die Zeitmessung kann z.B. Bestandteil eines Experiments sein, das wiederum Teil einer ganzen Versuchsreihe ist, die der Überprüfung einer theoretischen Hypothese dient. Abgesehen von diesen unmittelbaren und übergeordneten Zielen ist eine Zeitmessung aber nichts weiter als – eine Längenmessung. Wissenschaftler beabsichtigen mit dieser Operation sicherlich nicht, den Begriff der Zeitdauer zu definieren. *Diese* Funktion wird erst vom Operationalismus in die Handlung hineingelesen.

Operationalisten unterstellen also bestimmten wissenschaftlichen bzw. vorwissenschaftlichen Handlungen Funktionen, die den Handelnden selbst nicht bewusst sind. Sie verfolgen somit eine Strategie, die in der Soziologie als „Funktionalismus“ bezeichnet wird: Handlungen werden danach beurteilt, welche Funktion sie in einem größeren sozialen Zusammenhang besitzen, wobei diese Funktionen durch außen stehende Beobachter zugeschrieben werden und sich nur selten mit den Zielsetzungen decken, die die Handelnden selbst mit ihren Handlungen verbinden.

3.2 Die Meso-Ebene: Wissenschaftssoziologie

Soziologische Untersuchungen der Naturwissenschaft folgen in der Regel nicht dem funktionalistischen Paradigma, dem wir vorhin im Zusammenhang mit dem Operationalismus begegnet sind, sondern eher dem Modell der teilnehmenden Beobachtung eines Ethnologen, der sich in einer fremden Kultur bewegt, ohne diese durch vorschnelle Interpretationen an seine eigene Verständnisvoraussetzungen anzupassen. Im Idealfall begnügen sich Wissenschaftssoziologen mit detaillierten Beschreibungen

von Handlungen und sozialen Strukturen und gehen mit verallgemeinernden Schlussfolgerungen äußerst vorsichtig um. Die prägnantesten Beispiele für Forschungen, die diesem Ideal einigermaßen entsprechen, findet man in den „Laborstudien“, bei denen Soziologen über längere Zeiträume die kooperative Arbeit von Laborwissenschaftlern beobachten und registrieren, ohne selbst eine tiefer gehende wissenschaftliche Kenntnis der jeweiligen Forschungsgegenstände zu besitzen (vgl. Latour & Woolgar 1986, Knorr-Cetina 1991).

Die Handlungen, die auf diese Weise erforscht werden, lassen sich wohl am ehesten auf der Meso-Ebene ansiedeln. Es sind also teils kürzere, teils längere Abfolgen von Einzelhandlungen. Ein Beispiel dafür ist ein Experiment, das aus der Planung, dem Aufbau der Versuchsanordnung, der eigentlichen Durchführung und der Auswertung der gewonnenen Daten besteht. In den verschiedenen Phasen eines solchen Experiments sprechen die beteiligten Wissenschaftler miteinander, konsultieren die Veröffentlichungen von Kollegen (bzw. Konkurrenten) und schreiben schließlich ihre eigenen Ergebnisse nieder. All diese Elemente fließen ineinander und ergeben so ein komplexes Handlungsgebäude. Eingeschlagene Wege werden wieder verlassen, Versuchsanordnungen reorganisiert und Manuskript-Entwürfe landen im Papierkorb. Das Bild, das die Soziologen dem Leser ihrer Studien vom Laborleben vermitteln, ist daher entsprechend verwirrend und angefüllt mit scheinbar sinnlosen Detailbeobachtungen. Doch aus diesen Details lassen sich auch allgemeine Gesichtspunkte ableiten:

(1) Eines der wichtigsten Ziele von Naturwissenschaftlern besteht darin, aus chaotischen Gegebenheiten Ordnung herzustellen. Experimentatoren produzieren Datenmaterial, das häufig erst nach längerer Arbeit eine kohärente Deutung erlaubt (wenn überhaupt). Zu diesen selbst gewonnenen Daten kommen viele weitere Daten aus Publikationen von Fachkollegen, die dort wiederum in Verbindung mit unterschiedlichen theoretischen Hypothesen präsentiert werden. Die Ordnung all dieser Einflüsse erfolgt nach den Regeln des gegenwärtigen Wissenschaftsbetriebs meist durch das Verfassen eines Fachartikels, von dem zunächst nur einzelne Entwürfe und Fragmente existieren, die am Ende zu einem einigermaßen lesbaren Text zusammengefügt werden müssen.

(2) Auch wenn das übergeordnete Ziel naturwissenschaftlichen Handelns darin bestehen mag, eine Theorie zu bestätigen oder zu widerlegen, so besteht das unmittelbare Ziel doch meist darin, eine Sache „zum Laufen zu bringen“. Bei dieser Sache kann es sich um ein Experiment handeln, aber ebenso um einen mathematischen Beweis. Experimentatoren sind daran interessiert, ihre Versuche so durchzuführen, dass das dabei herauskommt, was sie sich erwarten; Theoretiker wollen aus bestimmten Voraussetzungen interessante Vorhersagen ableiten und sie wollen jene Beweise zustande bringen, die ihre Vermutungen untermauern. Naturwissenschaftler sind dabei häufig gezwungen, Ad-hoc-Annahmen zu treffen. Bringt z.B. ein Durchgang eines Experiments nicht das gewünschte Ergebnis, so wird angenommen, dass dies auf eine unbekannte Fehlerquelle zurückzuführen ist, etwa auf eine Verunreinigung der verwendeten Utensilien.

(3) Um erfolgreich Wissenschaft zu betreiben, benötigt man nicht nur Kenntnisse, die durch ein abstraktes Studium erlangt werden können. Die wissenschaftliche Arbeit ist (wie die Arbeit eines jeden Experten) von „implizitem Wissen“ durchsetzt, von prak-

tischen Kenntnissen, die sich nicht in explizite Handlungsregeln übersetzen lassen und die man deshalb nur durch eigene Erfahrung erwerben kann (vgl. Janik u.a. 2000). Somit lässt sich die wissenschaftliche Arbeit auch nicht auf reine *theoría* im antiken Sinn reduzieren. Sogar die Schreibtisch-Forschung von Theoretikern, aber natürlich noch mehr die empirische Forschung enthält jene Form des Wissens, die die alten Griechen als *téchne* bezeichneten. Mehr noch: Die wissenschaftliche Arbeit beruht außerdem auch auf implizitem Wissen, das die alten Griechen weder zur *theoría* noch zur *téchne* gezählt hätten, weil seine Anwendung „intuitiv“ erfolgt, ohne Anwendung von Regeln und ohne rationale Einsicht in die Natur der Dinge.

(4) All dies erweckt zumindest bei oberflächlicher Betrachtung den Eindruck, als wären Naturwissenschaftler gar nicht so sehr an der Erforschung der Wirklichkeit interessiert, sondern an der Herstellung eines Ergebnisses. Nicht um die Wahrheit scheint es ihnen zu gehen, sondern um das Produkt, um den in einer möglichst renommierten Fachzeitschrift veröffentlichten Aufsatz. Manche Wissenschaftssoziologen meinen daher, Naturwissenschaftler seien damit beschäftigt, „Tatsachen zu konstruieren“. Ob dieser Eindruck richtig ist, bleibe dahingestellt. Doch schon allein die Tatsache, dass die Naturwissenschaft bei einigen Beobachtern einen solchen Eindruck hinterlässt, halte ich für bemerkenswert.

3.3 Die Makro-Ebene: Wissenschaftsphilosophie

Betrachten wir die Naturwissenschaft nun aus der Vogelperspektive: als ein großes strukturiertes System von Handlungen. Die Vogelperspektive ist der bevorzugte Standpunkt der Philosophie, deshalb befasste sich ein großer Teil der Wissenschaftsphilosophie des 20. Jahrhunderts mit Analysen auf der Makro-Ebene. Das vielleicht wichtigste Strukturmoment, das dabei zum Vorschein kam, ist der Dualismus von *Empirie* und *Theorie*, von Beobachtungen und theoretischen Entwürfen. Ich möchte in der Folge auf drei Positionen eingehen, die diesen Dualismus unterschiedlich interpretieren: Induktivismus, Falsifikationismus und Holismus.

(1) Den Kern des Induktivismus bildet die These, dass theoretische Aussagen durch Induktion aus Beobachtungen abgeleitet werden (vgl. Chalmers 1994, Kap. 1-3). Unter „Induktion“ ist dabei zweierlei zu verstehen; einerseits die bloße Verallgemeinerung: Stellt man empirisch fest, dass *alle beobachteten* Dinge einer bestimmten Art eine bestimmte Eigenschaft besitzen, so kann man daraus ein allgemeines Gesetz ableiten, das besagt, dass *überhaupt alle* Dinge dieser Art – auch die unbeobachteten – jene Eigenschaft besitzen. Ein Beispiel für ein solches Gesetz: „Alle Eisenstücke rosten unter dem Einfluss von Luft und Wasser.“ Solche Gesetze werden manchmal auch als „phänomenologische“ Gesetze bezeichnet, weil sich die Verallgemeinerung auf beobachtbare Phänomene (wie das Rosten) bezieht. (Zum Begriff „Phänomen“ in den Naturwissenschaften vgl. Hacking 1996, Kap. 13.)

Andererseits ist mit „Induktion“ aber auch gemeint, dass man nach theoretischen Erklärungen der beobachteten Sachverhalte und damit auch der phänomenologischen Gesetze sucht. Beispielsweise wird das Rosten als eine chemische Reaktion gedeutet, bei der Eisenoxide entstehen. So kann erklärt werden, warum das phänomenologische Gesetz „Alle Eisenstücke rosten unter dem Einfluss von Luft und Wasser“ gültig ist. Eine solche Erklärung beinhaltet wieder andere Gesetze, die theoretisch erschlossene,

nicht-beobachtbare Sachverhalte betreffen, z.B. eines, das die Entstehung von Eisen-Ionen als erste Stufe der Rostbildung beschreibt: $2 \text{ Fe} + \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Fe}^{2+} + 4 \text{ OH}^-$.

Neben der Behauptung, dass Theorien aufgrund von Beobachtungen entwickelt werden, enthält der Induktivismus noch eine zweite These. Sie lautet, dass Theorien durch Beobachtungen *bestätigt* werden können, dass also unser Glaube an die Wahrheit der Theorie durch Beobachtungen *gerechtfertigt* werden kann. Diese These ist problematisch (in der Wissenschaftsphilosophie spricht man daher vom „Induktionsproblem“). Ein naturwissenschaftliches Gesetz soll für alle Dinge einer bestimmten Art gelten. Das können aber sehr viele sein – man denke etwa an das Gravitationsgesetz, das nicht nur für irdische Körper, sondern für alle Körper im Universum gelten soll. Tatsächlich beobachten kann man nur relativ wenige dieser Körper. Man schließt also aus *wenigen* Beobachtungen auf ein *allgemeines* Gesetz, das auch auf den Bereich des Nicht-Beobachtbaren zutreffen soll, der weit umfangreicher ist als der Bereich des Beobachtbaren. Seit David Hume (1711-1776) haben Philosophen immer wieder die Berechtigung dieses Schlusses angezweifelt: Induktion rechtfertigt nicht den Glauben an die Wahrheit allgemeiner Gesetze (vgl. Hume 1888, I, III, 6).

Eine andere Schwäche des Induktivismus besteht darin, dass er das Verhältnis von Empirie und Theorie nicht richtig darstellt. Es ist ja nicht so, dass Wissenschaftler wie Spaziergänger durch die Welt streifen und dabei per Zufall Entdeckungen machen, die den Anstoß zur Entwicklung von Theorien geben. Das kommt zwar gelegentlich vor, doch in den meisten Fällen wird nach Entdeckungen aktiv *gesucht*, wobei man sich von theoretischen Annahmen leiten lässt. Wissenschaftler haben meist – fertige oder unfertige – Theorien im Kopf und suchen gezielt nach empirischen Hinweisen für die Gültigkeit dieser Theorien. Es stimmt also nicht, dass immer zuerst die Erfahrung kommt und danach die Theorie. Mindestens ebenso oft gibt es zuerst eine Theorie und die Erfahrungen folgen nach, wobei es diese Erfahrungen gar nicht gäbe, wenn es zuvor nicht die Theorie gegeben hätte.

(2) Wegen dieser Mängel sahen sich Wissenschaftsphilosophen veranlasst, Alternativen zum Induktivismus zu entwickeln.

Eine der bekanntesten ist der auf Karl Popper (1902-1994) zurückgehende *Falsifikationsismus* (vgl. Popper 1934, Chalmers Kap. 4-6). Wie wir gesehen haben, ist es zwar umstritten, ob Theorien empirisch (nämlich induktiv) bestätigt werden können, doch allem Anschein nach lassen sie sich leicht empirisch *widerlegen* (falsifizieren). So wäre das Gesetz „Alle Eisenstücke rosten unter dem Einfluss von Luft und Wasser“ widerlegt, sobald Eisenstücke beobachtet werden, die *nicht* rosten, obwohl Luft und Wasser vorhanden sind.

Popper machte aus dieser Überlegung ein methodologisches Prinzip und empfahl den Naturwissenschaftlern diesem Prinzip zu folgen. Sie sollten dabei so vorgehen: Zuerst sollten sie allgemeine Gesetze aufstellen und dann versuchen sie zu widerlegen – durch den Nachweis von Einzelfällen, die den Gesetzen nicht genügen. Gelingt dieser Widerlegungsversuch, so muss das Gesetz aufgegeben werden; gelingt er nicht, so arbeitet man mit dem Gesetz weiter und unterwirft es neuen Widerlegungsversuchen.

Diesem falsifikationistischen Modell der naturwissenschaftlichen Forschung ist zugute zu halten, dass das Verhältnis von Empirie und Theorie darin insofern wirklichkeitsnäher eingeschätzt wird als im Induktivismus, als die Theorie nicht mehr der Empirie nachgeordnet wird. Theorien erscheinen vielmehr als kreative Produkte, deren empirische Basis anfangs recht dürftig sein kann. Es ist möglich, dass zum Zeitpunkt des ersten Entwurfs einer Theorie nur wenige empirische Belege für ihre Wahrheit sprechen; dennoch kann eine solche Theorie lange Zeit Bestand haben, nämlich dann, wenn es in weiterer Folge nicht gelingt sie zu falsifizieren.

Gegen das Modell ist allerdings einzuwenden, dass Naturwissenschaftler in Wirklichkeit *nicht* so vorgehen, wie Popper es gerne haben möchte. Vor allem sind sie nicht daran interessiert, ihre Theorien zu falsifizieren. Ich habe schon darauf hingewiesen, dass Naturwissenschaftler vornehmlich etwas „zum Laufen bringen“ wollen. Sie möchten ihre jeweilige Theorie nicht widerlegen, sondern untermauern. Naturwissenschaftler ignorieren daher häufig empirische Befunde, die mit ihrer Theorie nicht in Einklang zu bringen sind. Solche „Anomalien“ (Kuhn 1976, Kap. 6) werden zur Seite geschoben und erst dann wieder hervorgeholt, wenn sich so viele von ihnen angesammelt haben, dass sie nicht mehr ignoriert werden können. Auch dann freilich wird die alte Theorie in der Regel erst aufgegeben, wenn bereits eine bessere zur Verfügung steht, die mit den Anomalien fertig wird.

(3) Was ebenfalls gegen den Falsifikationismus spricht, ist der Umstand, dass keine Theorie alleine, isoliert von anderen Theorien, falsifiziert werden kann. Damit sind wir bei der dritten Position, dem *Holismus*: Die „Duhem-Quine-These“ – benannt nach einem französischen Physiker und einem amerikanischen Philosophen – besagt, „dass unsere Aussagen über die Außenwelt nicht als einzelne Individuen sondern als ein Kollektiv vor das Tribunal der sinnlichen Erfahrung treten.“ (Quine 1979, S. 45) Übertragen auf die Naturwissenschaft bedeutet dies, dass niemals einzelne Theorien, sondern immer *mehrere* gleichzeitig mit der Erfahrungswirklichkeit konfrontiert werden. Stellt sich bei dieser Konfrontation heraus, dass das Ergebnis nicht den Erwartungen entspricht – Poppers „Falsifikation“ –, so hat man die Qual der Wahl: *Eine* Theorie muss jedenfalls aufgegeben werden, aber welche? Die sogenannte Falsifikation ist demnach kein eindeutiger Vorgang. Die empirische Überprüfung von Theorien lässt lediglich den Schluss zu, dass etwas falsch ist; aber welche der vielen Annahmen, die (laut der Duhem-Quine-These) gleichzeitig mit der Wirklichkeit konfrontiert werden, zurückgenommen wird, das bleibt offen. Hier müssen Naturwissenschaftler eine Wahl treffen, die nicht völlig durch die Erfahrung gedeckt ist. Popper hat also insofern Unrecht, als keine Einzeltheorie falsifiziert werden kann. Im Prinzip kann jede Theorie dadurch gegen empirische Widerlegung immunisiert werden, dass man *andere* theoretische Annahmen opfert.

Betrachten wir ein Beispiel:

Johannes Kepler (1571-1630) entdeckte die nach ihm benannten Gesetze der Planetenbewegung aufgrund von Messungen, die er selbst und sein Lehrer Tycho Brahe (1546-1601) mit Quadranten vorgenommen hatten. Ein Quadrant ist ein Instrument zur Messung von Winkeln, das dazu benützt werden kann, die Position von Gestirnen zu bestimmen. Eine solche Messung setzt unter anderem die Gültigkeit bestimmter trigonometrischer Gesetze voraus; sie setzt aber auch voraus, dass sich das Licht der

Gestirne geradlinig ausbreitet. Darüber hinaus werden dabei einige Annahmen gemacht, die so selbstverständlich erscheinen, dass man normalerweise nicht an sie denkt: etwa dass sich der Quadrant während der Messung nicht wesentlich verformt.

Angenommen nun, ein mutmaßliches Gesetz der Planetenbewegung widerspreche einigen der auf diese Weise vorgenommenen Messungen. Wie könnte man darauf reagieren? Man könnte natürlich das Gesetz selbst aufgeben. Ebensogut könnte man aber den Fehler bei anderen Annahmen suchen, beispielsweise bei der Annahme über die geradlinige Ausbreitung des Lichtes (vielleicht breitet sich das Licht nicht geradlinig aus) oder aber in der Annahme über die Festigkeit des Quadranten (vielleicht gibt es unmerkliche Verformungen, die das Messergebnis beeinflussen). Man könnte sogar die Gültigkeit der trigonometrischen Gesetze in Frage stellen, was heute, nachdem Einstein den Raum unserer Erfahrung zu einem nicht-euklidischen Raum erklärt hat, wohl weniger ungewöhnlich erscheint als zur Zeit von Kepler. All diese mit der Quadranten-Messung verbundenen theoretischen Annahmen stehen bei der empirischen Prüfung des Planetengesetzes mit auf dem Spiel. Sie treten gemeinsam „vor das Tribunal der sinnlichen Erfahrung“ und können daher nur gemeinsam falsifiziert werden.

Ein Quadrant ist ein relativ einfaches Messgerät. Angesichts moderner Messapparaturen tritt der Theorien-Holismus sogar noch deutlicher hervor. Die von einem Elektronenmikroskop gelieferten Bilder, Aufnahmen von Teilchenspuren in Blasenkammern oder Messungen mit Radioteleskopen sind noch weit mehr mit theoretischen Annahmen durchsetzt. Die meisten dieser Messgeräte sind selbst nichts anderes als technische Anwendungen naturwissenschaftlicher Theorien, die vor nicht allzu langer Zeit unbekannt waren. (Das unterscheidet sie von Quadranten, die ja aus der Praxis der Landvermessung kamen.) Nur wenn diese Theorien richtig sind, funktionieren die Messgeräte wie erwünscht; nur dann messen sie das, was sie messen sollen.

Man wird vielleicht einwenden, dies treffe auf Beobachtungen *ohne Instrumente* nicht zu. Dieser Einwand ist richtig und falsch zugleich. Er ist richtig, weil Beobachtungen mit bloßem Auge – um ein Sinnesorgan stellvertretend zu nennen – keine wissenschaftlichen Theorien voraussetzen. Es werden aber Annahmen *anderer*, vorwissenschaftlicher Art gemacht: dass meine Augen korrekt funktionieren; dass die Verarbeitung der Netzhautreize im Gehirn während der Beobachtung so abläuft, wie ich es gewohnt bin; dass ich nicht zu müde bin, um zuverlässig beobachten zu können; dass ich nicht unter dem Einfluss von Drogen stehe, die meine Wahrnehmung trüben. Dies sind Annahmen, die jeder Wissenschaftler machen muss, der seinen eigenen Beobachtungen zutraut, über das Schicksal einer Theorie zu entscheiden. Im Prinzip könnte man auf ein Planetengesetz, das mit der Erfahrung in Widerspruch zu stehen scheint, auch so reagieren, dass man die Beobachtungsfähigkeit der Wissenschaftler in Zweifel zieht. (Es soll schon vorgekommen sein, dass Wissenschaftler in dieser Weise auf die Einwände von Kollegen reagiert haben.) Freilich ist dies nur möglich, solange es sich um Einzelbeobachtungen handelt. Kommen mehrere Beobachter bei mehreren Gelegenheiten zum selben Ergebnis, so wird man den Fehler wohl eher in den Theorien als bei den Beobachtungen suchen.

4. Das Ziel der Naturwissenschaft

Welchen Zweck hat die Naturwissenschaft als Ganze? Was ist das übergeordnete Ziel des naturwissenschaftlichen Handelns? Die meisten Naturwissenschaftler vergangener Jahrhunderte hätten diese Frage wohl so beantwortet: Das Ziel der Naturwissenschaft ist die Suche nach Wahrheit, die Naturerkenntnis. Die Vorstellung, dass ihre eigene Tätigkeit dazu beitragen kann, die Geheimnisse der Natur zu entschlüsseln, beehrte Generationen von Wissenschaftlern. Religiös motivierte Gemüter sahen in ihrer Arbeit sogar nicht weniger als das Nachzeichnen des göttlichen Schöpfungsplans. Diese emphatische Haltung gegenüber der Naturwissenschaft, ob mit oder ohne religiöse Gefühle, ist heute zwar etwas seltener geworden, zweifellos existiert sie aber noch, nicht zuletzt – in abgeschwächter Form – auf der Seite der Laien, die populärwissenschaftliche Publikationen und Fernsehdokumentationen konsumieren, weil sie etwas über die Wunder der Natur erfahren möchten.

Das 20. Jahrhundert brachte jedoch wissenschaftstheoretische Positionen hervor, die Namen wie „Instrumentalismus“, „Konstruktivismus“ oder „Pragmatismus“ führen. Den Vertretern dieser Auffassungen ist gemeinsam, dass sie die Wahrheit als Ziel der Naturwissenschaft zurückweisen. Ihrer Meinung nach beschreibt die Naturwissenschaft keine vom menschlichen Beobachter unabhängige Realität. Sie dient daher nicht der Naturerkenntnis, sondern anderen Zwecken. So bekennt sich Ernst von Glasersfeld „zu einer instrumentalen Anschauung, die von Wahrnehmungen, Begriffen und Theorien nur Viabilität, also Brauchbarkeit, im Bereich der Erlebenswelt und des zielstrebigsten Handelns verlangt“ (Glasersfeld 1992, S. 22). Und Bas van Fraassen (1980), der sich selbst als „konstruktiver Empirist“ bezeichnet, meint, naturwissenschaftliche Theorien müssten lediglich empirisch adäquat sein, während ihre Wahrheit keine Rolle spiele, wobei mit „empirischer Adäquatheit“ gemeint ist, dass sich aus der Theorie nur richtige empirische Voraussagen ableiten lassen.

Ich möchte jetzt nicht der Frage nachgehen, ob Auffassungen dieser Art haltbar sind. Es geht mir nur darum, das darin zum Ausdruck kommende Verständnis von Naturwissenschaft zu verdeutlichen und historisch einzuordnen. Werfen wir dazu einen Blick zurück auf Francis Bacon, der uns schon im zweiten Abschnitt begleitet hat. Für Bacon war die *Interpretatio Naturae*, die Naturerkenntnis und Naturerklärung, eines der höchsten Ziele der Naturwissenschaft. Er bemühte sich, die Regeln dieser Naturerkenntnis zu formulieren und anderen Wissenschaftlern bei der Anwendung derselben ein Vorbild zu sein. Doch Bacon war nicht nur Wissenschaftler und Philosoph, sondern auch Politiker. Er war Lordkanzler und bekleidete somit das höchste Staatsamt im damaligen England. Es verwundert daher nicht, dass er in der Naturwissenschaft vor allem ein nützliches Werkzeug sah: „Das wahre und rechtmäßige Ziel der Wissenschaften ist kein anderes, als das menschliche Leben mit neuen Erfindungen und Mitteln zu bereichern.“ (1990, S. 173; I 81) Sein *Novum Organum* trägt den Untertitel „Aphorismen über die Interpretation der Natur und die Herrschaft des Menschen“ und es ist darin von der „Macht über die Natur“ die Rede, die der Mensch durch die Wissenschaft ausübt.

Immerhin: Bei Bacon hielten einander Naturerkenntnis und Naturbeherrschung noch einigermaßen die Waage. Wen die technische Umsetzung wissenschaftlicher Erkennt-

nisse nicht interessierte, der konnte Bacons Werk immer noch als eine Anleitung zur „reinen Forschung“ lesen. Auch wer der Tatsache, dass die Wissenschaft Macht über die Natur und damit auch soziale und politische Macht verleiht, eher kritisch gegenüberstand, der konnte sich damit trösten, dass die Wissenschaft auch eine politisch unbedenkliche Seite hat, dass sie einfach nur die Wunder der Natur erklärt. Dieser Trost steht Instrumentalisten, Konstruktivisten und allen anderen, für die die Naturerkenntnis kein Ziel der Wissenschaft ist, nicht mehr zur Verfügung. Wissen ist (nur noch) Macht. Überspitzt formuliert könnte man sagen, dass Instrumentalismus, Konstruktivismus usw. nichts anderes sind als die in Ismen gekleidete Idee der menschlichen Herrschaft über die Natur.

Literatur- und Medienverzeichnis

- Aristoteles: *Metaphysik. Bücher I(A)-VI(E). Griechisch-Deutsch. 3. Aufl.* Hamburg (Meiner) 1989. (Philosophische Bibliothek. 307)
- Aristoteles: *Physikvorlesung (Physica). Werke in deutscher Übersetzung. Band II.* Darmstadt (Wiss. Buchges.) 1967.
- Aristoteles: *Tierkunde (Historia animalium). 2. Aufl.* Paderborn (Schöningh) 1957.
- Bacon, Francis: *Neues Organon (Novum Organum). Teilband 1 u. 2. Lateinisch-Deutsch.* Hamburg (Meiner) 1990. (Philosophische Bibliothek. 400 a/b)
- Bridgman, Percy W.: *The Logic of Modern Physics.* New York (Macmillan) 1927. (dt.: Die Logik der heutigen Physik. München 1932)
- Bridgman, Percy W.: *The Nature of Some of our Physical Concepts I.* In: British Journal for the Philosophy of Science, 1 (1950/51), S. 257-272.
- Chalmers, Alan F.: *Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie. 3. Aufl.* Berlin u.a. (Springer) 1994. (Originalausg.: What Is This Thing Called Science? Milton Keynes 1982)
- Galilei, Galileo: *Il Saggiatore.* Milano (Feltrinelli) 1992.
- Glaserfeld, Ernst von: *Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität.* In: Foerster, Heinz von (Hg.): Einführung in den Konstruktivismus. München u.a. (Piper) 1992, S. 9-39.
- Hacking, Ian: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften.* Stuttgart (Reclam) 1996. (UB 9442) (Originalausg.: Representing and Intervening. Cambridge u.a. 1983)
- Hume, David: *A Treatise of Human Nature.* Oxford (Clarendon) 1888. (dt.: Ein Traktat über die menschliche Natur, Hamburg 1978/1989)
- Janich, Peter: *Das Maß der Dinge. Protophysik von Raum, Zeit und Materie.* Frankfurt a.M. (Suhrkamp) 1997. (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft. 1334)
- Janik, Allan & Seekircher, Monika & Markowitsch, Jörg: *Die Praxis der Physik. Lernen und Lehren im Labor.* Wien (Springer) 2000.
- Kitcher, Philip: *A Plea for Science Studies.* In: Noretta, Koertge (Hg.): A House Built on Sand. Exposing Postmodernist Myths About Science. New York u.a. (Oxford Univ. Press) 1998, S. 32-56.
- Knorr-Cetina, Karin: *Die Fabrikation von Erkenntnis. Rev. u. erw. Fassung.* Frankfurt a.M. (Suhrkamp) 1991. (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft. 959) (Originalausg.: The Manufacture of Knowledge. Oxford 1981)

-
- Kuhn, Thomas S.: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. 2. Aufl. Frankfurt a.M. (Suhrkamp) 1976. (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft. 25) (Originalausg.: *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago u.a. 1962)
- Latour, Bruno & Woolgar, Steve: *Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts*. Erw. Fassung. Princeton (Princeton Univ. Press) 1986.
- Platon: *Gorgias*. In: *Sämtliche Werke II*. Griechisch und Deutsch. Frankfurt a.M. u.a. (Insel) 1991, S. 175-417.
- Quine, Willard Van Orman: *Von einem logischen Standpunkt. Neun logisch-philosophische Essays*. Frankfurt a.M. u.a. (Ullstein) 1979. (Originalausg.: *From a Logical Point of View*, 2. Aufl. Cambridge, Mass. 1961)
- Van Fraassen, Bas C.: *The Scientific Image*. Oxford u.a. (Clarendon) 1980.