

Roth, Wolff-Michael

Ethnographische Studien zum offenen Experimentieren im Physikunterricht

Unterrichtswissenschaft 23 (1995) 2, S. 146-161

urn:nbn:de:0111-opus-81260



in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen / conditions of use

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.

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.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

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

Kontakt / Contact:

peDOCS
Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF)
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft
Informationszentrum (IZ) Bildung
Schloßstr. 29, D-60486 Frankfurt am Main
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung
23. Jahrgang / 1995 / Heft 2

Thema: Empirische Forschung in der Physikdidaktik

Verantwortlicher Herausgeber:
Reinders Duit

- Reinders Duit:
Empirische physikdidaktische Unterrichtsforschung 98
- Peter Häußler, Lore Hoffmann:
Physikunterricht –
an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert 107
- Hartmut Wiesner:
Physikunterricht –
an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert 127
- Wolff-Michael Roth:
Ethnographische Studien zum offenen Experimentieren
im Physikunterricht 146

Allgemeiner Teil

- Jannis E. Vrettos:
Die Konzeption eines Microteaching-Programms in Griechenland:
Empfehlungen für das Training der Lehramtsstudierenden 162
- Wilhelm Hagemann, Franz-Josef Rose:
Ausländer bevorzugt entlassen? Urteile von Lehramtsstudenten
in Ost- und Westdeutschland 175

Buchbesprechungen 190

Wolff-Michael Roth

Ethnographische Studien zum offenen Experimentieren im Physikunterricht¹

Ethnographic studies on open inquiry in physics instruction

In diesem Beitrag wird ein theoretischer Rahmen für Wissen und Lernen vorgestellt, der (a) zur Entwicklung eines Ansatzes offenen Experimentierens im Physikunterricht führt und (b) ethnographische Forschungsmethoden erfordert, um den Erwerb des neuen Wissens in diesen offenen Situationen zu erfassen. Der theoretische Rahmen beruht auf Ansätzen eines sozialen Konstruktivismus, er kann kurz mit den Schlagworten situiertes Lernen (situated cognition), authentische Lernsituationen und cognitive apprenticeship gekennzeichnet werden. Die ethnographische Forschungsmethode wird anhand einiger Beispiele aus einer Studie zum offenen Experimentieren im Physikunterricht illustriert. In die Zusammenfassung werden auch die Ergebnisse weiterer Untersuchungen mit offenen Lernsituationen einbezogen.

This article develops a theoretical framework for knowing and learning that (a) leads to the design of open-inquiry laboratory settings in high school physics and (b) necessitates ethnographic research methods to answer questions about knowing and learning in these settings. The theoretical framework is grounded in social constructivist approaches that may be indicated by the labels situated cognition, authentic learning situations and cognitive apprenticeship. An example is used to illustrate the ethnographic methods in the context of an open-inquiry physics laboratory. In the conclusions, that includes findings from other studies on open-inquiry, the affordances of open-inquiry and ethnographic methods and their consistency with the theoretical framework are assessed.

1. Theoretischer Rahmen

Die Transmission werkzeugbezogener und diskursiver Ressourcen und Praxen (tool-related and discursive resources and practices)² von einer Generation zur nächsten hat in der individuellen und kulturellen Entwicklung des

¹ Dieser Artikel ist zunächst in englischer Sprache geschrieben und dann von Reinders Duit und vom Autor ins Deutsche übertragen worden. Manche englischen Termini lassen sich nicht ohne weiteres in die deutsche Sprache übertragen. Um Mißverständnisse zu vermeiden, wird deshalb an verschiedenen Stellen in Klammern der originale englische Ausdruck angegeben.

² Aus theoretischen Gründen, die an anderer Stelle näher erläutert sind (Roth & Bowen, 1995) wird hier zwischen Ressourcen und Praxen (resources and practices) und nicht zwischen Wissen und Fertigkeiten (knowledge and skills) unterschieden. Auf diese Weise ist es z.B. einerseits möglich, Begriffsnamen (Ressourcen) klar vom kanonischen Gebrauch eines Begriffs (Praxis) zu trennen. Andererseits läßt sich vermeiden, daß Fertigkeiten (werkzeugbezogene Praxis) gegenüber Wissen (diskursive Praxis) abwertend betrachtet werden, wie es häufig geschieht.

Menschen eine zentrale Rolle gespielt. Die fortlaufende Entwicklung dieser Ressourcen und Praxen hat es erlaubt, Probleme wachsender Komplexität zu lösen. Als Mechanismen der kulturellen Transmission sind Schulen, wie wir sie heute kennen, eine recht junge Entwicklung. In vielerlei Hinsicht sind sie in der kurzen Zeit ihrer Existenz nicht sehr erfolgreich gewesen. Seit einer Reihe von Jahren gibt es zum Beispiel zunehmend empirische Belege dafür, daß in der Schule erworbenes mathematisches und naturwissenschaftliches Wissen in Alltagskontexten nicht anwendbar ist.

1.1 Situiertes Wissen (situated cognition) und authentische Tätigkeiten

Ethnographische Untersuchungen zum Lösen einfacher mathematischer Probleme im Alltagskontext wie z.B. durch Käufer in Supermärkten, Arbeiter in einer Molkerei oder von jugendlichen Straßenhändlern haben eine klare Diskrepanz zwischen mathematischen Praxen in Schulsituationen und in außerschulischen Situationen gezeigt (s. z.B. Lave, 1988). Die gleichen Personen, die in Alltagssituationen ihre mathematischen Probleme (z.B. bestimmte Berechnungen) nahezu perfekt lösen, zeigen erheblich schlechtere Leistungen, wenn ihnen strukturell identische Aufgaben in Papier-und-Bleistift-Tests vorgegeben werden. Forschungsergebnisse dieser Art haben zu einer neuen Forschungsperspektive geführt, die mit dem Terminus „situiertes Lernen“ (situated learning; situated cognition) bezeichnet wird. Aus dieser Perspektive ist die skizzierte Diskrepanz des Problemlösens in schulähnlichen und alltäglichen Situationen dadurch zu erklären, daß die Ressourcen (wie Werkzeuge, Dinge oder Terminologien) und die damit verbundenen werkzeugbezogenen und diskursiven Praxen in den beiden Arten von Situationen verschieden sind. Dadurch kommt es zu unterschiedlichen Strukturierungen der jeweiligen Problemsituation und folglich zu unterschiedlichen Lösungsstrategien. Die unter der Perspektive „situated cognition“ durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß Alltagsprobleme, -ressourcen, -praxen und -lösungsstrategien in ein komplexes Geflecht von Mitteln, Zwecken und Werten eingebettet sind. Mathematisches aber auch naturwissenschaftliches Problemlöseverhalten ist also in Alltagskontexten von komplexen Mittel-Zweck-Relationen bestimmt, im Schulalltag wird es aber in der Regel zum Selbstzweck.

Um Diskrepanzen zwischen Schul- und Alltagspraxen zu verringern, ist vorgeschlagen worden, in der Schule im verstärkten Maße „authentische“ Probleme zu behandeln: Schüler sollen auf diese Weise lernen, wie Mathematiker oder Naturwissenschaftler zu denken, zu sprechen und zu handeln (Brown, Collins & Duguid, 1989). „Authentisch“ bedeutet dabei nicht „genau gleich wie“ in der Mathematik bzw. in den Naturwissenschaften. Es genügt in der Regel eine ausreichende Ähnlichkeit. Brown et al. (1989) erläutern ihre Auffassung anhand des folgenden Beispiels. Anstatt Schülerinnen und Schülern mathematische Algorithmen mitzuteilen, läßt eine Lehrerin

sie zu mathematischen Untersuchungen ein, die von ihrem Vorverständnis ausgehend, über gemeinschaftliche Aktivitäten und Wissenskonstruktionen in der ‚Kultur‘ des Klassenverbandes zu vertieftem Lernen führen. Schüler, die ein Computerprogramm schreiben, um jüngeren Mitschülern mathematische Begriffe zu vermitteln, sind ebenfalls in authentische Tätigkeiten engagiert: Anstatt Algorithmen auswendig zu lernen, benutzen sie die Entwicklung des Programms, um ihre eigenen Repräsentationen z.B. von Brüchen zu konstruieren und sind auf diese Weise tief in einen mathematischen Diskurs eingebunden (Harel, 1991). Tätigkeiten werden also als „authentisch“ bezeichnet, wenn die zur Verfügung stehenden Ressourcen zu Schülerpraxen führen, die denen von Experten auf dem betreffenden Gebiet ähnlich sind.

1.2 Cognitive Apprenticeship und naturwissenschaftliche Praxis

Die Teilnahme an den Tätigkeiten eines erfahrenen Mitglieds einer Wissensgemeinschaft ist seit langem eine wichtige Art des Lernens im Alltagskontext (Lave, 1993). Wenn ein Novize (ein Lehrling) einer intellektuellen Praxis mit einem erfahrenen Mitglied zusammenarbeitet (wenn zum Beispiel ein Physikstudent oder -doktorand mit seinem Betreuer gemeinsame Forschungen betreibt), kann man von cognitive apprenticeship, von kognitiver Meisterlehre, sprechen. Durch die aktive Teilnahme an den Praxen einer bestimmten Kultur, zu Füßen des Meisters sozusagen, lernen Lehrlinge (apprentices) in zunehmenden Maße zu denken, zu argumentieren, zu handeln und zu interagieren wie die erfahrenen Mitglieder, die Experten dieser Kultur (Brown et al., 1989; Lave & Wenger, 1991). „*Situated cognition*“, „*authentic activity*“ und „*cognitive apprenticeship*“ hängen also eng miteinander zusammen. Da jede Kognition situiert und eine Funktion der dem Individuum zur Verfügung stehenden Ressourcen ist, sind solche Tätigkeiten authentisch, die den Novizen die Gelegenheit geben, an der Alltagspraxis der Experten teilzunehmen. Um dies zu tun, gibt es keine bessere Gelegenheit als eine „Lehrling-Meister-Beziehung“, in der der Novize (zum Beispiel der Schüler) und der Experte (zum Beispiel der Lehrer) in Alltagstätigkeiten eines betreffenden Gebiets zusammenarbeiten.

Interaktionen zwischen Novizen und Experten sind allein allerdings nicht ausreichend. Ein integraler Teil von cognitive apprenticeship, wie es von Brown et al. (1989) verstanden wird, ist die Idee der Zusammenarbeit unter den Novizen. Durch enge Kooperation, durch gemeinsames Problemlösen und durch die Entwicklung einer gemeinsamen informellen Verständigungsbasis (shared narratives) konstituieren sich die „cognitive apprentices“ als Mitglieder einer Gemeinschaft, die das Lernen jedes einzelnen unterstützt. Cognitive apprenticeship ist, wie bereits erwähnt, alltägliche Praxis in Forschungslabors. In der Schule lassen sich vergleichbare Formen der Kooperation dagegen viel schwieriger realisieren. Ein wesentliches Hindernis bei dem Versuch, auch in der Schule authentische Lernsituationen im oben genannten Sinne zu schaffen, sind falsche Vorstellungen davon, was Naturwissenschaftler in ihrer Praxis tatsächlich tun. Forschungen zur Soziologie der

Wissenschaften in Laboratorien haben jedenfalls traditionelle Überzeugungen zu den Tätigkeiten, werkzeugbezogenen Praxen und Diskursen von Wissenschaftlern in Frage gestellt, d.h. manchen „Mythos“ über deren tatsächlichen Tätigkeiten offengelegt (Collins, 1982; Gooding, 1992; Pickering, 1984; Pinch, 1986; Trawee, 1988, Woolgar, 1990). Es hat sich gezeigt, daß die Problemlöseaktivitäten der Naturwissenschaftler von situierter und lokaler Natur sind. Sie sind gekennzeichnet durch viele falsche Lösungsansätze und -prozeduren mit eher lokaler und nicht mit genereller Anwendbarkeit und durch das Wiederaufnehmen von bereits abgeschlossenen Tätigkeiten und Diskursen, wenn es Schwierigkeiten in der Kontinuität der vertrauten, üblichen Tätigkeiten gibt. Naturwissenschaftliche Probleme, Instrumente und Materialien sind sowohl durch die lokalen Bedingungen in dem betreffenden Labor wie auch durch allgemeine und erkenntnisleitende Interessen bestimmt. Zu den lokalen Praxen zählt „Aberglauben“, also Tätigkeiten und Vorgehensweisen, für die es keine andere Erklärung gibt, als daß sie funktionieren. Deshalb sind wissenschaftliche Objekte, wissenschaftliches Wissen und wissenschaftliche Logik zutreffender durch ihre Indexikalität als durch ihre spezielle Rationalität zu kennzeichnen.

1.3 Authentische Tätigkeiten und Cognitive Apprenticeship in der Schule

Die Begriffe *authentic activity* und *cognitive apprenticeship* sind in programmatischer Weise als die zentralen Komponenten der Weiterentwicklung von Lehren und Lernen (z.B. von Brown et al., 1989) verwendet worden. Andere sind vorsichtiger in der Einschätzung des Nutzens dieser Begriffe, manche weisen sie gar als bloße Rhetorik zurück. Nur wenige Vorschläge gibt es zu Bedingungen, unter denen Tätigkeiten im Klassenzimmer wenigstens „quasi-authentisch“ sein können.³ In unseren Studien zum offenen Experimentieren sind wir von den folgenden Kennzeichen „quasi-authentischer“ wissenschaftlicher Tätigkeiten in der Schule ausgegangen (Roth, 1994; Roth & Bowen, 1995): (a) die Teilnehmer arbeiten und lernen in Situationen, die jedenfalls teilweise durch nicht klar definierte Probleme gekennzeichnet sind; (b) sie müssen sich mit Unklarheiten und Mehrdeutigkeiten auseinandersetzen;

³ Ich bin tatsächlich vorsichtiger, was authentische Tätigkeiten in der Schule sein können, als das Vorstehende vielleicht erkennen läßt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen alltäglichen wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Tätigkeiten ist die jeweilige Absicht, die mit ihnen verbunden ist. Ihre Ziele sind üblicherweise Produkte, ob dies nun ein günstiger Kauf in einem Supermarkt, neue wissenschaftliche Theorien (z.B. zum Big-Bang, zu Krebs oder zu AIDS) oder die Maximierung des Profits einer Firma sind. Um diese Ziele zu erreichen, wenden Menschen alte Praxen an oder erlernen neue, die sich als hilfreich erweisen. Also beruht Lernen in Alltagssituationen auf einer zweckorientierten Tätigkeit. Schulen aber haben (auch) die Aufgabe, Kulturgüter und bestimmte Fertigkeiten um ihrer selbst willen an die nachwachsende Generation weiterzugeben.

(c) das Lernen wird durch ihren aktuellen Wissensstand vorangetrieben; (d) sie verstehen sich selbst als Mitglieder einer Lerngemeinschaft, in der Wissen, Praxen und Diskurse geteilt werden; (e) in dieser Lerngemeinschaft können die Mitglieder (unter ihnen auch neu hinzugekommene) auf die Expertise von bereits erfahrenen Personen und auf eine Reihe von geeigneten Ressourcen zurückgreifen, um den gemeinsamen Lernprozeß zu unterstützen. In den Physikklassen, die an unseren Untersuchungen teilnahmen, haben Schülerinnen und Schüler erstens ihre Probleme selbst definiert und selbstständig Lösungswege gesucht; bei der Suche nach Lösungsmöglichkeiten haben sie neue Probleme identifiziert, die zunächst gelöst werden mußten, bevor sie wieder an die Lösung des eigentlich zu untersuchenden Problems gehen konnten. Zweitens mußten sie sich bei der Problemkonstruktion und -lösung mit Ungewißheiten beschäftigen, die sich unvermeidlich einstellen, wenn man Untersuchungen zum ersten Mal angeht. Drittens wurde das Lernen vom aktuellen Verständnis der Beteiligten vorangetrieben, da die bearbeiteten Forschungsfragen von ihnen selbst entwickelt worden waren. Viertens wurden die Schülerinnen und Schüler ermutigt und aufgefordert, in ihren Gruppen, aber auch mit Mitgliedern anderer Gruppen, zu interagieren und die von der Schule angebotenen Ressourcen (wie den Klassenraum, die Bibliothek, die Physiksammlung und die Küche) zu nutzen. Schließlich wurden die Schüler ermuntert, jeden um Rat zu fragen, von dem sie annahmen, daß er oder sie ihnen weiterhelfen konnte. Die Problemlöseaktivitäten der Schülerinnen und Schüler waren also das Ergebnis von Interaktionen zwischen kognitiven Vermittlern (cognitive agents), realen Objekten und Versuchsaufbauten. Die Tiefe des Verständnisses erwuchs dabei nicht dem Intellekt von Individuen, sondern ergab sich aus den Interaktionen, die das Lernsystem definierten, welches unterschiedliche soziale Organisation (in kleinen Gruppen und im Klassenverband) und die vermittelnde Rolle von Werkzeugen, Materialien und Sprache umfaßte (Ueno & Arimoto, 1993).

2. Forschungsdesign

2.1 Teilnehmer

Unsere Studien zum offenen Experimentieren im Physikunterricht wurden über einen Zeitraum von drei Jahren an einem privaten Jungen-Internat (all-boys college-preparatory school) im Osten von Kanada durchgeführt. Ich war Leiter der naturwissenschaftlichen Abteilung und unterrichtete Physik an dieser Schule, sodaß ich mit der „Kultur“ dieser Institution wohl vertraut war. Die meisten Schüler kamen aus Elternhäusern der Mittelklasse oder der oberen Mittelklasse, sie unterschieden sich aber hinsichtlich ihres „akademischen Potentials“ nicht von Schülern anderer vergleichbarer Schulen. Die Untersuchung wurde im Rahmen eines sehr populären einführenden Physikkurses in der 11. Klasse durchgeführt, der in jedem Jahr von rund 65% aller Schüler gewählt wurde. Die meisten Schüler strebten kein naturwissenschaftliches Studium an, sondern planten lukrativere Karrieren in der Wirtschaft,

im Rechtswesen oder in der Industrie. Ein Laborassistent (mit einem Diplom in Physik) und ein Universitätsprofessor waren an der Sammlung und Interpretation der Daten beteiligt.

2.2 *Offenes Experimentieren*

Die von uns arrangierten Lernumgebungen waren vom sozial-konstruktivistischen Ansatz bestimmt, der oben skizziert worden ist. Ein wichtiger Aspekt war, Lernsituationen zu schaffen, die mit den oben skizzierten Kriterien der „Authentizität“ und des „cognitive apprenticeship“ verträglich waren. Die Schüler hatten freien Zugang zum Physikraum der Schule von morgens um 8 Uhr bis nachts um 12 Uhr, sie konnten in dieser Zeit mit der dort zur Verfügung stehenden Ausrüstung, u.a. Computer, arbeiten. Viele Schüler nutzen die damit gegebenen Gelegenheiten schnell auch für Projekte, die mit Mathematik und mit anderen Fächern zu tun hatten. Auf diese Weise wurde der Physikraum der Ort einer Lerngemeinschaft, die ihren Mitgliedern vielfältige Unterstützung bot. Obwohl im Physikraum Unterricht nach einem festgelegten Zeitplan stattfand, konnten die Schüler zu jeder Zeit kommen und ihre Forschungen fortsetzen oder zu den Projekten anderer Schüler beitragen, so lange es dadurch keine Überschneidungen mit den Arbeiten der Schüler gab, die gerade im Physikraum ihren regulären Unterricht erhielten.

2.3 *Authentische Tätigkeiten*

Die authentischen Lernsituationen, die wir arrangierten, waren in die vorgeannten äußeren Bedingungen eingepaßt. Sie umfaßten eine große Anzahl von Planungstätigkeiten sowie von Datenaufnahme- und Analysetechniken, die einen integralen Teil der Arbeitsumgebung eines Physikers ausmachen. Ungefähr 70% aller Schüleraktivitäten in unserem Kurs waren durch offenes Experimentieren (open inquiry) gekennzeichnet. Anstatt vorgegebene Verifikationsexperimente nach „Kochbuch“ durchzuführen, hatten die Schüler Gelegenheit, ihr Forschungsproblem aus dem behandelten Bereich der Physik selbst zu bestimmen. Die verbliebenen 30% der zur Verfügung stehenden regulären Unterrichtszeit diskutierten wir Gesichtspunkte, die sich aus den Hausaufgaben der Schüler ergaben. Diese Hausaufgaben umfaßten die folgenden Aktivitäten: (a) Lesen von relevanten Abschnitten des in der Schule eingeführten Lehrbuchs und von entsprechenden Abschnitten in mindestens einer weiteren Quelle; (b) Zusammenfassung der wichtigsten Ideen des Gelesenen durch die Konstruktion von concept maps (strukturierte Begriffsnetze); (c) Abgeben der Lösungen von wöchentlich sechs bis acht Aufgaben eigener Wahl aus dem Lehrbuch und aus anderen Quellen; (d) von Zeit zu Zeit Aufsätze zu speziellen Themen, wie zur Natur der Naturwissenschaften oder zur Erkenntnistheorie.

Bei der Bearbeitung der Probleme, die sie sich selbst gestellt hatten, konnten die Schüler auf ein recht großes Angebot experimenteller Ausrüstung zurückgreifen und ihre eigenen Instrumente und Versuchsaufbauten zusammenzustellen oder, falls das nötig war, eigenes Gerät hinzukonstruieren. Computer-

Interfaces erlaubten die Messung und Datenaufnahme der folgenden Größen: Temperatur, Geschwindigkeit, elektrische Spannung und Kraft. Weiterhin standen die folgenden Geräte zur Verfügung: Lichtschranken, Feuchtigkeitsmesser, PH-Wert-Meßgeräte, Fotozellen und Thermoelemente. Drei Macintosh Computer waren mit den folgenden Programmen ausgestattet: eine mathematische Modellbildungs-Software, Statistik-Programme, Simulations-Programme, Programmiersprachen, Spreadsheets, Textverarbeitungs- und Graphikprogramme. Die experimentelle Ausstattung entsprach dem üblichen Standard, d.h. es standen Luftkissenbahnen, ein Lufttisch, Oszilloskope, Klassensätze für optische Experimente, zwei Laser, Frequenzgeneratoren, Stromkreiselemente, Meßgeräte für elektrische Größen, ein Motor zur Erzeugung von Seilwellen, Klassensätze von Wasserbehältern und Geräte, um Zentripetalkräfte und Trägheitsmomente zu messen, zur Verfügung.

Es hat uns nicht sonderlich überrascht, daß die Schüler nur geringes Interesse für die Standardversuche aufbrachten, wie einfache Experimente, die es erlauben, Bewegungsgesetze zu verifizieren. Sie waren vielmehr an Fragen interessiert wie „Gibt es eine Beziehung zwischen der Größe eines Segels, das Reibung verursacht, und seiner Geschwindigkeit?“, „Gibt es Beziehungen zwischen der Dichte und Viskosität von Flüssigkeiten und Eigenschaften der Bewegungen von Körpern, die in diesen Flüssigkeiten zu Boden sinken oder fallen?“ oder „Welches sind die Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Weg-Zeit-Charakteristiken eines Yo-Yo, das sich bewegt?“ Für jedes dieser Probleme entwickelten die Schüler Geräte und Versuchsaufbauten, einschließlich von Instrumenten, um die Viskosität zu messen oder die Zeit zu bestimmen.

2.4 Cognitive Apprenticeship und Situated Cognition

In der Klassengemeinschaft waren der Lehrer und der Labor-Assistent, beide mit Erfahrung in physikalischer Forschung, die Experten. Auf Anfrage von Schülern oder wenn wir das Gefühl hatten, es würde hilfreich sein, führten wir neue Instrumente, Datenanalyse-Techniken oder Modellierungsprogramme ein. Es kam einige Male vor, daß die Schüler Experimente entwickelten, bei denen wir Experten nicht wußten, welches Ergebnis sich zeigen würde und warum sie funktionierten (oder eben nicht funktionierten). In solchen Fällen, begannen die Schüler und wir eine gemeinsame Untersuchung. Schüler waren dabei in prototypische Beispiele für cognitive apprenticeship (Brown et al., 1989) involviert, da sie beobachten konnten, wie erfahrene Experten mit einem gestellten Problem umgehen. Wir versorgten also die Schüler, insgesamt gesehen, mit Werkzeugen auf einer „just-in-time“ und „as-needed“ Basis. Auf diese Weise wurden die Geräte und Techniken nicht einfach zu Dingen, die auch noch (auswendig) gelernt werden mußten, sondern zu bedeutungsvollen Aspekten ihrer Arbeit am gewählten Problem. Wie in anderen Forschungsgruppen zogen die Schüler auch die Expertise von Personen hinzu, die nicht zur engeren Forschungsgemeinschaft gehörten, wie zum Beispiel andere Lehrer, Handwerker, die in der Schule arbeiteten, das Küchenpersonal der Schule und die Bibliothek.

Um die Problemlöseprozesse in unserem Vorhaben zu verfolgen und zu verstehen, war es wichtig, (a) den einzelnen Schülern in ihrem Fortschritt so genau wie möglich zu folgen und (b) insbesondere die Aspekte zu erfassen, die für ihre Arbeit relevant waren. Wie weiter unten noch näher beleuchtet wird, können Problemlöseprozesse in offenen Experimentiersituationen nicht allein durch die Beobachtung der Handlungen von Individuen adäquat erfaßt werden. Untersuchungen der sozialen und physischen Rahmenbedingungen und die Bedeutungen, die von den untersuchten Schülern diesen Rahmenbedingungen zugeordnet werden, müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

2.5 Ethnographische Forschung

Aus epistemologischer Sicht beruhen unsere Untersuchungen zum offenen Experimentieren auf dem sozialen Konstruktivismus. Methodologisch gesehen, orientieren sie sich an ethnographischen Studien zur Arbeit von Naturwissenschaftlern, an mikro-soziologischen Ansätzen, die alltägliche Arbeitspraxis und das alltägliche Planungsverhalten zu verstehen und an Analysen der Tätigkeiten und Strukturen von Institutionen (s. z.B. Burrell & Morgan, 1985; Knorr-Cetina, 1981; Suchman, 1987). Die Wahl der ethnographischen Methode ergab sich auch aus den folgenden Überlegungen: Wenn man davon ausgeht, daß Lernen im oben skizzierten Sinne situiert ist, dann muß der spezifische Kontext eines jeden Teilprojekts untersucht werden, um zu erfahren, wie und unter Benutzung welcher Mittel Schüler ihre Probleme und Lösungsversuche strukturieren. Weiterhin gibt es Ergebnisse ethnographischer, psychologischer und physiologischer Studien, die zeigen, daß Perzeption auf Information innerhalb und außerhalb des denkenden Individuums beruhen (Varela, Thompson & Rosch, 1988). Um Problemlöseprozesse zu verstehen, ist es deshalb nicht nur wichtig, wie der Forscher eine bestimmte Situation wahrnimmt. Der Forscher muß vielmehr auch wissen, wie die Situation von den problemlösenden Individuen selbst gesehen wird. Traditionelle Methoden trennen nicht ausreichend zwischen den beiden Perspektiven, nur die ethnographischen Methoden erlauben es, der Perspektive der problemlösenden Individuen gerecht zu werden.

2.6 Datenquellen und Datenanalyse

Unsere wichtigste Datenquelle sind Videoaufzeichnungen der Schüleraktivitäten, ihrer Planungssitzungen, ihrer Konstruktionen von Experimenten, ihrer Versuchsauswertungen und ihrer Schlußfolgerungsdiskussionen. In einer unserer Studien nahmen wir Schüler-Schüler- sowie Schüler-Lehrer-Interaktionen über einen Zeitraum von zwei Monaten auf. Zur Hauptdatenquelle treten Kopien aller Materialien, die unsere Schüler produziert haben, wie Fotos der Versuchsaufbauten und Untersuchungsgeräte, „Forschungstagebücher“ und abschließende Berichte. Wir ergänzten diese Quellen durch die Kursplanung des Lehrers und seine Überlegungen zum Kurs und zu seiner Durchführung, durch Aufsätze, die Schüler als Hausaufgabe geschrieben ha-

ben (z.B. zu epistemologischen und ontologischen Fragen der Physik) und durch Schülerinterviews, die sich vorwiegend auf ihre Sicht von Physikwissen und -lernen bezogen. Die Videoaufzeichnungen wurden innerhalb weniger Tage nach der Aufnahme transkribiert. Jedes Videoband und das zugehörige Transkript wurde von einer zweiten Person durchgesehen, um ein hohes Maß akurater Übertragung zu gewährleisten.

Unser Verständnis der Problemlöseprozesse in den offenen Experimentiersituationen wurde vorwiegend auf der Basis der Videoaufnahmen und der darauf beruhenden Transkripte konstruiert. Während die Schüler ihre Untersuchungen planten, durchführten und interpretierten, sprachen die Schüler mit anderen innerhalb und außerhalb ihrer Arbeitsgruppe. Durch diese diskursiven Aktivitäten kommunizierten sie über ihr jeweiliges Verständnis des Problems, den Status der jeweiligen Teilaufgaben, Pläne, Fortschritte und über verbleibende Arbeiten. Die Transkripte stellen also Protokolle dar, die wir zusammen mit den von den Schülern aufgebauten Geräten und Versuchen sowie mit den anderen von ihnen produzierten Materialien benutzt haben, um unser Verständnis der Problemlöseprozesse, individuelle Denkweisen von Teilnehmern und Prozesse der Bedeutungsattribution in bestimmten Kontexten zu konstruieren. Weiterhin erlaubten es diese Dokumente, zu erfahren, wie weit die Teilnehmer ihre Aktivitäten als kohärent und konsistent ansahen.

Zur Konstruktion unseres Verständnisses der Problemlöseprozesse verwendeten wir eine Technik, die von Anthropologen und Soziologen entwickelt worden ist, um interaktives Verhalten zu studieren. Wir sahen uns die Videodokumente möglichst bald nach der Aufzeichnung mehrere Male an. Während dieser ersten Sitzungen konstruierten wir vorläufige Hypothesen (assertions) über das Problemlöseverhalten wie zum Beispiel „Anstatt Variable zu isolieren, tendieren die Schüler dazu, mit konkreten Materialien und Geräten zu arbeiten, um ein erstes Verständnis zu erzielen; diese konkreten Dinge dienen auch dazu, ein Verständnis interessanter Phänomene zu vermitteln, das von allen Teilnehmern einer Gruppe geteilt wird.“ Diese vorläufigen Hypothesen wurden anhand des bereits vorliegenden Datenmaterials weiter untersucht und es wurden gegebenenfalls weitere Datensammlungen mit dem Ziel der kritischen Überprüfung eingeleitet. Auf diese Weise wurden vorläufige Hypothesen modifiziert und schließlich in ein verfeinertes Verständnis überführt oder aber zurückgewiesen.

Uns war selbstverständlich von Beginn an klar, daß unser Vorverständnis unsere Analyse strukturierte und die Bedeutung, die wir schließlich konstruierten, bis zu einem gewissen Grade bestimmte. Es muß als Stärke ethnographischer Forschung angesehen werden, daß sie erlaubt, diesem Kennzeichen jeder Forschung ganz explizit zu entsprechen. Als partizipierende Beobachter, die Videoaufzeichnungen benutzen, um die Erinnerung an die aktuelle Situation zu unterstützen, können wir Probleme, Interpretationen, Interaktionen, Äußerungen oder Gesten aus der Schülerperspektive beschreiben. Wir können auf diese Weise versuchen, die Welt so zu sehen, wie sie den Schülern strukturiert erscheint und verfallen nicht in die Sichtweise, daß eine Welt existiert, die von allen Teilnehmern in der gleichen Weise gesehen wird.

Unsere ethnographischen Untersuchungen in verschiedenen Lernsituationen haben eine Reihe von klaren Evidenzen erbracht, daß das Individuum nicht die nützlichste Einheit der Analyse ist. In Übereinstimmung mit der oben skizzierten theoretischen Position gingen wir davon aus, daß die Evidenzen für Wissen und Lernen durch Problemlösen in den Interaktionen der Individuen, im sozialen Kontext und in den physischen Charakteristiken der beobachteten Situationen „situirt“ sind. Wir haben unsere Untersuchungen begonnen, ohne eine bestimmte Einheit der Analyse zu bevorzugen, wir haben sie vielmehr den jeweilig beobachteten Ereignissen und den Bedeutungen angepaßt, die von den Teilnehmern Dingen und Ereignissen zugeordnet wurden. Wenn eine Gruppe zum Beispiel eine bestimmte Technik anwendete, „weil andere das auch tun“, so konnte der Problemlöseprozeß in dieser Gruppe nur unter Einbeziehung des gesamten Klassenverbandes analysiert werden. Wenn dagegen drei Schüler einer Gruppe über den besten weiteren Weg diskutierten, dann wurde die Einheit der Analyse selbstverständlich von dieser Gruppe konstituiert. Wenn schließlich Entscheidungen über das Design eines Experiments auf Objekten basierten, mit denen die Schüler ihr Verständnis demonstrierten, so mußten diese Objekte mitberücksichtigt werden, weil sie das Verständnis der Schüler wesentlich mit strukturierten.

3. Ergebnisse

In diesem Abschnitt wird versucht, einige wichtige Ergebnisse der vorstehend skizzierten Untersuchungen zusammenzufassen. Der hier zur Verfügung stehende Platz erlaubt es leider nicht, die wichtigsten Befunde anhand von Dokumenten (wie Gesprächsausschnitte, Vignetten charakteristischer Unterrichtssituationen und dgl.) zu illustrieren und so zu belegen, wie es bei Berichten über qualitative Studien eigentlich der Fall sein müßte. Nur zwei Beispiele für solche Belege können präsentiert werden.

3.1 Zwei Beispiele für Ergebnisse

Nach einigen Anfangsschwierigkeiten gewöhnen sich die Schüler rasch an die Offenheit des Unterrichts wie die folgende Äußerung in dem *Labortagebuch* eines Schülers illustriert:

Bei diesem Experiment hatten wir das Gefühl, auf die Anforderungen, die man an uns stellte, besser vorbereitet zu sein. Beim ersten Experiment hatten wir diese Vorstellung noch nicht und beim zweiten Experiment waren wir noch von den Erfahrungen des ersten beeinflusst. Nun aber beim dritten Experiment wußten wir besser Bescheid, wie der Kurs abläuft und waren deshalb besser vorbereitet. Wir hatten das Gefühl, daß dieses Experiment ähnlich abließ wie die vorherigen. Deshalb sollten wir nun erfahren genug sein, um auch mit den folgenden gut zurecht zu kommen.

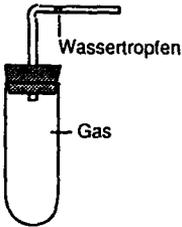
Es zeigte sich ganz allgemein, daß die aufgebauten Experimente umso komplexer wurden und daß die Schüler umso mehr zu lernen schienen, je länger sie sich mit einem inhaltlichen Bereich beschäftigten. Zunehmende Vertraut-

heit mit dem begrifflichen Umfeld wie mit den physischen Bedingungen erlaubte schließlich, ein vertieftes und dauerhaftes Verständnis der untersuchten Phänomene zu konstruieren.

Die Schüler benötigten in der Regel eine Unterrichtsstunde (von 40 Minuten), um ein untersuchenswertes Problem zu finden und Experimente dazu zu entwickeln. Während sie ihre Ideen diskutierten und ihre Experimente planten, ging ich von Gruppe zu Gruppe, um zur Diskussion beizutragen, wenn es nötig erschien. Einige Gruppen entwickelten ihre Fragestellungen und Untersuchungsgeräte und -methoden selbständig. Andere benötigten einige Hilfen, insbesondere bei der Auswahl der geeigneten Materialien und Geräte. Diese Auswahl erwies sich häufig als kritischer Aspekt insofern, als eine falsche Wahl nicht nur zum Scheitern des Experiments führte, sondern die Schüler auch in eine Einbahnstraße leitete, häufig mit der Konsequenz der Entmutigung (Roth, 1994). Der folgende Ausschnitt eines Gesprächs mit einer Schülergruppe illustriert die Rolle, die ich bei der Planung von Fragestellungen und Experimenten einnahm. Dabei bedeutet „(.....)“, daß ein Teil des Gesprächs ausgelassen worden ist und „=“, daß der folgende Sprecher ins Wort fällt:

1. Alan: ((Beschreibt ein Experiment, mit dem man die Ausdehnung von Luft bei Erwärmung messen könnte. Ein Reagenzglas ist mit einem Stopfen verschlossen, durch den ein Glasrohr führt. An das Rohr ist ein Gummischlauch angeschlossen, der in eine mit Wasser gefüllte Flasche führt, die ihrerseits mit dem Flaschenhals nach unten in eine Wanne mit Wasser eintaucht. Wird das Reagenzglas erwärmt, so dehnt sich die Luft aus, weicht über das Rohr und den Schlauch in die Flasche aus und verdrängt dort das Wasser. Dadurch läßt sich die Ausdehnung messen. so Alan.))

2. Lehrer:



Quantitativ? Und könntest du das Experiment mit verschiedenen Gasen durchführen?

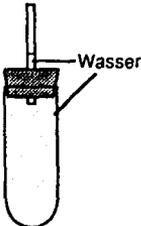
3. Alan:

Im Rohr befindet sich ein Wassertropfen, wenn das Gas sich ausdehnt, bewegt sich der Tropfen entlang des Rohrs. ((bezieht sich auf den nebenstehend skizzierten Versuch, nicht auf seinen oben beschriebenen))

4. Lehrer:

Und ganz ähnlich mit Flüssigkeiten, könntest du? =

5. Ron:



=Yeah, gerade, wenn sich das Wasser ausdehnt, geht es hoch ((Ron zeigt auf die obige Skizze (horizontale Bewegung des Wassertropfen), deutet aber in seinen Gesten den nebenstehenden Versuch an, der im folgenden weiterdiskutiert wird))

(.....)

6. Lehrer:

Wie könntest du das Volumen des= ((deutet mit Gesten ein Rohr an))

7. Alan:

=des Rohrs, nun man müßte den Durchmesser kennen

8. Rex:

Tu es in einen Becher.

9. Alan:

Wir können das Volumen schlicht vergessen und einfach die Höhe nehmen, weil der Durchmesser konstant ist.

Vor dieser Episode war die Gruppe gerade dabei, sich für ein Phänomen zu entscheiden. Alan, Ron und Rex waren an der Ausdehnung bei Erwärmung interessiert, aber sie hatten sich noch nicht entschieden, ob sie die Ausdehnung fester, flüssiger oder gasförmiger Körper untersuchen sollten. Meine Beiträge zum Diskurs hatten eine doppelte Funktion. Erstens wollte ich der Gruppe helfen, sich eine Reihe von Möglichkeiten zu überlegen, damit sie nicht gleich an der ersten Idee festhielten. Deshalb wollte ich sie dazu bringen, sich zwischen der Ausdehnung von festen Körpern, Flüssigkeiten oder Gasen zu entscheiden (4) oder die Ausdehnung verschiedener Gase zu untersuchen (2), anstatt einfach ein Gas (nämlich Luft) zu studieren, wie Alan es ursprünglich vorgeschlagen hatte. Zweitens wollte ich sie dazu führen, auf die Ausdehnung mit den Augen eines Physikers zu sehen und sich zu überlegen, wie die Ausdehnung quantitativ gemessen werden kann (2). Meine Fragen halfen ihnen, über Aspekte, die aus Sicht der Physik wichtig sind, nachzudenken. Sie wurden auf diese Weise mit solchen Gesichtspunkten vertraut gemacht, die mit dem Ansatz des *cognitive apprenticeship* verträglich sind. Der zweite Teil der kleinen Episode zeigt ihre Versuche, die Ausdehnung bei Erwärmung zu messen. Alan schlug vor, den inneren Durchmesser des Glasrohrs zu bestimmen (7), während Rex einen Becher benutzen wollte (8). Die Mehrdeutigkeit seines Beitrags wurde schnell irrelevant, weil sich die Gruppe entschied, Alans Vorschlag einer Höhenmessung zu folgen (9). Am Ende dieser Diskussion entschieden sich die drei, die Ausdehnung bei Erwärmung von drei Flüssigkeiten zu messen. Sie dachten sich das folgende Gerät aus: Ein Reagenzglas, das mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt ist, wird mit einem Gummistopfen verschlossen, durch das ein dünnes Glasrohr gesteckt wird. Wird die Flüssigkeit im Reagenzglas erwärmt, weicht es ins dünne Rohr aus. In der anschließenden Unterrichtsstunde bauten sie dieses Gerät und führten ihre Messungen durch.

3.2 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse

Im vorangegangenen Abschnitt ist anhand eines Ausschnitts aus einem Labortagebuch und einer Unterrichtsepisode illustriert worden, wie Schüler sich in das offene Experimentieren hineinarbeiteten, wie der Lehrer in Übereinstimmung mit den Ideen des *cognitive apprenticeship* Hilfen leistete und wie Schüler erste Versuche unternahmen, eine Variable so zu operationalisieren, daß sie meßbar wurde. Die Gesamtheit der Ergebnisse ist komplex und kann hier nur sehr vergrößert zusammengefaßt werden (s. eine ausführliche Zusammenfassung in Roth, 1995). Die Ergebnisse zeigen, daß die Schüler sehr wohl in der Lage waren, offene Problemsituationen zu strukturieren, Experimente zu entwickeln, Versuchsergebnisse zu sammeln und daraus Lösungen durch Interpretation zu erhalten (Roth, 1992, 1993, 1994; Roth & Roychoudhury, 1993). Was für die Schüler ein relevantes Problem war, ergab sich aus den Interaktionen der Individuen und der Gruppen, aus der betreffenden Gesamtsituation und den Wertsystemen in der betreffenden Klassengemeinschaft. Die Interaktionen waren aber so komplex, daß es nicht möglich

war, vorauszusagen, was und wie eine bestimmte Gruppe von Individuen lernen würde.

Als überzeugendste Metapher für das Problemlösen unserer Schüler in den von ihnen gemeisterten offenen Situationen erwies sich die des „Basteln“ im Sinne von Levi-Strauss' (1966) Verständnis von *bricolage*.

Das Vorgehen eines *bricoleur* ist gekennzeichnet durch seine Situiertheit und seine indexikale Logik, sowie durch einen unausgesprochen wirkenden Optimismus. Wie Naturwissenschaftler und wie die meisten Menschen in Alltagssituationen, lernten unsere Schüler nicht dadurch, daß sie sich mit Lehrbuchproblemen mit vorbestimmter, gewissermaßen kanonischer Lösung beschäftigten, sondern dadurch, daß sie eine offene Problemsituation auf kreative Weise strukturierten. In diesen Prozessen lassen sich Mittel und dadurch Bewirktes nicht in der Weise separieren, wie es in quantitativ orientierten psychologischen Untersuchungen gefordert wird. Beide interagieren, bedingen sich in gewisser Weise wechselseitig. Die erreichten Lösungen entwickeln sich aus einem dialektischen Verhältnis zwischen dem Individuum, den sozialen Rahmenbedingungen und dem behandelten Problem. Wir denken, daß wir auf diese Weise dem oben genannten Bruch zwischen dem üblichen Problemlösen in Schulsituationen und in Alltagssituationen entgegengewirkt haben. Neues Wissen ergibt sich nicht als Wert an sich, sondern aus einer Interaktion mit und als Konsequenz eines realistischen und interessanten Problemlöseprozesses.

4. Folgerungen

Wir wollen hier kurz bewerten, (a) was die offenen Experimentierumgebung für die Schüler und die Lehrer bedeutet und (b) wie sich die ethnographische Forschungsmethoden bewährt hat. Diese Bewertung beruht auf allen Studien, die wir zum offenen Experimentieren durchgeführt haben, also nicht allein auf unseren Untersuchungen im Physikunterricht des 11. Schuljahres, die im vorliegenden Artikel im Mittelpunkt stehen, sondern auch auf unseren Studien im Kontext der Ökologie im achten Schuljahr, zu ingenieur-ähnlichem Design im vierten und fünften Schuljahr sowie zu einfachen Maschinen im sechsten und siebenten Schuljahr.

5.1 Offenes Experimentieren

Das offene Experimentieren brachte den Schülern eine Reihe sehr positiver Erfahrungen, die der normale lehrerzentrierte Unterricht nicht bieten kann. Hier lernten die Schüler, (a) Probleme zu finden und zu strukturieren, indem sie an nicht klar definierte und offene Probleme ihre eigenen Deutungen herantrugen; sie konstruierten (b) Lösungen, die unter den gegebenen Umständen am besten an ihre Fähigkeiten angepaßt waren; sie entwickelten (c) die Fähigkeit, Beschränkungen zu überwinden, die sich aus der Arbeit in der Gruppen- oder Klassengemeinschaft oder aus der Auseinandersetzung mit

dem Problem ergaben; sie wurden (d) von Aufgaben herausgefordert, die ein großes Maß an Motivation besaßen, zum Teil deshalb, weil sie sich diese Aufgaben selbst gestellt hatten; sie fanden (e) intellektuelle Unterstützung durch das gemeinschaftliche Problemlösen, eine Unterstützung, die sich nicht allein in den einzelnen Experimentiergruppen fand, sondern in der Klassengemeinschaft als Ganzes, und sie wurden ermutigt, (f) ihre Kompetenz hinsichtlich werkzeugbezogener und diskursiver Praxis und Aushandlung von gemeinschaftlicher Praxis zu verbessern. Die Rolle der Lehrer bei den genannten Untersuchungen war die von Experten, die sich bemühten, den Schülern zu helfen, mit der Unbestimmtheit und Struktur ihrer Lernumgebungen produktiv umzugehen. Die Metapher des *cognitive apprenticeship* ermöglichte es den Lehrern, ihre Rolle nicht als Übermittler von Information sondern als Experte zu sehen, der die Schüler mit Gebräuchen der Wissenschaftlergemeinschaft vertraut macht.

Eine Zusammenfassung unserer Ergebnisse in einem Satz würde wie folgt lauten: Offenes Experimentieren erlaubt es den Schülern, die Kompetenz und das Selbstvertrauen zu entwickeln, mit der (für außerschulische Aufgaben kennzeichnenden) Unbestimmtheit, die durch Offenheit verursacht wird, umzugehen und sie kreativ bei der Suche einer Lösung zu nutzen. Das Authentische liegt in diesem Kontext nicht in der Gleichheit der behandelten Probleme mit solchen im Alltag oder in der Wissenschaft sondern in Ähnlichkeiten, die durch Offenheit und Unbestimmtheit, soziale Beziehungen innerhalb einer „Kultur“, die Novizen und Experten einschließt, und der Erfahrung des Wissens als sozialer Konstruktion gekennzeichnet sind.

5.2 Die Ethnographische Untersuchungsmethode

In Lernsituationen, die durch offenes Experimentieren bestimmt sind (wie in Lernsituationen des Alltags), muß der Forschungsprozeß die offene Natur der Experimentiersituationen berücksichtigen. Man kann nicht davon ausgehen, daß das Verständnis des Forschers von der betreffenden Lernsituation und seine Art, diese Situation zu strukturieren, mit der Sichtweise der Heranwachsenden korrespondiert. Deshalb muß eine Forschungsmethode, die dem Ansatz des *situated cognition* verpflichtet ist, die Problemlösenden und ihre ideosynkratischen Sichtweisen berücksichtigen. Die ethnographischen Methoden, die hier Anwendung fanden, tun genau dies. Sie haben den Vorteil, daß sie uns erlauben, die Welt (hier die Arbeit im Laboratorium) mit den Augen der Schüler zu sehen. Aus den Gesprächen der Schüler miteinander und mit uns sowie aus ihren Aktionen in und an der jeweiligen Lernumgebung lernen wir, was sie als relevant ansehen und welche Aktionen mit den zur Verfügung stehenden Materialien und Geräten zu Fortschritten führen. Unsere ethnographische Methode erlaubt es uns zu berücksichtigen, daß Probleme nicht einen absoluten ontologischen Status haben, sondern interpretativ flexibel sind und auf den spezifischen Interaktionen der Individuen mit der physischen Welt und mit der sozialen Umgebung beruhen. Die ethnographische Methode gestattete es, sich auf die folgenden Aspekte zu konzentrie-

ren: (a) auf die Beiträge der Individuen zum gemeinschaftlichen Problemlöseprozeß (in kleinen Gruppen oder ganzen Klassen), (b) auf die Aushandlungen der Fruchtbarkeit einer Schlußfolgerung aus den experimentellen Daten durch die Schüler, auf (c) die Kreativität bei der Strukturierung der Lernumgebung und des damit verbundenen Untersuchungsproblems und (d) auf die wachsende Kompetenz der Schüler, Probleme zu strukturieren und Lösungen zu finden.

Literatur

- Brown, J.S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Burrell, G., & Morgan, G. (1985). *Sociological paradigms and organizational analysis: Elements of the sociology of corporate life*. Aldershot, England: Gower Publishing.
- Collins, H.M. (1982). Tacit knowledge and scientific networks. In B. Barnes & D. Edge (Eds.), *Science in context: Readings in the sociology of science* (pp. 44-64). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Gooding, D. (1992). Putting agency back into experiment. In A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (pp. 65-112). Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Knorr-Cetina, K.D. (1981). *The manufacture of knowledge: An essay on the constructivist and contextual nature of science*. Oxford: Pergamon Press.
- Harel, I. (1991). *Children designers: Interdisciplinary constructions for learning and knowing mathematics in a computer-rich school*. Norwood, NJ: Ablex.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice: Mind, mathematics and culture in everyday life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lave, J. (1993). The practice of learning. In S. Chaiklin & J. Lave (Eds.), *Understanding practice: Perspectives on activity and context* (pp. 3-32). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Levi-Strauss, C. (1966). *The savage mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Pickering, A. (1984). *Constructing quarks: A sociological history of particle physics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Pinch, T. (1986). *Confronting nature: The sociology of solar-neutrino detection*. Dordrecht: Reidel.
- Roth, W.-M. (1992). Bridging the gap between school and real life: Toward an integration of science, mathematics, and technology in the context of authentic practice. *School Science and Mathematics*, 92, 307-317.
- Roth, W.-M. (1993). Problem-centered learning or the integration of mathematics and science in a constructivist laboratory: A case study. *School Science and Mathematics*, 93, 113-122.
- Roth, W.-M. (1994). Experimenting in a constructivist high school physics laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 197-223.
- Roth, W.-M. (1995). *Authentic school science: Knowing and learning in open-inquiry laboratories*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishing.
- Roth, W.-M., & Bowen, G. M. (1995). Knowing and interacting: A study of culture, practices, and resources in a grade 8 open-inquiry science classroom guided by a cognitive apprenticeship metaphor. *Cognition & Instruction*, 13, 73-128.

- Roth, W.-M., & Roychoudhury, A. (1993). The development of science process skills in authentic contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 127-152.
- Suchman, L.A. (1987). *Plans and situated actions: The problem of human-machine communication*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Traweek, S. (1988). *Beamtimes and lifetimes: The world of high energy physicists*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ueno, N., & Arimoto, N. (1993). Learning physics by expanding the metacontext of phenomena. *The Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, 15, 53-63.
- Varela, F.J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Woolgar, S. (1990). Time and documents in researcher interaction: Some ways of making out what is happening in experimental science. In M. Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 123-152). Cambridge, MA: The MIT Press.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Wolff-Michael Roth, Faculty of Education Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada V5A 1S6.