

Höttecke, Dietmar

Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der "Natur der Naturwissenschaften"

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 7 (2001), S. 7-23



Quellenangabe/ Reference:

Höttecke, Dietmar: Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der "Natur der Naturwissenschaften" - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 7 (2001), S. 7-23 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315358 - DOI: 10.25656/01:31535

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315358>

<https://doi.org/10.25656/01:31535>

in Kooperation mit / in cooperation with:



IPN

Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

<https://www.leibniz-ipn.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS

DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung

E-Mail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

DIETMAR HÖTTECKE

Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“

Zusammenfassung:

In diesem Artikel wird der Forschungsstand zu Schülervorstellungen über die „Natur der Naturwissenschaften“ dargestellt und diskutiert. Es zeigt sich, dass die Vorstellungen über reale, naturwissenschaftliche Forschungsprozesse, ihre Akteure, Mechanismen und Bedingungen unzureichend sind. Außerdem wird der epistemologische Status naturwissenschaftlicher Wissensbestände falsch eingeschätzt.

Abstract:

The aim of this article is to give a review of research on students' conceptions of the nature of science. It will be shown that students hold insufficient conceptions of scientific practice, scientists, mechanisms and conditions of scientific research. Moreover, the epistemological status of scientific knowledge is misjudged by many students.

1. Einleitung

Welche Vorstellungen machen sich Schüler und Schülerinnen von der Praxis naturwissenschaftlichen Forschens, dem epistemologischen Status naturwissenschaftlicher Wissensbestände oder den Naturwissenschaftlern als lebenden und arbeitenden Menschen? Dieser Verständniskomplex wird im folgenden mit dem Schlagwort der „Natur der Naturwissenschaften“ belegt, das an die im angelsächsischen Sprachraum gängige Formulierung „nature of science“ anknüpft (Aicken 1991, Bybee, Powell, Ellis, Giese, Parisi & Singleton 1991, Hung 1997, Matthews 1996, McComas 1995, 1998, Nott 1992, Robinson 1998a, b, Solomon 1991).

Es handelt sich um einen für die Didaktiken der Naturwissenschaften relevanten Forschungsbereich, denn ein Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts allgemeinbildender Schulen besteht schließlich darin, adäquate und d.h. realitätsnahe Vorstellungen über Naturwissenschaft zu entwickeln. Ein Überblick über die Forschungslage zu Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen über Naturwissenschaft zeigt jedoch ein defizitäres Bild. Es ist die Aufgabe dieses Artikels, den Forschungsstand in Bezug auf diesen Verständniskomplex anhand einer bibliographischen Analyse zusammenzufassen und damit eine Diskussion um mögliche Lösungen anzuregen.

Meine Analyse stützt sich v.a. auf angelsächsische Beiträge zum Naturwissenschaftsverständnis, weil dieser Forschungsbereich in Deutschland bisher kaum als relevantes Thema erkannt und als Forschungsgegenstand behandelt worden ist. Dennoch bin ich der Meinung, dass sich genauso wie bei den Vorverständnisstudien zu anderen Themenbereichen wertvolle Hinweise zu einer Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichts und der Lehrer(aus)bildung ergeben, auch wenn die Schulsysteme, die Curricula und die Methodiken des Unterrichts verschiedener Staaten nicht kongruent sind. Mein besonderes Augenmerk gilt dabei der Physik und dem Physikunterricht.

Die vorliegenden Forschungsergebnisse zum Schülerverständnis zur Natur der Naturwissenschaften sollen anhand von vier Themenschwerpunkten zusammengetragen und diskutiert werden:

- Person des Wissenschaftlers, seine Arbeit und ihre Bedingungen,
- epistemologischer Status naturwissenschaftlichen Wissens,
- Experiment im Unterricht und als Forschungspraxis,
- naturwissenschaftliche Wissensproduktion und ihre Bedingungen.

2. Verständnis von der Person des Naturwissenschaftlers, seiner Arbeit und ihren Bedingungen

2.1 Stereotype Vorstellungen von der Person eines Naturwissenschaftlers

Kinder und Jugendliche, ja selbst Erwachsene und Wissenschaftler vertreten oft stereotype Vorstellungen eines typischen Naturwissenschaftler. Einen frühen Versuch, eine Standardvorstellung in einer Population amerikanischer High-School-Schüler zu identifizieren haben Mead und Métraux (1957) dokumentiert. In der Erhebung wurden qualitative Daten in Form von Essays, die die Schüler geschrieben haben, gesammelt und ausgewertet. Es ergibt sich eine Mischung positiver und negativer Aspekte als Stereotyp: Der typische Naturwissenschaftler ist ein Mann in einem weißen Kittel. Er trägt einen Bart oder wirkt unrasiert und ungekämmt. Er ist von Laborinstrumenten umgeben mit denen er den ganzen Tag im Labor hantiert. Er hat keine Zeit und weiß nichts vom Rest der Welt. Er ist äußerst intelligent und geheimis-krämmerisch. Seine Arbeit kann sehr gefährlich sein.

Chambers (1983) verwendet ein Evaluationsverfahren zur Ermittlung stereotyper Vorstellungen, das nichtsprachliche Fähigkeiten der Kinder nutzt, und kommt zu ähnlichen Ergebnissen. In den Jahren 1966-1977 nahmen insgesamt 4807 kanadische Kinder aus einem Altersintervall vom Kindergartenalter bis zur 5. Klasse an einem Draw-a-Scientist-Test teil. Die Kinderbilder wurden anhand von sieben Indikatoren ausgewertet. Neben dem Tragen eines Kittels, eines Bartes oder / und einer Brille gelten eine symbolische Forscherumgebung (Instrumente, Laborausstattung) und Symbole des Wissens (Bücher, Sammlerstücke) als Indikatoren eines Stereotyps. Dazu kommen noch ein technologisches Ambiente und Textelemente in den Bildern wie z.B. Formeln. Chambers stellt fest, dass die Anzahl der Indikatoren einer stereotypen und standardisierten Vorstellung vom Wissenschaftler mit dem Alter zunehmen. Im

2./3. Schuljahr taucht diese Vorstellung verstärkt auf und kommt im 4./5. Schuljahr zur vollen Entfaltung. Wird den Kindern Gelegenheit gegeben, noch ein zweites Bild anzufertigen, kommen alternative Stereotype zum Vorschein. Diese Bilder zeigen verstärkt einen mythischen Wissenschaftlertypus nach Art eines Mr. Jekyll / Mr. Hyde oder Frankenstein. Chambers schließt, dass dieser mythische Typus den weitaus sterileren Typus, wie er sich in den sieben o.g. Indikatoren spiegelt, niemals vollständig verdrängt hat und mit zur Vorstellung vom Wissenschaftler beiträgt.

Die cartoon- oder comicartigen Wissenschaftlerstereotype werden von Kindern nicht unbedingt als wahrhaftig angesehen. Bei genauem Nachfragen kann man mitunter feststellen, dass die Kinder sehr wohl wissen, dass sie nicht der Wirklichkeit entsprechen (Solomon 1993). Sie entstammen der Alltagswelt: Comics, Cartoons und Filme sind an ihrer Produktion maßgeblich beteiligt. Insofern ist die Draw-a-Scientist-Testmethode kritisch zu bewerten. Kinder, die aufgefordert werden, einen Wissenschaftler zu zeichnen, werden eher ihrer Phantasie freien Lauf lassen, und selbst Cartoons anfertigen, so als würde man sie auffordern, einen Drachen zu malen (Solomon 1993). Aber selbst wenn Kinder in der Lage sind, parallel verschiedene Vorstellungen vom Wissenschaftler zu vertreten, und auch den Grad an Authentizität der jeweiligen Vorstellung einschätzen können, heißt das dennoch, dass Cartoonvorstellungen zum Verständnis zu Wissenschaftlern und Wissenschaft beitragen.

Solomon, Scott und Duveen (1996) verweisen anhand einer Erhebung an 14-15-jährigen Schülern und Schülerinnen, die bereits drei Jahre naturwissenschaftlichen Unterricht besucht haben, darauf hin, dass der Naturwissenschaftsunterricht während der Schulzeit das Verständnis von Wissenschaft und Wissenschaftlern beeinflusst und einen Wechsel einleitet. Werden zuvor cartoonartige Vorstellungen vertreten, wie z.B. dass Entdeckungen aus Zufall gemacht werden, verschiebt sich das Bild hin zu einem Wissenschaftsverständnis, wie es der experimentelle Schulunterricht

propagiert. In der 10. Klassenstufe haben mehr als die Hälfte der Schüler und Schülerinnen diesen Wechsel vollzogen. Mittels einer gemischten Methode aus Interview und Fragebögen kann Solomon (1993) vier verschiedene Vorstellungen vom Wissenschaftler identifizieren.

1. Der sonderbare und verrückte Wissenschaftler (weird scientist): Er stellt gefährliche und überraschende Experimente an, verfolgt aber nicht unbedingt explizite Ziele.
2. Die hilfreiche Autorität: Er testet und erklärt Phänomene und Zusammenhänge (z.B. den Treibhauseffekt) nach Art eines Arztes oder Lehrers.
3. Der Techniker: Er stellt technische Artefakte her, prüft und verbessert sie zum Wohle Aller.
4. Der intellektuelle Wissenschaftler: Er brütet neue Ideen aus und testet sie, indem er passende Experimente anstellt und nachprüft, ob Vorhersagen eintreffen.

Diese verschiedenen Stereotype kann man in der untersuchten Altersklasse von 9-14-jährigen Schülern und Schülerinnen alle antreffen. Die jüngeren vertreten allerdings schwerpunkthaft den 2. Typus der hilfreichen Autorität.

Ein Wechsel der stereotypen Vorstellung ist dem Einfluss des Lehrers und der Art und Weise, wie er naturwissenschaftliches Arbeiten repräsentiert, stark unterworfen. Darauf weisen Solomon (1993) und die Untersuchung von Hughes-McDonell (1996) gleichermaßen hin. In dem Maße, wie die Schüler ihren Lehrer als einem stereotypen Bild vom typischen Naturwissenschaftler entsprechend erleben, in dem Maße verändert sich oder stagniert auch die stereotype Vorstellung vom typischen Naturwissenschaftler.

Larochelle und Désautels (1991) kommen zu dem Ergebnis, dass das Verständnis zur Person des Wissenschaftlers gebrochen und widersprüchlich ist. Sie befragten (semistrukturiertes Interview) 25 kanadische, naturwissenschaftlich vorgebildete High-School-Schüler im Alter von 15-18 Jahren. Es tritt ein widersprüchliches Bild vom Naturwissen-

schaftler zu Tage. Auf der einen Seite wird er als außerordentlich intelligent und kreativ eingestuft (ebd., 383). Im Zusammenhang mit der Frage nach der Produktion naturwissenschaftlichen Wissens wird der Wissenschaftler allerdings paradoxer Weise als neutraler Geist vorgestellt. Er tut nichts anderes, als eine vorstrukturierte Natur in Experimenten zu erfassen und zur Kenntnis zu nehmen. Der Naturwissenschaftler wird so trotz seiner vermeintlichen Intelligenz und Kreativität auf einen neutralen Datenerfasser reduziert. Die Schüler und Schülerinnen stellen sich die Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschung als in der Natur vorgebildet vor. Die Natur ist bereits vor ihrer wissenschaftlichen Erfassung organisiert und ontologisch real. Daher ist die Vorstellung eines nicht nachdenkenden Naturwissenschaftlers nur konsequent. Der Widerspruch, der sich aus den gegensätzlichen Vorstellungen des Naturwissenschaftlers als intelligent und kreativ einerseits und als passiver Datenerfasser andererseits ergibt, wird von den Schülern nicht aufgehoben.

In Interviews englischer Schüler und Schülerinnen dreier Altersgruppen (9, 12, 16 Jahre) kommen Driver, Leach, Millar und Scott (1996) ebenfalls zu dem Ergebnis, dass eine Spannweite von Vorstellungen zur Person des Naturwissenschaftlers existiert. Die Vorstellungen zeigen dennoch eine einheitliche Tendenz darin, dass Wissenschaftler als vereinzelt arbeitende Individuen gedacht werden. Selbst von den 16-jährigen stellen sich nur wenige einen Wissenschaftler als im sozialen Zusammenhang arbeitenden Menschen vor. Moderne Ansätze zum Verständnis der Naturwissenschaft weisen dagegen weitgehend einheitlich darauf hin, dass soziale Bezüge innerhalb der scientific community für Wissenschaft konstitutiv sind (Bloor 1991 [1976], Collins 1992, Fleck 1994 [1935], Galison 1995, Knorr-Cetina 1991, T.S. Kuhn 1973 [1962], 1992, Latour 1987, Latour & Woolgar 1986, Pickering 1995). Damit steht die Schülervorstellung vom Naturwissenschaftler im diametralen Gegensatz zum Forschungsstand über die reale Arbeitspraxis in den Naturwissenschaften.

Das Bild des typischen Naturwissenschaftlers ist vor allem männlich geprägt. In dem Draw-a-Scientist-Test von Chambers zeichnen nur sehr wenige und dann ausschließlich Mädchen Wissenschaftlerinnen. Werden Jugendliche wie bei Ryan (1987) nach geschlechtsbezogenen Unterschieden in den Naturwissenschaften befragt, so geben nur 25% der Befragten an, die Fähigkeiten von Männern und Frauen seien gleich. In Interviews mit Mädchen konnten Baker und Leary (1995) feststellen, dass Mädchen bezüglich der Fähigkeiten zum naturwissenschaftlichen Arbeiten keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen machen. Dennoch ist in den Naturwissenschaften der biologische Geschlechterunterschied faktisch bedeutsam. Er schlägt sich in der Physik besonders stark nieder. Es sind v.a. Jungen, die an Physik interessiert sind. Physik wird fast ausschließlich von Männern studiert, und wenn es um die Besetzung von Universitätsstellen geht, dann nimmt der Anteil der Frauen mit zunehmender Bedeutung der Position rapide ab. Wird dieser Unterschied von Jugendlichen gesehen, so führen nach Ryan (1987) 15% genetische Ursachen als Erklärung für unterschiedliche Interessen von Männern und Frauen an. 30%, und das sind v.a. Mädchen, meinen, soziale Unterschiede zwischen Männern und Frauen seien für die Dominanz von Männern in den Naturwissenschaften verantwortlich. Tatsächlich zeigen Interessenstudien, dass Mädchen sich gegenüber dem Schulfach Physik im Gegensatz zur Biologie abgeneigt verhalten (Hoffmann & Lehrke 1986, Wetzelschumann 1998). Wie Labudde (1999) zeigen kann, sind aus der Sichtweise von Jugendlichen die Begriffe Mann und Physik stark korreliert. Das stereotype Bild vom männlichen Naturwissenschaftler trägt also zum geringen Interesse der Mädchen bei. Weibliche Rollenbilder kommen in den Naturwissenschaften kaum vor, ein Sachverhalt, der sich im hier erörterten Verständnis von Kindern / Schüler(inne)n deutlich spiegelt. Dass in der Physik weibliche Identifikationsfiguren und Rollenbilder weitgehend fehlen, und statt dessen männliche Stereotype dominieren,

erschwert es den Mädchen, sich mit Physik als Schulfach und als Forschungsdisziplin zu identifizieren (Häußler, Hoffmann & Rost 1986).

2.2 Die Motivation des Naturwissenschaftlers zur Naturwissenschaft

Larochelle und Désautels (1991) stellen in der o.g. Untersuchung an 15-18-jährigen High-School-Schülern fest, dass die Motivation zum Treiben von Naturwissenschaft als individuell bedingt verstanden wird. Der Wissenschaftler ist von gutem Willen erfüllt, empfindet eine Bestimmung, Wissenschaft zu treiben, und wird von einem persönlichen Bedürfnis nach Wissen angetrieben. Die Vorstellung von der persönlichen Motivation des Wissenschaftlers spiegelt den Mythos vom Wissenschaftler, der von einem individuellen und ehrenhaften Erkenntnisinteresse geleitet wird.

Die Frage nach der Motivation von Wissenschaftlern zur Wissenschaft hat auch Aikenhead (1987) seinen Probanden vorgelegt. Innerhalb einer groß angelegten Befragung (Aikenhead, Fleming & Ryan 1987) von insgesamt 11800 kanadischen Probanden (99% im Alter von 16-20 Jahren) wurde eine Teilpopulation nach ihrer Vorstellung zu drei Varianten möglicher Motivationen von Wissenschaftlern befragt:

1. ein annehmbares Gehalt verdienen,
2. von anderen Wissenschaftlern anerkannt werden,
3. einen persönlichen Wissensdrang befriedigen.

Die dritte Variante bezeichnet im wesentlichen die von Larochelle und Désautels (1991) dokumentierte klassisch-naive Sicht. Auch in der Untersuchung von Aikenhead konnte festgestellt werden, dass ein großer Teil der Befragten (59%) dieser Sichtweise deutlich zugeneigt ist. Die Motivation „Geld verdienen“ wird nur von einem geringen Teil der Schüler und Schülerinnen als zentral eingeschätzt. Nur 10% stimmen der 1. Variante zu. Die 2. Variante wird ebenfalls tendenziell abgelehnt: Nur 11% meinen, die Anerkennung durch andere Wissenschaftler sei moti-

vierend, während 84% diese Sichtweise ablehnen. Es kann also festgestellt werden, dass innerhalb der Vorstellung der Schüler und Schülerinnen die Motivation zur Naturwissenschaft sich weitgehend nicht aus der sozialen Dynamik der scientific community speist, eine Haltung die mit modernen Sichtweisen auf Naturwissenschaft seit Kuhn (1973 [1962]) nicht kompatibel ist.

Zu einer realitätsnahen Vorstellung würde zählen, keine eindeutigen, allgemeingültigen Motivationen zu formulieren. Vielmehr sind in den Naturwissenschaft so viele verschiedenen Motivationen zur naturwissenschaftlichen Arbeit relevant, dass von einer eindeutigen und allgemeingültigen Motiven der Wissenschaftler zu ihrer Arbeit nicht gesprochen werden kann. Diese Perspektive ließ sich in der Untersuchung von Aikenhead (1987) jedoch nur bei einem geringen Teil der Befragten nachweisen.

Die von den Befragten angeführten Motivationen lassen sich differenzieren, wenn man die Äußerungen danach einordnet, ob sie eher einer Perspektive auf Wissenschaft entspringen, die man privat nennen kann, oder die die Wissenschaft als öffentliche ausweist (Aikenhead 1987, Ryan & Aikenhead 1992). Die private Perspektive umfasst im wesentlichen die Motivationen „Geld verdienen“ und „Anerkennung unter andern Wissenschaftlern finden“. Sie wird von den Schülern tendenziell negativ eingeschätzt und abgelehnt, weil sie egoistische und narzisstische Einstellungen der Wissenschaftler umfasst. Die öffentliche Perspektive wird dagegen stark befürwortet. Hier werden die Wissenschaftler durch hehre Ziele charakterisiert wie die Verbesserung der Lebensbedingungen, der Welt als Ganzer und dem Nacheifern nach einem Bedürfnis nach mehr Wissen, das in diesem Fall mehr als kulturelle Determinante und nicht als narzisstisches Bedürfnis zu verstehen ist. Naturwissenschaft wird aus dieser Perspektive instrumentalistisch als an soziale Zwecke gebunden verstanden (Ryan & Aikenhead 1992). Diese Perspektive führt aber dazu, dass in der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler Naturwissenschaft und Technik keine unabhängigen

Bereiche darstellen, obwohl die weitgehend getrennten Organisations- und Arbeitsformen deutlich darauf hinweisen. So ist es nur konsequent, wenn in einer Befragung von 2000 kanadischen High-School-Schülern der 11. und 12. Klassenstufe ca. 3/4 der Befragten dem Missverständnis unterliegen, naturwissenschaftliches Wissen gehe in technische Anwendungen über (Ryan & Aikenhead 1992). Damit wird der Mythos reproduziert, Technik sei vorwiegend Folgeprodukt und Anwendungsbereich der Naturwissenschaften.

2.3 Das Labor als typischer Arbeitsplatz

Was Kinder / Schüler sich unter dem Arbeitsplatz des Wissenschaftlers vorstellen, ist nicht besonders gut untersucht. Die von Chambers (1983) ausgewerteten Kinderbilder weisen jedoch darauf hin, dass Kinder das Labor als die zentrale Wirkungsstätte von Wissenschaftlern ansehen. Naturwissenschaft wird eher mit der Produktion von Artefakten identifiziert, und die wird auf die Grenzen des Labors beschränkt. Die Beschränkung der Vorstellung vom Arbeitsplatz der Wissenschaftler auf das Labor schließt etliche Arbeitsformen und -umgebungen aus. Die im Freiland arbeitenden Wissenschaftler fallen aus diesem Bild genauso heraus wie theoretische oder mit Simulationen arbeitende Physiker, die heute nahezu ausschließlich mit Computern arbeiten. Möglicherweise würden Kinderbilder heute den Computer als markantes Zeichen wissenschaftlicher Arbeitsumgebungen stärker betonen, als es noch bei Chambers in den 1960er und 1970er Jahren der Fall gewesen ist. Die Vorstellung vom Experimentallabor als typischem Arbeitsplatz, die mit der Vorstellung eines v.a. experimentierenden Wissenschaftlers verbunden ist, verdeckt eine Reihe von Tätigkeiten, die den meisten Wissenschaftlern und damit auch den Experimentalwissenschaftlern gemeinsam sind: Daten werden nicht nur in Laboren produziert, sondern auch an anderen Arbeitsplätzen (i.d.R. mit Computern) ausgewertet und interpretiert. Veröffentlichungen zu verfassen, an Sitzungen teilzunehmen, wissenschaftlichen

Nachwuchs zu betreuen und zu beraten, sich um Ressourcen zu kümmern, sich selbst, die eigene Forschung und die Institution auf Tagungen und anderswo zu vertreten und Verwaltungsaufgaben allgemeiner Art zu übernehmen, zählt zu typischen Tätigkeiten von Wissenschaftlern. Sie beanspruchen zwar einen großen Teil der Arbeitskapazität, man kann sie aber in den Vorstellungen der Kinder und Schüler nicht wiederfinden.

2.4 Der Naturwissenschaftler und moralisches Verhalten

Die einzige Untersuchung, die auf einen Zusammenhang von moralischem Verhalten und naturwissenschaftlicher Tätigkeit im Schülerverständnis abzielt, hat nach meinem Wissen Ryan (1987) vorgelegt. Die Datenlage zu diesem Verständnisbereich ist also nicht besonders breit. In der schon erwähnten Untersuchung kanadischer High-School-Schüler konnten anhand einer Reihe vorgelegter Fragen drei Antwortmuster zum Verständnis von moralischem Verhalten von Wissenschaftlern identifiziert werden. Über deren Gewichtung zueinander wird allerdings über die Resultate zu den einzelnen Fragen hinaus keine Auskunft erteilt. Die folgenden Positionen können als mögliche Varianten eines Schülerverständnisses zum Thema moralisches Verhalten von Wissenschaftlern gelten:

1. Die Schulung in logisch-methodischem und analytischem Denken, sich für neue Einsichten offen zu halten und alle relevanten Daten unvoreingenommen zu betrachten, färbt auf die Person des Naturwissenschaftlers in einer Weise ab, dass er sich in allen Lebensbereichen unvoreingenommen und objektiv verhält.
2. Wissenschaftler sind nur, wenn sie ihrer Arbeit nachgehen, besonders ehrenhafte Menschen im Sinne der unter 1. genannten Verhaltensweisen. In der Alltagswelt, die sie mit anderen Menschen teilen, verhalten sie sich nicht besser als andere Menschen auch.
3. Wissenschaftler sind ehrenhaftere und objektivere Menschen als Nichtwissen-

schaftler. Die Eigenschaften kommen ihnen inhärent zu und schlagen sich in der Qualität ihrer Arbeit nieder.

In allen drei Antwortmustern spiegelt sich die Ideologie der vorurteilsfreien Wissenschaft wider. Wie ein Blick in die tatsächliche Praxis wissenschaftlichen Arbeitens zeigt, ist das Arbeitsethos der Objektivität weniger am Werke, als man glauben sollte, wenn man auf die (Selbst-)Darstellungen der Wissenschaftler vertraut. In diesem Sinne formuliert Knorr-Cetina (1991, 24) treffend: „Falls es ein Prinzip gibt, das das Forschungshandeln steuert, so kommt es wohl am ehesten im Ziel der Wissenschaftler zum Ausdruck, Dinge zum Laufen zu bringen“. Die Kategorie, die Forschungshandeln primär motiviert und steuert, heißt Erfolg und nicht Ethos der Objektivität.

Die Daten von Ryan (1987) sind m.E. mit Vorbehalt zu betrachten. Die Art der Befragung lässt im Bewusstsein der Befragten keine Alternativen aufkommen. Dass Wissenschaftler auch der Vorurteile in Form der Lenkung durch Paradigmen (T.S. Kuhn 1973) oder Denkstile (Fleck 1994) bedürfen, um Zusammenhänge durch die Brille psychologischer Gestalten erst wahrnehmen zu können, dass Vorurteile Ausgangspunkte und Bedingungen des Verstehens überhaupt sind (Gadamer 1990), wird in den Fragen als mögliche Perspektive nicht angeboten. Die Berücksichtigung dieser Aspekte hätte möglicher Weise auch zu anderen Testergebnissen geführt.

3. Verständnis vom epistemologischen Status des Wissens in den Naturwissenschaften

Rubba, Horner und Joyce (1981) haben 1979 102 Schüler und Schülerinnen der 7. und 8. Klassenstufe mit einem Fragebogen untersucht. Ziel der Untersuchung war es u.a. herauszufinden, wie sich das Schülerverständnis zu der These verhält, die Naturwissenschaften hätten es mit dem Anspruch auf absolute Wahrheit zu tun. Dieser Mythos konnte in der Form und Schärfe im Schülerverständnis nicht identifiziert werden. Vielmehr wurde

ein diffuses Naturwissenschaftsverständnis festgestellt, und das, obwohl das Testklientel überwiegend aus leistungstarken Schülern bestand. Man kann nicht davon ausgehen, dass es ein homogenes Schülerverständnis zum epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens gibt. Die Vorstellungen sind uneinheitlich oder sogar widersprüchlich (Aikenhead 1987, Rubba & Horner & Joyce 1981).

Larochelle und Désautels (1991) zeigen auf, dass die von ihnen untersuchten 15-18-jährigen naturwissenschaftlich unterrichtserfahrenen Schülerinnen und Schüler die Vorstellung entwickelt haben, Zahlen, Rechnungen, Formeln und Gesetze seien für naturwissenschaftliches Wissen spezifisch, während private Interessen und Überlegungen nicht von Belang seien. Danach stellen sich Schüler und Schülerinnen unter naturwissenschaftlichem Wissen etwas Gesichertes, Feststehendes und zugleich in fachspezifischen Symbolsystemen Aufbewahrtes vor. Hier scheinen sich v.a. die Erfahrungen mit der inhaltlichen und methodischen Struktur des Unterrichts zu reproduzieren. Sie haben nach einigen Unterrichtsjahren dazu beigetragen, dass Schüler und Schülerinnen etwas, das im Unterricht einmal an der Tafel gestanden hat, mit naturwissenschaftlichem Wissen schlechthin identifizieren. Die Vorstellungen über Naturwissenschaft speisen sich sowohl aus dem Schulunterricht als auch aus anderen Bereichen des Alltags (Solomon & Scott & Duveen 1996). Man muss daher mit unreflektierten Mischformen rechnen, die sich zugleich aus den Medien und den Darstellungen von Naturwissenschaft im Schulunterricht ergeben haben.

Die Mehrheit der Untersuchungsergebnisse verschiedener Erhebungen zum Schülerverständnis über Naturwissenschaft weisen darauf hin, dass Schüler und Schülerinnen in der Tendenz einem naiven Realismus zuneigen. Meyling (1990) stellt in seiner umfangreichen Untersuchung an Oberstufenschülern und -schülerinnen fest, dass sie zwar keine positivistische Grundhaltung vertreten, aber an den Physikunterricht ein starkes Interesse an der

Wirklichkeit herantragen. Er bezeichnet Physikschüler daher als ontologische Realisten (ebd., 164). Ihr Hauptinteresse ist auf Erklärungen der Wirklichkeit gerichtet. Aus der Perspektive der Schülerinnen und Schüler bezieht sich physikalisches Wissen daher auch auf eine nicht in Frage zu stellende Realität (Meyling 1997). Dieser ontologische Realismus zeigt sich am deutlichsten in der Einschätzung, was ein Naturgesetz sei. Für den 11. Jahrgang hält Meyling (1990, 36) die Einschätzung der Schülerinnen und Schüler für signifikant, Naturgesetze repräsentierten gesetzmäßiges und regelmäßiges Geschehen in der Natur. Für den 12. Jahrgang stellt er fest, dass etwa jeder zweite Schüler Naturgesetze als unzweifelhafte Abbilder der in der Natur beobachteten Gesetzmäßigkeiten versteht. Die Schüler und Schülerinnen sind sich nicht über den historischen, vorläufigen und möglicherweise auch artefaktischen Charakter jeglicher Naturbeschreibung im Klaren.

Die These, Schülerinnen und Schüler seien überwiegend naive Realisten, wird auch von Carey, Evans, Honda, Jay und Unger (1989) unterstützt. Klinische Interviews mit amerikanischen Schülern der 7. Klassenstufe zeigen, dass naturwissenschaftliches Wissen als Kopie der Realität verstanden wird. Ein Naturwissenschaftler arbeitet aus dieser Perspektive an dieser Kopie. Durch wissenschaftliche Arbeitsprozeduren teilt sich die Wirklichkeit mit. Etwas nicht zu wissen, kann dann nur bedeuten, dass man noch nicht danach geforscht hat (ebd., 526). Das Abbildverhältnis von Wissen und Wirklichkeit verhindert aber eine Auseinandersetzung mit dem Problem, in welchem Verhältnis Evidenz und Erklärung zueinander stehen, denn in den Naturwissenschaften können nicht Behauptungen über die Wirklichkeit aufgestellt werden, sondern es werden Ansprüche auf die Geltung von Evidenzen für die eine oder andere Form wissenschaftlichen Wissens sozial ausgehandelt. Auch Meichtry (1993, 435) bestätigt, dass ein naiv-realistisches Schülerverständnis über naturwissenschaftliches Wissen vorherrscht. In einer Untersuchung von 1300 Schülern und Schülerinnen

der 6.-8. Klassenstufe wird deutlich, dass nicht geglaubt wird, dass naturwissenschaftliches Wissen erst durch menschliche Kreativität hervorgebracht wird, dass es vorläufiger Art ist und durch empirische Evidenz verändert werden kann. Ryan und Aikenhead (1992) zeigen ebenfalls, dass die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler ein naiv-realistisches Wissens- und Wissenschaftsverständnis vertritt. Sie stellen fest, dass 34% eine ontologisch-realistische Haltung vertreten, während nur 17% einem eher konstruktivistischen Verständnis zuneigen. Bei 40% können Mischformen nachgewiesen werden.

Ein weniger eindeutiges Ergebnis erhalten Songer und Linn (1991). Sie untersuchen das Wissenschaftsverständnis von 153 amerikanischen 8-Klässlern und stellen lediglich eine Tendenz fest, Wissen als statisch und unveränderlich anzusehen. Ein statisches Wissenschaftsverständnis wird von 21% vertreten. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass die Schüler und Schülerinnen nicht in der Lage sind, zwischen etabliertem Wissen und (noch) kontroverserem Wissen zu unterscheiden. Was in Lehrbüchern steht, wird daher auch als unveränderlich und immer wahr betrachtet. Dagegen vertreten 15% eine dynamische Sicht auf Wissenschaft: Wissen wird als möglicherweise kontrovers eingeschätzt, und die Rolle von Evidenz in der Auseinandersetzung wird eingesehen. 65% der Schüler und Schülerinnen vertreten Mischformen aus beiden Wissenschaftsverständnissen. Die Untersuchung von Songer und Linn macht klar, dass die Vorstellung von der Veränderbarkeit von Wissensbeständen mit der Einsicht in die Rolle von Evidenz überhaupt gekoppelt ist. Driver, Leach, Millar und Scott (1996) können im Gegensatz zu Songer und Linn (1991) zeigen, dass Schülerinnen und Schüler der von ihnen untersuchten Altersgruppen aus 9-, 12- und 16-jährigen in der Lage sind, Evidenz und Erklärung zu unterscheiden. Eine konsistente Koordinierung von Evidenz und Erklärung ist aber erst in der Altersgruppe der 16-jährigen möglich. Die Einsicht in die Funktion von Evidenz und die Möglichkeit ihrer Vorläufigkeit und Veränderlichkeit ist allerdings kon-

stitutiv für ein adäquates Naturwissenschaftsverständnis. Wenn Schülerinnen und Schüler naturwissenschaftliche Wissensbestände als statisch ansehen, dann können sie die Bedeutung wissenschaftlichen Argumentierens kaum einsehen. Ein kumulatives Wissenschaftsverständnis ist die Folge.

Ein Bewusstsein von der Veränderlichkeit wissenschaftlichen Wissens und eine ontologisch-realistische Position müssen sich gar nicht ausschließen. Das wird in der Untersuchung von Tobin und McRobbie (1997) deutlich. An einer australischen High-School wurde der Chemieunterricht einer 11. Klasse über mehrere Wochen beobachtet. Desweiteren dienten Fragebögen und Interviews der Erhebung der Vorstellungen über naturwissenschaftliches Wissen. Es wurde deutlich, dass die Position, Wissen sei grundsätzlich veränderlich, gegenüber der Position vorrangig ist, Wissen sei statisch und zeitlich nicht veränderbar. Gleichzeitig jedoch wird überwiegend die Haltung vertreten, dass mit der zeitlichen Veränderung des Wissens eine Annäherung an Wahrheit verbunden sei. Hier gehen die Vorstellung von der Veränderlichkeit und Vorläufigkeit von Wissensbeständen und eine realistisch-finalistische Erkenntnisposition eine Allianz ein.

Die deutlichsten Hinweise, dass Schüler und Schülerinnen die Ansicht vertreten, Wissen sei vorläufig und veränderlich, findet man in den Erhebungen von Aikenhead (1987), Lederman und O'Malley (1990). Auf die Frage nach der Veränderlichkeit von Wissensbeständen kann Aikenhead (1987, 466f) drei Antworttypen identifizieren und quantifizieren:

1.44% vertreten die Ansicht, Wissen sei veränderlich,

2.31% vertreten ein kumulatives Wissenschaftsverständnis, nach dem Wissensbestände nicht verändert, sondern ständig ergänzt werden,

3.11% meinen, Veränderungen der Wissensbestände kämen dadurch zustande, dass Fehler der Vergangenheit korrigiert würden.

Die Mehrheit tendiert also zu der Auffassung, Wissen sei nicht statisch. Dabei ist sehr bemerkenswert, dass hinsichtlich der Antwortenverteilung ein signifikanter Geschlechterunterschied besteht. Die überwiegende Anzahl der Mädchen entscheidet sich für den ersten Antworttyp, während die männlichen Chemie- und Physikschüler eher dem kumulativen Typ zuzuordnen sind. Möglicherweise liegt hier eine geschlechtsspezifische Differenz in der Haltung gegenüber den Naturwissenschaften vor, die noch nicht ausreichend erforscht ist.

Lederman und O'Malley (1990) untersuchen die Vorstellung von 69 High-School-Schülern und Schülerinnen, die verschiedene naturwissenschaftliche Fächer belegen, zur Vorläufigkeit und Veränderbarkeit naturwissenschaftlicher Wissensbestände. Aus einem Vortest, der vor dem untersuchten Unterricht angestellt worden ist, ergibt sich keine klare Präferenz für oder gegen ein kumulatives Wissensverständnis. In einem Nachtest zeigen die Schüler und Schülerinnen jedoch eine Tendenz zur Vorstellung, naturwissenschaftliche Wissensbestände seien vorläufiger und veränderlicher Art, obwohl die unterrichtenden Lehrer dazu angehalten worden sind, keinem der beiden Wissensverständnisse zuzuarbeiten. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Schüler und Schülerinnen Wissen nicht für einen monolithischen Block halten. Die Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens ist ihnen bewusst. Allerdings ist auch bei dieser Untersuchung ein Testeffekt nicht ganz auszuschließen. Den Schülern und Schülerinnen wurden insgesamt vier Fragen (ebd., 227f) vorgelegt, zu denen sie Stellung nehmen sollten. Mindestens eine davon suggeriert sehr deutlich ein Wissensverständnis, das Wissen als notwendig kontrovers und vorläufig ausweist. Dort wird erläutert, dass es verschiedene astrophysikalische Theorien gebe (Weltall ist statisch, dehnt sich aus, Ausdehnung alterniert). Die Frage: „How are these different conclusions possible if all of these scientists are looking at

the same experiments and data?“ (ebd., 228), fordert geradezu dazu auf, eine relativistische Auffassung von Wissenschaft und die Vorstellung sich wandelnden Wissens zu vertreten. Möglicherweise sind weniger vorstrukturierte Testverfahren zuverlässiger.

Ryan und Aikenhead (1992) zeigen ebenso wie Lederman und O'Malley (1990), dass das Schülerverständnis eine Tendenz aufweist, Wissen als vorläufig und veränderlich zu verstehen. 31% der Schüler und Schülerinnen werden einem Wissenschaftsverständnis zugerechnet, dass Wissen als einer kontinuierlichen Rekonstruktion unterworfen betrachtet. 36% zeigen eine Tendenz zu falsifikationistischer Perspektive (Popper 1976 [1934]) und nur 15% vertreten die heute in Wissenschaftstheorie, -geschichte und -soziologie von niemandem mehr ernsthaft vertretene Haltung, Wissen könne in den Naturwissenschaften nach und nach angehäuft werden, ohne substantiellen Veränderungen unterworfen werden zu müssen. Ryan und Aikenhead folgern daher, dass es wenig Sinn hat, von einem Naturwissenschaftsverständnis der Schüler und Schülerinnen zu sprechen, nach dem Wissen als vorläufig verstanden wird. Vielmehr müsse man davon ausgehen, dass zwar 2/3 der Schülerschaft um die Veränderlichkeit von Wissensbeständen wüsten. Allerdings müsse man nach den Motiven differenzieren, die entweder konstruktivistischer oder falsifikationistischer Art seien.

4. Verständnis vom Experiment im Unterricht und als Forschungspraxis

Das Experiment gehört zu den fundamentalen Bestandteilen des Selbstverständnisses von Naturwissenschaftlern und Naturwissenschaftlerinnen. Auch im Physikunterricht soll es, wie aus Lehrplänen und Physikdidaktiken hervorgeht, sowohl aus wissenschaftstheoretischen als auch aus didaktischen Erwägungen heraus eine zentrale Stellung einnehmen¹.

1 Vgl. Bleichroth in Bleichroth, Dahncke, Jung, Merzyn und Weltner (1991, 227f). Zu den Zielen, die mit Experimentieren im Unterricht verbunden werden, siehe auch die Zusammenfassung von Hofstein und Lunetta (1982, 202ff). Hier werden v.a. Beiträge aus dem angelsächsischen Raum rezipiert. Siehe auch Töpfer und Bruhn (1976, 128), die das Experiment als wichtiges Teilstück der induktive Methode ansehen, die sie als für die Physik und daher auch für den Physikunterricht konstitutiv betrachten.

Damit ist allerdings noch nicht vorausgesetzt, dass die Schülervorstellungen von der experimentellen Forschungspraxis als adäquat und einem modernen Forschungsstand angemessen bezeichnet werden können (Meyling 1990, 85ff). Darüber hinaus wird im Unterricht weit weniger experimentiert, als dieser Anspruch vermuten ließe. Dennoch gilt das Experiment in Forschung und Unterricht als Symbol physikalischen Arbeitens schlechthin. Diese Zentralstellung des Experiments lässt sich auch im Naturwissenschaftsverständnis der Schüler und Schülerinnen identifizieren. So wie das Labor als wichtigster Handlungs-ort von Wissenschaftlern angesehen wird (s.o.), gilt das Experiment als wichtiges Zeichen von Naturwissenschaft. Ein weitgehendes Missverständnis besteht jedoch in der Einschätzung, welche Relation zwischen naturwissenschaftlichem Wissen und Experiment möglich sind (Larochelle & Désautels 1991, 384).

Das Schülerverständnis vom Experiment speist sich maßgeblich aus einem kognitiven und einem praktischen Wissensanteil. Auf der einen Seite machen sich Schüler und Schülerinnen Vorstellungen, wie Wissenschaftler experimentieren, welche Funktionen diese Art des Experimentierens haben kann, welche Voraussetzungen es haben und welche Konsequenzen es zeitigen kann. Diesen Bereich nenne ich kognitiv. Auf der anderen Seite offenbart sich auch ein Verständnis des Experiments, wenn Schüler selbst experimentieren. Es zeigt sich als praktisches Wissen vom eigenen Experimentieren, das mit dem kognitiven Wissen über das Experimentieren „echter“ Physiker und Physikerinnen keineswegs übereinstimmen muss. Die Vorstellungen, die Schüler und Schülerinnen sich vom Experimentieren in den Naturwissenschaften machen, können von den eigenen Experimentalstrategien weit entfernt sein.

Meyling (1990) zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler der Sek.II, also nachdem sie bereits lange Zeit in Physik unterrichtet wor-

den sind, unterschiedliche Vorstellungen davon entwickelt haben, was unter einem „Experiment“ im Physikunterricht und einem Experiment in der Physik als Wissenschaft zu verstehen sei (ebd., 90ff). Der Versuch im Unterricht² wird von ihnen realitätsnah eingeschätzt und zugleich kritisch bewertet. Sie sehen ein, dass die zu messenden Gesetze schon vor dem Unterricht feststehen, und die Versuchsanordnung keine offenen Fragen zulassen oder erzeugen darf. Es ist also nicht zu erwarten, dass das Unterrichtsmedium des traditionellen Schulversuchs zu einem realitätsnahen Experimentverständnis beiträgt. Vielmehr werden mitunter falsche Vorstellungen hervorgerufen, die zumindest von einigen Schülern und Schülerinnen durchschaut und nicht als Experimentverständnis im Hinblick auf reale Forschung vertreten werden. Auch ein hoher Grad an Selbsttätigkeit der Schüler und Schülerinnen wie beim Schülerversuch garantiert in keinem Fall ein adäquates Verständnis des Experiments als Forschungsmethode. Hughes-McDonell (1996, 23) zeigt in einer Untersuchung von US-amerikanischen High-School-Schülern, dass sie trotz eines hohen Anteils an eigener Aktivität zu keinem Transfer der eigenen Erfahrungen auf ihre Vorstellungen realer Forschungsprozesse bereit sind. Diese Misserfolgsbilanz kulminiert in der Äußerung eines Schülers in der Studie, der seine Erfahrungen im Physikunterricht resümiert: „There is really no thinking involved. We haven't ever experimented in the true sense of the word“ (Schüleräußerung zitiert nach ebd., 31).

Unter einem Experiment als Teil der Praxis der Naturwissenschaften stellen sich die Schüler und Schülerinnen hingegen etwas ganz anderes vor. Meyling (1990) findet bei den von ihm befragten Probanden einen starken Zuspruch zu der These, dass sich Messwerte verschieden interpretieren lassen. Dennoch stellen sie sich einen Forscher - anders als beim „Experiment“ in der Schule - als jemanden vor, der die Auswertung eines

² Vgl. zur Verwendung der Begriffe Experiment und Versuch in didaktischer Hinsicht Bleichroth in Bleichroth et al. (1991, 217ff).

Experiments nicht durch Vorkenntnisse und Erwartungen beeinflusst. Ein richtiger Wissenschaftler bleibt aus der Perspektive der Schüler und Schülerinnen neutral, objektiv und manipuliert seine Ergebnisse nicht (ebd., 90ff). Sie glauben, dass ein Physiker möglichst empirisch arbeiten sollte und reproduzieren damit den Mythos vom neutralen, objektiven und vorurteilsfreien Messen.

Diese empiristische Grundhaltung, auf die auch schon Krüger und Schecker (1982) hingewiesen haben, gründet sich auf der Überzeugung, die Grundlagen der Physik bestünden im Feststellen des faktischen Tatbestands empirischer Daten und im Erkennen der Wirklichkeit (Meyling 1990, 95). Zu dem gleichen Ergebnis gelangen Larochelle und Désautels (1991, 385).

Dieses empiristische Missverständnis kann sich auch in der eigenen Praxis des Experimentierens und der Beurteilung der Ergebnisse niederschlagen: „Pupils usually demonstrate a high regard for empirical data as a standard against which their ideas should be assessed“ (Gauld 1989, 79). Die explorativen und konstruierenden Aspekte des Experiments werden nicht eingesehen. Es ist den Schülern und Schülerinnen keinesfalls bewusst, dass ein Experiment, seine Validität und Interpretation von der scientific community rezipiert und bewertet werden. Die empiristische Haltung zeigt ebenfalls kein Bewusstsein davon, dass alles Beobachten und Experimentieren selbst die Verwendung physikalischer Begriffe theoriegeladen ist. Die Schüler und Schülerinnen unterschätzen die Bedeutung von Denk- und Handlungszwängen, wie sie durch Denkstile (Fleck 1994 [1935]) bzw. Paradigmen (T.S. Kuhn 1973 [1962]) und Experimentierstile (Heering 1995) festgelegt werden. Statt dessen zeigen sich die Folgen des „Experimentierens“ innerhalb des normaldidaktischen Unterrichtsverfahrens (Mothes 1965), das in erster Linie die Entwicklung fachinhaltlichen Wissens und nicht prozeduralen Wissens vortreibt.

Die Schüler und Schülerinnen stellen sich Experimentieren nicht als zielgerichtetes Handeln vor. Vielmehr vertreten sie die

Ansicht, Experimentieren bedeute etwas herauszufinden, etwas auszuprobieren und Entdeckungen zu machen. Das zeigen sowohl verbale Schüleräußerungen wie bei Meyer & Carlisle (1996, 242) als auch die Beobachtungen von experimentierenden Schülern wie bei Carey, Evans, Honda, Jay & Unger (1989, 524). Vermutlich ist dieses naive Experimentverständnis vom Alter abhängig. Die in beiden Erhebungen untersuchten Schüler und Schülerinnen besuchen maximal die 7. Klassenstufe, sind also ca. 12-14 Jahre alt. Sie sind nicht in der Lage, die Relationen zwischen Hypothesen, Experimenten und Daten adäquat zu benennen. Wie Meyer und Carlisle berichten, wiederholen die Schüler und Schülerinnen Experimente nicht. Materialien werden unsystematisch ausgewechselt, und eine kritische Überprüfung der Arbeitsprozeduren unterbleibt. Ein Indiz für ein mit zunehmendem Alter weiter entwickeltes Experimentverständnis ergibt sich in der Untersuchung von Meyling (1990). Auf die Frage, wann eine physikalische Aussage als gültig angenommen werden kann, antworten die Schüler und Schülerinnen der 11. Klassenstufe überwiegend mit einem falsifikationistischen Konzept, während die der 12. Klassenstufe vorwiegend die Verifikation als Modus der Festlegung von Geltungsansprüchen anführen (ebd., 101). Auch wenn dieses Verständnis weitgehend ausblendet, dass die Geltungsansprüche erst innerhalb der scientific community ausgehandelt werden und sich nicht aus einer Logik der experimentellen Methode ergeben, legen die Antworten nahe, dass die Einsicht in die Relation von Experiment und Evidenz im Gegensatz zu den jüngeren Schülerinnen und Schülern fortgeschritten ist. Die Untersuchungsergebnisse verweisen allerdings ebenfalls darauf, dass mit zunehmender Unterrichtserfahrung auch ein zunehmend empiristisches Experimentverständnis entwickelt wird.

Ein mit steigendem Lebensalter zunehmend elaboriertes Experimentverständnis zeigt sich auch in der Untersuchung von Driver, Leach, Millar und Scott (1996). Sie weist den Vorteil auf, drei Altersgruppen (9, 12, 16 Jahre) mit-

einander verglichen zu haben. Auf die Interviewfrage nach den Zwecken des Experimentierens und der Charakterisierung experimenteller Prozesse können drei Antwortmuster identifiziert werden (ebd., 87ff).

1. Phänomene hervorbringen und Neues herausfinden,
2. Ursache-Wirkungsrelationen herstellen,
3. Theorien überprüfen.

Es wird ein klarer Trend festgestellt, dass das 1. Muster mit zunehmendem Alter ab- und das 3. Muster zunimmt. Dennoch tritt nur bei einer Minderheit der 16-jährigen das 3. Muster in den Antworten der Schüler und Schülerinnen hervor. Parallel dazu tritt empirische Testbarkeit zunehmend als Kriterium für die Wissenschaftlichkeit einer Fragestellung in Erscheinung (ebd., 77f).

Die Vorstellungen vom Experiment umfassen auch Vorstellungen, wie eine Messprozedur im Experiment konkret aussehen kann und soll, und wie die gewonnenen Daten evaluiert werden können und sollen. Eine Untersuchung zu diesen Themen haben Lubben und Millar (1996) vorgelegt. Sie befragen verschiedene Altersgruppen nach den Vorstellungen, ob und warum man eine Messung wiederholen soll, wie man wiederholte Messungen und deren Daten beurteilt, und welche Signifikanz die Streuung von Daten zeigt. Die Spannweite der Ergebnisse der Studie reicht von der naiven Vorstellung, der Messprozess sei prinzipiell völlig unproblematisch und ein einziger Messwert ergebe das „richtige“ Ergebnis, bis zu einem statistischen Verständnis vom Messprozess und der Datenevaluation. Nach letzterem gilt, dass nur sehr sorgfältiges Messen eine Annäherung an den „richtigen“ Messwert ermöglicht, aber man kann sich niemals sicher sein, ihn auch wirklich zu „treffen“. Erst die Mittelwertbildung der Daten sagt etwas über das zu Messende aus, während die Qualität der Daten von ihrer Streubreite bestimmt ist (ebd., 966). Zwischen diesen beiden Vorstellungen vom Messprozess und der Datenevaluation liegt eine Spannweite zunehmend elaborierter Vorstellungen. Sie reicht von der Einschätzung, nur eine Vielzahl von Messwerten sei aussagekräf-

tig, bis hin zu der Ansicht, mehrfach gemessene Werte seien die „richtigen“. So wie Driver et al. (1996) mit zunehmendem Alter der Schüler und Schülerinnen auch ein wachsendes Verständnis von den Zielen und Zwecken des Experimentierens feststellen können, weisen Lubben et al. (1996) darauf hin, dass mit zunehmendem Alter auch ein wachsendes Verständnis davon entwickelt wird, wie Daten gewonnen und bewertet werden. So wissen nur 15% der Schüler und Schülerinnen der Klassenstufe 7, dass die Qualität des Mittelwerts von der Streubreite der Daten bestimmt ist. Diese Einschätzung wird in den Klassenstufen 9 und 11 von fast 40% geteilt. Inwieweit eine Verbesserung des Kenntnisstandes zum Experiment zu erwarten ist, ist allerdings sicher nicht allein eine Frage des Lebensalters, sondern vielmehr eine der Qualität des Unterrichts.

5. Verständnis von der naturwissenschaftlichen Wissensproduktion und ihren Bedingungen

Es gehört mittlerweile zum anerkannten Bestand des Wissens über die Natur der Naturwissenschaften, dass das Wissen, das Naturwissenschaftler produzieren, zumindest nicht ausschließlich nach rationalen Kriterien entwickelt wird, dass es keine einheitliche Methode der Naturwissenschaften gibt (Feyerabend 1972, 1993) und dass wissenschaftsinterne und -externe Faktoren bei der Produktion von Wissen eine Rolle spielen. Vielmehr werden wissenschaftliche Ergebnisse erst nach ihrer Produktion in Laboren, an Computern und Schreibtischen einem Prozess zugeführt, der ihnen Geltung verschaffen und die Anerkennung durch andere Experten herstellen soll. Nur wenn ein wissenschaftlicher Beitrag anderen Experten glaubwürdig erscheint, und er den Standards der Expertengruppe genügt, kann das Wissen, das er dokumentiert, auch als anerkannt bezeichnet werden. Das setzt einen Konsens voraus, der innerhalb eines wissenschaftlichen Paradigmas (T.S. Kuhn 1973) ausgehandelt werden muss. Die Verifikation einer Theorie durch experimentelle

Daten gilt in diesem Sinne nicht mehr als logisch, sondern als sozial begründet. Die scientific community ist die eigentliche Arena zur Festlegung von Geltungsansprüchen in den Naturwissenschaften.

Die Vorstellungen zur Bedeutung der Konsensfindung in der scientific community haben Ryan und Aikenhead (1992) von kanadischen High-School-Schülern der Klassenstufen 11 und 12 erfragt. Immerhin 45% der Probanden schätzen die Rolle eines Konsenses innerhalb der scientific community als bedeutsam ein, was 47% verneinen. Von diesen 47% scheinen aber die Meisten gar nicht verstanden zu haben, was ein Konsens in der Wissenschaft bedeutet, und welche Funktion er für die Festlegung von Geltungsansprüchen von Wissensbeständen hat. Sie glauben, ein Konsens werde hergestellt, indem eindeutiges Datenmaterial die „Wahrheit“ einer Theorie belege (ebd., 573f).

Schüler und Schülerinnen schätzen die Bedeutung der Evidenz harter Fakten tendenziell sehr hoch ein, und das obwohl die Funktion von Aushandlungs- und Konsensfindungsprozessen innerhalb der scientific community gar nicht geleugnet wird. So kann Aikenhead (1987, 473) feststellen, dass der Zusammenhang zwischen sozialer Interaktion unter Wissenschaftlern und der Produktion von Wissen von 70-80% der Probanden eingesehen wird. Auf der anderen Seite bleibt diese Einsicht weitgehend auf die wissenschaftsinternen Aspekte der Bedeutung des Sozialen für die Naturwissenschaften beschränkt. Auf die Frage, ob Konsens oder Dissens in der Wissenschaft nur von Fakten, oder auch von moralischen Werten und persönlichen Motiven der Wissenschaftler, also eher außerwissenschaftlichen Aspekten abhängt, ergibt sich kein eindeutiger Zuspruch der Schüler und Schülerinnen (ebd., 474ff). Vielmehr meint ca. die Hälfte, Wissenschaftler würden ihre Entscheidungen primär an Fakten orientieren (ebd., 480). Zu dem gleichen Ergebnis gelangen Krüger und Schecker (1982) und Driver, Leach, Millar und Scott (1996, 140): Es zeigt sich, dass Schüler und Schülerinnen sich kaum darüber im Klaren sind, dass außerwis-

senschaftliche Faktoren auf Forschungsprogramme und -prozesse Einfluss nehmen können.

Zu der Frage, ob harte Fakten oder soziale Aspekte für die Produktion wissenschaftlichen Wissens maßgeblich sind, haben Driver, Leach, Millar und Scott (1996) ebenfalls Ergebnisse vorgelegt. Die Schüler und Schülerinnen wurden im Unterricht mit Fallstudien konfrontiert, in denen Wissen nicht als eindeutig und anerkannt, sondern als kontrovers und unentschieden erschien. Sie zeigen dabei eine erstaunliche Reaktion. Sie anerkennen gleichzeitig die Bedeutung sozialer Aspekte für die Entscheidung zwischen kontroversen Theorien, halten aber gleichzeitig eine faktische Datenlage für primär entscheidend. Nur wenn die Datenlage unzureichend ist, bestimmen soziale Faktoren, was als richtig gilt und anerkannt wird. Aus Sicht der Schülerinnen und Schüler sollen verbesserte Kommunikationsbedingungen unter den Wissenschaftlern und die Verbesserung der Datenlage Abhilfe schaffen können (ebd., 128).

Die Präferenz für die Selbstevidenz harter Fakten statt für die Bewertung dieser Fakten durch die scientific community verweist darauf, dass die Schüler und Schülerinnen, selbst wenn sie die Funktion sozialer Aspekte nicht völlig verneinen, keine adäquate Vorstellung von der sozialen Dimension wissenschaftlicher Wissensproduktion haben. Die Antworten auf die Frage, wie sie sich vorstellen, wie wissenschaftliche Kontroversen beigelegt werden, weisen auf Vorstellungen hin, die aus Erfahrungen in Konfliktsituationen ihrer eigenen sozialen Lebenswelt herrühren (ebd., 140). Das ist nicht weiter verwunderlich, da der Unterricht die sozialen Dimensionen wissenschaftlichen Produzierens i.d.R. nicht thematisiert. Driver et al. führen eine plausible Erklärung für die Präferenz für harte Fakten an: „Our daily activities of moving from place to place and manipulating objects in our environment are undertaken with a clear assumption of having secure knowledge about those objects and events. Considering knowledge to be provisional and conjectural may act to undermine deeply held preferences of certainty“ (ebd., 142).

Ein Physikunterricht, der den sozialen Aspekten wissenschaftlicher Erkenntnisproduktion Rechnung tragen soll, muss Strategien zur Überwindung der Diskrepanz zwischen den oben erwähnten Alltagsgewissheiten und der Weise, wie Wissenschaft entsteht, bereitstellen. Wir haben es in den Naturwissenschaften eben niemals mit vollständig gesichertem Wissen zu tun, sondern immer mit historisch-kontingenten Wissensbeständen, die im Konsens von Experten festgelegt worden sind und möglicherweise eines Tages revidiert werden müssen. Behalten Schüler und Schülerinnen hingegen ihr naiv-empiristisches Wissenschaftsverständnis bei, so besteht die Gefahr, dass die Schülerinnen und Schüler experten-gläubig bleiben oder sogar werden (Aikenhead 1987, 480).

Die Vorstellungen zur Methode der Naturwissenschaft, wird in der Studie von Ryan und Aikenhead (1992, 572f) untersucht. Die größte Gruppe von 40% der Schüler und Schülerinnen sehen die Methode als Abfolge von Frage → Hypothese → Daten sammeln → Schlussfolgerungen ziehen. Die nächst größere Gruppe von 13% versteht darunter, etwas wiederholt zu testen, um zu validen Aussagen über Wahrheit oder Falschheit zu gelangen. Nur 2% vertreten die Ansicht, es gebe gar keine einheitliche Methode der Wissenschaft. Damit zeigt sich, dass der von Feyerabend (1972, 1993) vertretene Methodenpluralismus von den Schülerinnen und Schülern weitgehend nicht geteilt wird.

Ryan und Aikenhead (1992) weisen darauf hin, dass Schülerinnen und Schüler unter der Methode der Wissenschaft keine Methode verstehen, wie sie häufig in Schul- und Lehrbüchern als kochrezeptartige Abfolge von 5-7 Schritten beschrieben wird. Diese Ansicht wird von Aikenhead (1987, 484) geteilt. Er zeigt, dass kein einheitliches Methodenverständnis vorherrscht. Am ehesten lässt sich die vage Vorstellung der Schüler und Schülerinnen als penibles Befolgen festgeschriebener Laborroutinen beschreiben. Das normaldidaktische Verfahren scheint sich zwar kaum auf

die Schülervorstellungen von der Methode der Wissenschaft auszuwirken, trägt aber auch in keiner Weise dazu bei, ein adäquates Naturwissenschaftsverständnis zu entwickeln. Meyling (1990, 103ff) stellt fest, dass die Hälfte der von ihm untersuchten Schülerinnen und Schüler die Vorstellung eines linearen und unverzweigten Erkenntnisweges vertreten. Dabei zeigt sich, dass sie konsistent mit ihrem Ideal des objektiven und unvoreingenommenen Physikers meistens eine Beobachtung (27% 11. Jahrgang, 39% GK 12, 26% LK 12), oder ein Experiment (57% LK 12) als ersten Schritt des Erkenntnisweges ansehen. Hier spiegelt sich das vorwiegend naiv-empiristische Naturwissenschaftsverständnis als Methodenbewusstsein.

6. Zusammenfassung und Konsequenzen für den Unterricht

Die vorliegenden empirischen Studien zum Verständnis von Kindern und Jugendlichen über die Natur der Naturwissenschaften zeigen kein einheitliches Bild. Man wird es auch innerhalb einer Klasse oder eines Kurses in der Oberstufe mit verschiedenen Vorstellungen zu tun haben. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vorstellungen, die sich Schüler und Schülerinnen von der Natur der Naturwissenschaften machen, als unzureichend und nicht adäquat bezeichnet werden müssen³. Unter einem Naturwissenschaftler stellen sie sich tendenziell ein männliches und absonderliches Stereotyp vor. Er ist mal gefährlich, mal wissensdurstig, mal hilfreich, aber immer ist er fremd. Als primäre Motivation scheint ein diffuser Wissensdrang entscheidend zu sein. Die Vorstellungen zum epistemologischen Status naturwissenschaftlicher Wissensbestände zeigt eine Tendenz zum ontologischen Realismus. Die Vorstellungen von den Arbeitsweisen von Naturwissenschaftlern lassen sich tendenziell als naiv-empiristisch zusammenfassen. Entsprechend wird Experimentieren vorwiegend als Datensammeln aufgefasst, bei jüngeren Schülern

³ Zu der gleichen Einschätzung ist auch Lederman (1992) in einem Überblicksartikel gekommen.

und Schülerinnen dagegen als planloses Ausprobieren und Entdecken. Dass Naturwissenschaft eine Aktivität von Expertengruppen ist, und dass Wissensbestände ihrer sozialen Aushandlung unterworfen sind, ist im Schülerverständnis nur ansatzweise enthalten. Die Verflechtung zwischen inner- und außerwissenschaftlichen Bereichen wird weitgehend gar nicht eingesehen. Vielmehr stellen sie sich einen typischen Naturwissenschaftler einzeln und isoliert arbeitend vor.

Die empiristisch-rationalistische Darstellung der Physik im Schulunterricht, das Ausblenden ihrer historischen Bedingtheit und Veränderlichkeit, wie sie im normaldidaktischen Verfahren auf die Spitze getrieben wurde und wird, führt zur Unkenntnis darüber, was Naturwissenschaften sind und wie sie entstehen. Schülerinnen und Schüler, die nach ihrer Schulzeit nichts mehr oder kaum noch etwas mit Naturwissenschaft zu tun haben, halten Naturwissenschaft fälschlicherweise für eindeutig, geradlinig und regelgeleitet (Millar & Wynne 1988) anstatt für kreativ, kontingent und historisch gewachsen. Dieser Umstand ist im Sinne einer naturwissenschaftlichen Grund- und Allgemeinbildung nicht akzeptabel. Daher ergibt sich ein starker Aufforderungsimpuls an den naturwissenschaftlichen Unterricht und die jeweiligen Fachdidaktiken, einen Beitrag zur Verbesserung der Situation zu leisten. Ein Ansatz dazu ist bereits gemacht worden, indem verschiedene didaktisch-methodische Verfahren im Hinblick auf ihr Potenzial analysiert und verglichen wurden, den Kenntnisstand über die Natur der Naturwissenschaften zu verbessern (Höttecke 2001).

Literatur

- Aicken, F. (1991 [1984]). *The Nature of Science*. Portsmouth, New Hampshire: Heinemann
- Aikenhead, G. S. (1987). High-School Graduates' Beliefs about Science-Technology-Society. III. Characteristics and Limitations of Scientific Knowledge. *Science Education* 71 (4), 459-487
- Aikenhead, G. S., Fleming, R. W., Ryan, A. G. (1987). High-School Graduates' Beliefs About Science-Technology-Society. I. Methods and Issues in Monitoring Students Views. *Science Education* 71 (2), 145-161
- Baker, D., Leary, R. (1995). Letting Girls Speak about Science. *Journal of Research in Science Teaching* 32 (1), 3-27
- Bleichroth, W., Dahncke, H., Jung, W., Merzyn, G., Weltner, K., (1991). *Fachdidaktik Physik*. Köln: Aulis Verlag Deubner
- Bloor, D. (1991 [1976]). *Knowledge and Social Imagery*. Chicago, London: University of Chicago Press
- Bybee, R.W., Powell, J.C., Ellis, J.D., Giese, J.R., Parisi, L., Singleton, L. (1991). Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. *Science Education* 75 (1), 143-155
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., Unger, C. (1989). 'An Experiment is When You Try It and See If It Works': a Study of Grade 7 Student's Understanding of the Construction of Scientific Knowledge. *International Journal of Science Education* 11 (special issue), 514-529
- Chambers, D. W. (1983). Stereotypic Images of the Scientist: The Draw-A-Scientist Test. *Science Education* 67 (2), 255-265
- Collins, H. M. (1992 [1985]). *Changing Order. Replication and Induction in Scientific Practice*. Chicago, London: The University of Chicago Press
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press
- Feyerabend, P.K. (1972). Von der beschränkten Gültigkeit methodologischer Regeln, Neue Hefte für Philosophie. *Dialog als Methode*, Heft 2/3, 124-171
- Feyerabend, P.K. (1993 [1983]). *Wider den Methodenzwang*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp
- Fleck, L. (1994 [1935]). *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp

- Gadamer, H.G. (1990 [1960]). *Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik*. Tübingen: Mohr Siebeck
- Galison, P.L. (1995). *Context and Constraints*. In J.Z. Buchwald (ed.), *Scientific Practice. Theories and Stories about Doing Physics*. Chicago, London: The University of Chicago Press Buchwald, 13-41
- Gauld, C. (1989). *A Study of Pupils' Responses to Empirical Evidence*. In R. Millar (ed.), *Doing Science: Images of Science in Science Education*. London, New York, Philadelphia: The Falmer Press, 62-82
- Häußler, P., Hoffmann, L., Rost, J. in Zusammenarbeit mit Roland Lauterbach (1986). *Zum Stand physikalischer Bildung Erwachsener: Eine Erhebung unter Berücksichtigung des Zusammenhangs mit dem Bildungsgang*, Kiel: IPN
- Heering, P. (1995). *Das Grundgesetz der Elektrostatik. Experimentelle Replikation, wissenschaftshistorische Analyse und didaktische Konsequenzen*. Universität Oldenburg, Diss.
- Hoffmann, L., Lehrke, M. (1986). *Eine Untersuchung über Schülerinteressen an Physik und Technik*. *Zeitschrift für Pädagogik* 32 (2), 189-204
- Hofstein, A., Lunetta, V.N. (1982). *The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research*. *Review of Educational Research* 52 (2), 201-217
- Höttecke, Dietmar (2001). *Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*. Berlin: Logos-Verlag, Diss.
- Hughes-McDonell, F.J. (1996). *Understanding High School Physics Students' Perspectives of Their Classroom Experiences and Their Images of Physics and Physicists. A Pilot Study*. Harvard University: Qualifying Paper (unveröf.)
- Hung, E. H.-C. (1997). *The Nature of Science: Problems and Perspectives*. Belmon, CA u.a.: Wadsworth Publishing Company
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik. Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen*. Kiel: IPN
- Knorr-Cetina, K. (1991 [1981 engl.]). *Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp
- Krüger, U.-H., Schecker, H. (1982). *Das Bild von der Wissenschaft Physik - Ergebnisse empirischer Untersuchungen zu wissenschaftstheoretischen Fragestellungen bei Schülern und Lehrern der Sekundarstufe II. Der Physikunterricht, Nr.2, 78-82*
- Kuhn, T.S.(1973 [1962 engl.]). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp
- Kuhn, T.S. (1992). *Die Entstehung des Neuen. Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte*. hrsg. v. L. Krüger, Frankfurt a.M.: Suhrkamp
- Labudde, P. (1999). *Mädchen und Jungen auf dem Weg zur Physik. Reflexive Koedukation im Physikunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht - Physik 10 (49), 4-10*
- Larochelle, M., Désautels, J. (1991). *'Of Course, It's Just Obvious': Adolescents' Ideas of Scientific Knowledge*. *International Journal of Science Education* 13 (4), 373-389
- Latour, Bruno: 1987, *Science in Action: How to follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge (Massachusetts): Harvard University Press
- Latour, B., Woolgar, S. (1986 [1979]). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press
- Lederman, N.G. (1992). *Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of Research*. *Journal of Research in Science Teaching* 29 (4), 331-359
- Lederman, N.G., O'Malley, M. (1990). *Students' Perceptions of Tentativeness in Science: Development, Use, and Sources of Change*. *Science Education* 74 (2), 225-239
- Lubben, F., Millar, R. (1996). *Children's Ideas about the Reliability of Experimental Data*. *International Journal of Science Education* 18 (8), 955-968
- Matthews, M.R. (1996). *What Should be the Goal in Teaching about the Nature of Science. Contribution to a NARST 1996 Symposium on: Critical Issues in the Nature of Science and Science Teaching Research*
- McComas, W.F. (1995). *A Thematic Introduction to the Nature of Science: an Analysis of the Rationale, Content and Impact of a Philosophy of Science Course for Science Educators*. In: F. Finley, D. Allchin (ed.), *Proceedings of the Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference, Minneapolis/Minnesota*, 726-737
- McComas, W.F., Almazroa, H. (1998). *The Nature of Science in Science Education: An Introduction*. *Science and Education* 7, 511-532
- Mead, M., Métraux, R. (1957). *The Image of the Scientist among High-School Students. A Pilot Study*. *Science* 126, 384-390

- Meichtry, Y.J. (1993). The Impact of Science Curricula on Student Views about the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* 30 (5), 429-443
- Meyer, K., Carlisle, R. (1996). Children as Experimenters. *International Journal of Science Education* 18 (2), 231-248
- Meyling, H. (1990). *Wissenschaftstheorie im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Das wissenschaftstheoretische Schilervorverständnis und der Versuch seiner Veränderung durch explizit wissenschaftstheoretischen Unterricht*. Bremen, Diss.
- Meyling, H. (1997). How to Change Students' Conceptions of the Epistemology of Science. *Science and Education* 6, 397-416
- Millar, R. (1987). Towards a Role for Experiment in the Science Teaching Laboratory. *Studies in Science Education* 14, 109-118
- Millar, R., Wynne, B. (1988). Public Understanding of Science: from Contents to Processes. *International Journal of Science Education* 10 (4), 388-398
- Mothes, H. (1968). *Methodik und Didaktik der Physik und Chemie*. Köln: Aulis Verlag
- Nott, M. (1992). Teaching and Learning about the Nature of Science: An English Perspective, In S. Hills (ed.), *The History and Philosophy of Science Education*. Proceedings of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science and Science Teaching (Vol 2). Kingston, Ontario: The Mathematics, Science, Technology and Teacher Education Group and The Faculty of Education Queen's, University, Bd.2, 229-239
- Pickering, A. (1995). *The Mangle of Practice. Time, Agency, and Science*. Chicago, London: University of Chicago Press
- Popper, K.R. (1976 [1934 engl.]). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr
- Robinson, J.T. (1998a [1965]). Science Teaching and the Nature of Science. *Science and Education* 7, 617-634
- Robinson, J.T. (1998b). Reflections on Science Teaching and the Nature of Science. *Science and Education* 7, 635-642
- Rubba, P.A., Horner, J.K., Smith, J.M. (1981). A Study of Two Misconceptions About the Nature Of Science Among Junior High School Students. *School Science and Mathematics* 81, 221-226
- Ryan, A.G. (1987). High-School Graduates' Beliefs about Science-Technology-Society. IV. The Characteristics of Scientists. *Science Education* 71 (4), 489-510
- Ryan, A.G., Aikenhead, G.S. (1992). Students' Preconceptions about the Epistemology of Science. *Science Education* 76 (6), 559-580
- Solomon, J. (1991). Teaching About the Nature of Science in the British National Curriculum. *Science Education* 75 (1), 95-103
- Solomon, J. (1993). *Teaching Science, Technology and Society*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press
- Solomon, J., Scott, L., Duveen, J. (1996). Large-Scale Exploration of Pupils' Understanding of the Nature of Science. *Science Education* 80 (5), 493-508
- Songer, N.B., Linn, M.C. (1991). How do Students' Views of Science Influence Knowledge Integration. *Journal of Research in Science Teaching* 28 (9), 761-784
- Ströker, E. (1992 [1973]). *Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Darmstadt: WBG
- Tobin, K., McRobbie, C.J. (1997). Beliefs about the Nature of Science and the Enacted Science Curriculum. *Science and Education* 6, pp355-371
- Töpfer, E., Bruhn, J. (1976). *Methodik des Physikunterrichts*. Heidelberg: Quelle & Meyer
- Wetzel-Schumann, M. (1998). Mädchen und Jungen in der Schule - BLK-Modellversuch 1992-1998. Differenzierte Koedukation im Physikunterricht, In H. Behrendt, Helga (Hg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven, Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie, Potsdam 1997*, 379-381

Dr. Dietmar Höttecke ist Mitglied der Arbeitsgruppe Hochschuldidaktik und Wissenschaftsgeschichte des Fachbereichs Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.

Dr. Dietmar Höttecke
Freiherr-vom-Stein-Str. 116 f
26129 Oldenburg