

Roth, Michael

Unterricht über einfache Maschinen im 6. und 7. Schuljahr - geplant und analysiert aus einer sozial-konstruktivistischen Perspektive des Lernens

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 2 (1996) 1, S. 39-52



Quellenangabe/ Reference:

Roth, Michael: Unterricht über einfache Maschinen im 6. und 7. Schuljahr - geplant und analysiert aus einer sozial-konstruktivistischen Perspektive des Lernens - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 2 (1996) 1, S. 39-52 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-314699 - DOI: 10.25656/01:31469

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-314699>

<https://doi.org/10.25656/01:31469>

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

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

MICHAEL ROTH

Unterricht über einfache Maschinen im 6. und 7. Schuljahr - geplant und analysiert aus einer sozial-konstruktivistischen Perspektive des Lernens

Zusammenfassung:

In der hier vorgestellten Studie wird davon ausgegangen, daß Lernen als zunehmend „professionelle“ Teilnahme an bestimmten, in einer Gemeinschaft ausgehandelten Handlungsweisen gesehen werden kann. Aus dieser Perspektive heraus wurde ein Unterricht über einfache Maschinen geplant und erprobt. Die Organisation unterschiedlicher Tätigkeiten im Unterricht erlaubte es den Schülerinnen und Schülern, ihre eigenen Handlungsweisen beim Design, beim Aufbau, bei der Beschreibung und der Erklärung einfacher Maschinen zu entwickeln. Die Entwicklung dieser Handlungsweisen bei der Beschäftigung mit einem Teilbereich des Unterrichts über einfache Maschinen, nämlich über feste und lose Rolle, wird dokumentiert. Die Interpretationen basieren auf einer Vielzahl von Daten, auf Videomitschnitten des Unterrichts, auf ethnographischen Beobachtungen, auf von den Schülerinnen und Schülern selbst entworfenen und gebauten einfachen Maschinen und auf Interviews. Im Verlaufe des Unterrichts entwickeln die Schülerinnen und Schüler bereits vorhandene Handlungsweisen weiter und erwerben Schritt für Schritt neue Handlungsweisen. Es zeigt sich, daß sich im untersuchten Unterricht, der als „Diskursgemeinschaft“ organisiert war, ein Sprachhandeln ausbildete, das zunehmend geeigneter wurde, sich sachgerecht über einfache Maschinen zu verständigen.

Abstract:

Based on the conception that changing participation in social practices constitutes learning, a curriculum focusing on simple machines was designed and enacted. Various activity structures allowed students to develop practices for designing, building, describing, and explaining simple machines, here exemplified by pulleys. This study documents the evolution of practices associated with the pulleys in a grade 6/7 classroom with evidence from an extensive data base that includes video tapes, ethnographic observations, student-produced artifacts, and interviews. Students begin with their own previously developed practices and adopt and maintain new ones. This study shows that in a classroom conceptualized as a discourse community a discursive practice evolves that becomes more and more appropriate for conversation about simple machines.

1. Ein Gespräch zwischen zwei Schülern zur Einstimmung

Am Ende der Unterrichtseinheit über einfache Maschinen wurde den Schülern ein schriftlicher Test vorgelegt und sie wurden gebeten, sich zu zweit über ihre Lösungen zu unterhalten. Diese Gespräche wurden aufgezeichnet. Im folgenden Ausschnitt sprechen Kevin und Andre, zwei Schüler des 6. Schuljahres, darüber, ob man eine schiefe Ebene von 30 oder 45 cm Länge benutzen sollte, um ein Gewicht von 100 g auf eine Höhe von 15 cm zu heben.

Andre: Gut, laß es ungefähr dort, und es wird viel leichter sein, weil, du kannst es

sogar sehen, sogar zeigen, du kannst es einfach mit deiner Hand ziehen, du kannst sehen, daß dies viel leichter ist. (läuft die schiefe Ebene lang und somit bei einem schwächeren Anstieg)

Kevin: OK, du nimmst das und ziehst es rauf. Und wenn du es raufziehst, ist es nicht so schwer. Aber bei 45 hast du mehr Reibung, dadurch wird es zweifellos schwerer.

(Nimmt eine Rolle, befestigt sie am Gewicht, um es hochzuziehen, anstatt die schiefe Ebene zu verwenden)

Andre: Kannst du erklären, was Reibung ist?

Kevin: OK, Reibung ist wenn, das ist statisch. Oh, ich rede über die falsche Sache. (lange Pause) Was ist denn die Reibung hier? (nachdenkend)

Soll man nun eine lange schiefe Ebene mit einem kleinen Anstieg oder eine kurze mit einem starken Anstieg wählen, um ein Gewicht möglichst leicht auf eine bestimmte Höhe zu bringen? Man kann die Tatsache, daß Schüler nach einem etwa vier Monate langem Unterricht über einfache Maschinen überhaupt noch über diese Frage diskutieren müssen, als Anzeichen werten, daß zumindest einer von ihnen nicht das gelernt hat, was im Unterricht beabsichtigt wurde. Traditionelle Konzeptionen des Lernens gehen in einem solchen Fall davon aus, daß den Schülern Wissen und Fähigkeiten fehlen, die sie hätten erwerben sollen. Konstruktivistische Sichtweisen (Duit, 1995; von Glasersfeld, 1989), konzeptualisieren Lernen als Verbesserung bestimmter Prozesse und Strukturen im menschlichen Gehirn. Aus dieser Perspektive betrachtet, hat Andre keine angemessene Repräsentation der Gesetze an der schiefen Ebene gebildet. Kevin weicht auf eine einfache Maschine (auf eine Rolle anstelle der schiefen Ebene) aus, die in der Frage, über die er mit Andre Schüler diskutiert, gar nicht vorkommt.

Andre und Kevin wählen ein Lineal, einen Gegenstand und eine Rolle, um das schriftlich gestellte Problem zu lösen. Sie weiten die Diskussion von einem Problem „in der idealen Welt der geschriebenen Wörter“ zu einem Problem unter den Zwängen der realen Welt aus, indem sie die Reibung einbeziehen. Weiterhin benutzen sie eine Rolle, um zu einer optimalen Lösung eines möglichst leichten und damit reibungsfreien Transports des Gegenstandes auf eine bestimmte Höhe zu kommen. Mit anderen Worten, sie wenden eine Reihe von sprachlichen und praktischen Handlungsweisen an, die sich im Verlaufe des Unterrichts entwickelt haben, und machen intelligenten Gebrauch von den Ressourcen, die zur Verfügung stehen. Sie haben zwar

noch nicht die Kompetenz eines Physikers, ihres Physiklehrers oder einiger ihrer Klassenkameraden im in Rede stehenden Bereich erworben. Aber, und das ist entscheidend, sie handeln auf in der Klasse anerkannte sprachliche und praktische Weise, und ihr Vorgehen hat sich im Verlaufe des Unterrichts in die angestrebte Richtung verändert. Sie haben also zweifellos im Unterricht gelernt.

Lernen wird in der hier vorgelegten Studie als zunehmende, konstruktive Teilnahme an gemeinsamen Handlungsweisen („social practices“) gesehen. Im Falle von Andre und Kevin zeigt es sich, daß sie in ihrer Klasse ausgehandelte praktische und sprachliche Handlungsweisen benutzten, um eine Aufgabe zu einfachen Maschinen zu lösen. Im englischen Sprachraum ist für den Terminus „Handlungsweise,“ der hier verwendet wird, der Terminus „practices“ üblich. „Praktische Handlungsweisen“ werden dort als „tool-related practices“, „sprachliche Handlungsweisen“ als „discursive practices“ bezeichnet (McGinn, Roth, Boutonné, & Wosczyzna, 1995). Die von Aebli (1993) eingeführten Bezeichnungen „praktisches Handeln“ und „Sprachhandeln“ werden hier verwendet, weil sie im wesentlichen bedeutungsgleich mit den genannten englischen Termini sind.

2. Theoretische Basis

Eine Reihe von Forschern arbeitet an der Entwicklung einer theoretischen Perspektive, die Lernen als Veränderung der Teilnahme an den Aktivitäten von Wissensgemeinschaften („communities of practice“) konzipiert (Bourdieu, 1990; Ehn, 1992; Lave & Wenger, 1991; Rorty, 1989; Schön, 1987). Handlungstheorien im Sinne von Lave und Wenger unterstreichen, im Gegensatz zu Repräsentationstheorien von Wissen und Vorstellungen, die durch den gemeinsamen Gebrauch ausgehandelte Natur von Handlungsweisen. Handlungen werden dabei als strukturierte Tätigkeiten von Menschen verstanden, um Dinge des Lebens absichtsvoll und zielgeleitet zu erledigen. Handlungen sind „holistisch“ insofern, als die Trennung von sprachlichem und

praktischem Handeln in unabhängige Konstrukte nicht sinnvoll ist. Handlungen schließen Ressourcen, Werkzeuge, Materialien, Wörter, Informationen und dgl. ein, die notwendig sind, um in einem bestimmten Bereich sinnvoll agieren zu können.

Handlungen strukturieren und vermitteln Erfahrungen in und über die Welt. Handeln konstituiert Wissen und Lernen. Gleich zu handeln bedeutet in der Regel, ein Weltverständnis (oder, mit Wittgenstein, eine „Lebensform“) mit anderen zu teilen. Unter den Handlungen gibt es mathematische, naturwissenschaftliche und technische, derer sich Menschen bedienen, um ganz praktische Dinge zu tun: Kunden in einem Supermarkt versuchen, einen günstigen Kauf zu tätigen, Arbeiter in einer Meierei beschäftigen sich mit dem günstigsten Versand von Milchprodukten, Straßenkinder, die Süßigkeiten verkaufen, maximieren ihren Gewinn, Wissenschaftler konstruieren Tatsachenwissen über die Welt und Ingenieure entwickeln individualisierte öffentliche Transportsysteme.

Handlungen sind bestimmt von den materiellen, sozialen und technologischen Situationen, in denen sie auftreten. Ähnlichkeit in einem dieser situationalen Aspekte garantiert keine Ähnlichkeit in der gesamten Praxis. Physiker und Ingenieure benutzen zum Beispiel dieselben mathematischen Gleichungen; sie tun dies aber in signifikant unterschiedlicher Weise und für unterschiedliche Zwecke. Schreiner und Möbelbauer mögen den „gleichen“ Stechbeitel benutzen, aber auf eine Weise, die charakteristisch für ihre jeweilige Zunft ist.

Die „gleichen“ Wörter werden von den Mitgliedern verschiedener Gemeinschaften verwendet, sie können aber sehr Unterschiedliches bedeuten. Schließlich geben die „gleichen“ Baupläne Anlaß zu ganz unterschiedlichen Sprachhandlungen, je nachdem, ob sie von den Bauherren, von denen, die das Baumaterial bereitstellen, von den Arbeitern, die den Bau errichten oder von den Architekten herangezogen werden, die die Pläne entwickelt haben (Henderson, 1991). Ressourcen, wie Werkzeuge, Instrumente, hergestell-

te Produkte und Wörter tragen keine ihnen eigene Bedeutung, sondern erhalten diese durch ihre Funktion in alltäglichen „Handlungsgemeinschaften“. Ein Gegenstand hat keine Bedeutung an sich, sondern nur im Rahmen seines Gebrauchs. Seine Struktur ist eine Funktion der sozialen, materiellen und instrumentellen Bedingungen des betreffenden Kontexts.

Die vorstehend kurz skizzierte Art, Lernen als Veränderung der Teilnahme an gemeinsamen Handlungsweisen zu sehen, ist Teil einer theoretischen Perspektive, die sich in einer Reihe von Bereichen als fruchtbar erwiesen hat, um Wissens- und Expertiserwerb zu verstehen: beim Erwerb mathematischer Kompetenz in Arbeitssituationen (Lave, 1988), beim Design von Computer gesteuerten Arbeitsplätzen (Ehn & Kyng, 1991), beim Erlernen soziologischer Forschung (Bourdieu & Wacquant, 1992) und beim Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht (McGinn, Roth, Boutonné & Woszyna, 1995).

Im Rahmen der vorstehend skizzierten Position ist Lernen als zunehmende Teilnahme an und Weiterentwicklung von angemessenen und anerkannten Handlungsweisen zu sehen. Auf der Basis dieser Position wurde eine Unterrichtseinheit über einfache Maschinen entwickelt.

Das Ziel war dabei, den Schülerinnen und Schülern zu ermöglichen, ihr Sprachhandeln im Kontext der damit verbundenen praktischen Handlungen zu entwickeln.

Es wurde dabei davon ausgegangen, daß jede neue Handlungsweise an vorunterrichtlichen Handlungsweisen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen muß.

Durch die Wahl von geeigneten gegenständlichen Modellen (und sie illustrierende Skizzen und Zeichnungen) auf der einen Seite und von Werkzeugen auf der anderen Seite ist die Bühne für die interaktive Erzeugung, Wahrung von erreichten und ständige Weiterentwicklung gemeinsamer Handlungsweisen bereitet, die es den Schülerinnen und Schülern erlauben, anhand der Modelle, Skizzen und Zeichnungen mit den Phänomenen sinnvoll umzugehen.

3. Forschungsdesign

An der Untersuchung nahm eine Klasse einer öffentlichen Schule in einer westkanadischen Großstadt teil. Die Klasse setzte sich aus Schülerinnen und Schülern des 6. und 7. Schuljahres (5 Jungen und 5 Mädchen des 6. Schuljahres; 7 Jungen und 9 Mädchen des 7. Schuljahres) zusammen. In dieser kanadischen Provinz ist eine solche Mischung von Schuljahren in dieser Altersstufe üblich. Sechs Schüler hatten erhebliche Schwierigkeiten in Kursen, die in traditioneller, lehrerzentrierter Weise gehalten wurden, weil sie Lernschwächen hatten (4) oder weil sie Englisch nur als zweite Sprache verwendeten (2). Drei weitere Schüler hatten Lernschwierigkeiten, weil sie gravierende Probleme im Umgang mit ihren Mitschülern hatten. Die gesamte Unterrichtseinheit über einfache Maschinen dauerte rund 4 Monate und bestand aus 36 Unterrichtsstunden, die in der Regel 70 Minuten dauerten. Sie schloß ungefähr die gleichen Inhalte ein, wie in deutschen Schulen in dieser Altersstufe. Der Unterricht wurde von mir gehalten. Der Klassenlehrer, der in dieser Altersstufe normalerweise den gesamten Unterricht hält, war während der gesamten Zeit anwesend und stand den Schülern mit Rat zur Verfügung.

3.1 Die Unterrichtseinheit über einfache Maschinen

Die Unterrichtseinheit wurde nach den Gesichtspunkten der zunehmenden Teilnahme an gemeinsamen sprachlichen und praktischen Handlungsweisen geplant und durchgeführt. Es ging dabei insbesondere darum, die Handlungen zu unterstützen, die eine gewisse Verwandtschaft zu solchen zeigen, die in wissenschaftlich und technisch gebildeten Gemeinschaften bei ähnlichen Themenbereichen existieren (Wittgenstein nannte dies „Familienähnlichkeiten“). Jede fundierte neue Handlungsweise im Bereich der einfachen Maschinen muß an bereits bekannte Handlungsweisen in diesem Bereich anknüpfen. Die Auswahl von geeigneten Versuchsaufbau-

ten, Modellen, grafischen Darstellungen, Werkzeugen und Materialien stellt die Grundlage für die Erzeugung und Entwicklung einer angemessenen Klassengemeinschaft gemeinsamer Handlungsweisen dar.

Der Unterricht war durch folgenden Ablauf von Aktivitäten bestimmt: Zunächst hatten die Schüler etwa drei Unterrichtsstunden Zeit, um selbst eine Maschine zu entwerfen und zu bauen. Die nachfolgenden drei oder vier Unterrichtsstunden gliederten sich jeweils in zwei Teile. Im ersten Teil der Stunde gab es vom Lehrer geleitete Diskussionen im gesamten Klassenverband oder kleine Gruppen von Schülern führten vom Lehrer vorgegebene Untersuchungen durch. Im zweiten Teil dieser Stunden stellten die Schüler ihre selbstentwickelten Maschinen der Klasse vor und leiteten die anschließenden Diskussionen.

3.2 Aktivitäten

Es gab vier Arten von Aktivitäten, die sich in zwei Dimensionen unterschieden: (a) Aktivitäten im Zusammenhang mit vom Lehrer bzw. von Schülern entworfenen und gebauten Maschinen und Modellen sowie (b) Aktivitäten in kleinen Gruppen bzw. im Klassenverband.

(1) Gespräche und Diskussionen über vom Lehrer in den Unterricht eingebrachte einfache Maschinen und über Skizzen und Zeichnungen, die Aspekte der Maschinen erläuterten, nahmen etwa 25% der Unterrichtszeit ein. Der Aufbau der Maschinen (Rollen, Flaschenzüge, Waagebalken, verschiedene andere Hebel, schiefe Ebene) und Skizzen (auch zu Begriffen wie Arbeit, Energie, mechanischer Wirkungsgrad) wurden auf Overheadtransparenten gezeigt. Das Ziel dieser Aktivitäten war es, die Schülerinnen und Schüler in die physikalische Fachsprache über einfache Maschinen einzuführen. Einige Diskussionen folgten den Untersuchungen der Schüler an Versuchsaufbauten, während andere aus Zeitmangel lediglich an Demonstrationsexperimenten anknüpfen.

(2) Die Schülerinnen und Schüler führten die Maschinen, die sie selbst entworfen und gebaut hatten, der gesamten Klasse vor und gaben damit ihren Klassenkameraden Gelegenheit, Fragen zu stellen, Kommentare zu geben oder Kritik zu üben.

Die Aktivitäten beanspruchten etwa 30% der Unterrichtszeit. Während dieser Aktivitäten habe ich als Lehrer nur interveniert, um ins Stocken geratene Gespräche wieder in Gang zu setzen und bei Konflikten oder anderen Kommunikationsstörungen helfend einzugreifen.

Die Schüler waren gefordert, ihre eigene Erklärungen zu entwickeln und zu verteidigen. Auf diese Weise bauten sie neue Kompetenz im Argumentieren über einfache Maschinen auf und entwickelten bestehende weiter. Es wurde davon ausgegangen, daß die Schüler sich stärker bei diesen Aktivitäten engagieren, wenn Fragen und Kritik von ihren Klassenkameraden kommen, weil diese die gleiche Sprache sprechen. Auf diese Weise wird es nämlich den Schülern möglich, größere Verantwortung für das Gelingen der Diskussionsrunde und damit der Unterrichtsaktivität zu übernehmen.

(3) Die dritte Art von Aktivitäten bestand aus Untersuchungen und Überlegungen zu einfachen Maschinen (z.B. gleicharmige und ungleicharmige Hebel) in kleinen Gruppen. Für diese Aktivitäten, sie nahmen etwa 15% der Unterrichtszeit ein, erhielten die Schüler schriftliche Anleitungen. Hier sammelten sie Erfahrungen, wie mit einfachen Maschinen umzugehen ist und wie man sie untersucht. Die so gewonnene Vertrautheit mündete in erste Erklärungsversuche der Funktion der Maschinen.

Da jede Gruppe sich auf einen Erklärungsversuch einigen sollte, mußten auftretende Meinungsverschiedenheiten ausgehandelt werden. Auf diese Weise erhielten die Schüler weitere Gelegenheit, diskursives Handeln zu üben. Nachdem sie diese Aktivitäten beendet hatten, dienten die benutzten Diagramme und Modelle als Bezugspunkte für die lehrer-zentrierten Diskussionen im Klassenverband.

(4) Während dieser vierten Art von Aktivitäten befaßten sich jeweils drei bis vier Schüler mit dem „Design“ von Maschinen, die einer Reihe von Kennzeichen und Bedingungen genügen sollten, die vom Lehrer bzw. der Klassengemeinschaft vorgegeben wurden. Hierfür stand etwa 30% der Unterrichtszeit zur Verfügung. Das Wort „Design“ schließt alle Aktivitäten ein, die mit dem Entwerfen und Konstruieren der Maschinen zusammenhängen, sowie Diskussionen über unterschiedliche Ideen, das Anfertigen von Bauzeichnungen und dgl. (s. zum Terminus „design“ Roth, im Druck-a).

Insgesamt entwarfen die Schüler vier handbetriebene Maschinen. Die ersten beiden waren zum Anheben und zum Transport schwerer Lasten über lange Wege vorgesehen. Bei der dritten Maschine sollten die Schüler einen Wagen entwerfen und bauen, der durch Umwandlung potentieller Energie in eine andere Energieform angetrieben wird (gespannte Federn und Gummibänder waren bevorzugte Lösungen). Bei der vierten Maschine sollten die Schüler mindestens vier Prozesse miteinander kombinieren, von denen zwei auf dem gründen sollten, was sie über einfache Maschinen gelernt hatten.

Die offene Form dieser Designaufgaben bot den Schülern die Gelegenheit, mit Schwierigkeiten beim Verfolgen ihrer Ziele fertig zu werden und Lösungen zu finden, um die wichtigsten Aktivitäten erfolgreich fortzusetzen. Eine Studie zum Design von einfachen Brücken hat gezeigt, daß sich Schüler beim Verfolgen ihrer Ziele bemühen, bereits vorhandene und geeignete praktische und sprachliche Handlungen weiterzuentwickeln bzw. neu zu entwickeln (Roth, 1995).

3.3 Forschungsdaten und Interpretationsmethoden

Alle Unterrichtsstunden wurden von einer Forschungsassistentin mit zwei Videokameras aufgezeichnet. Fand der Unterricht im Klassenverband statt, so wurde die gesamte Klasse von zwei unterschiedlichen Positionen aus aufgenommen, um die sprachlichen und

nicht-sprachlichen Äußerungen der Unterrichtsteilnehmer möglichst genau zu erfassen. Zwei Kassettenrecorder wurden zusätzlich benutzt, um (a) tatsächlich alle Schüleräußerungen und (b) alle sprachlichen Schüler-Lehrer-Interaktionen zu erfassen (weiterhin dienten sie zum Aufzeichnen von Interviews). Zwei Studentinnen notierten während des Unterrichts unabhängig voneinander alles, was ihnen wichtig erschien. Diese ethnographischen Beobachtungen, Fotografien der von den Schülern entworfenen und gebauten Maschinen, die von den Schülern geführten Hefte, Ergebnisse schriftlicher Tests, Interviews mit den Schülern, die Skizze des Unterrichtsverlaufs, die eingesetzten Unterrichtsmaterialien und meine laufenden Reflektionen über die Studie und zum Ablauf des Unterrichts stellten zusätzliche Datenquellen bereit.

Diese Daten wurden auf der Basis der Interaktionsanalyse (interaction analysis; Jordan & Henderson, 1995; Suchman & Trigg, 1991) interpretiert, die sich insbesondere zur Beschreibung und theoretischen Erfassung des praktischen und sprachlichen Handelns in einer großen Anzahl von Untersuchungen als geeignet erwiesen hat. Die Videoaufzeichnungen wurden zunächst durchgesehen und immer dort gestoppt und eventuell zurückgespult, wo etwas als wichtig auffiel. Nebenbei erlaubte dieses mehrfache Abspielen der Videoaufzeichnungen, die Genauigkeit des Transkripts zu prüfen und wo nötig zu korrigieren. Wenn ein Ereignis signifikant erschien, wurde die gesamte Datenbasis daraufhin durchgesehen, ob dieses durch andere Daten gestützt wird oder nicht. Während dieser Analysesitzungen habe ich permanent Notizen analytischer und theoretischer Art gemacht, die ein Nachprüfen der Interpretationen erlauben. Dadurch ist eine Kontrolle der Verlässlichkeit möglich, die wiederum die Glaubwürdigkeit der Interpretationen bestimmt. Im Ansatz interpretativer Forschung von Guba und Lincoln (1989) wird *credibility* als methodologisches Analog zur *validity* in quantitativen Designs angesehen. Auf die skizzierte Weise ist es Schritt für Schritt

gelingen, die Entwicklung im Klassenverband anerkannter praktischer und sprachlicher Handlungen zu rekonstruieren.

4. Ergebnisse

Im Verlaufe der Unterrichtseinheit gab es 13 Aktivitäten im Zusammenhang mit Versuchen zur festen und losen Rolle. Dazu zählten Diskussionen im Klassenverband, Aktivitäten in kleinen Gruppen während der die Schüler die Ergebnisse der Klassendiskussionen zusammenfassen konnten, Aktivitäten in kleinen Gruppen, in denen die Schüler Rollen für den Bau eigener Maschinen benutzten und schriftliche sowie mündliche Antworten zu einer Reihe von Fragen am Beginn und am Ende der Unterrichtseinheit. Es sei angemerkt, daß die hier am Anfang und am Ende eingesetzten Untersuchungsmethoden zu Vor- und Nachtests in traditionellen Designs äquivalent sind.

Im hier zugrundeliegenden theoretischen Rahmen, werden diese Testsituationen als neue Kontexte gesehen, die zu eigenen situationsbestimmten Handlungen führen können. Für die Zwecke der hier vorgelegten Analyse, spielen diese „Testsituationen“ die gleiche Rolle wie alle anderen „Testsituationen“ während des Unterrichts (vgl. dazu Welzel, 1995).

4.1 Gespräche über Rollen am Beginn des Unterrichts

Vor Beginn des Unterrichts wurden den Schülern zwei Zeichnungen vorgelegt (s. u.), die das Bemühen eines Mannes illustrierten, den Motor aus seinem Auto zu heben.

In der ersten Zeichnung war eine Rolle so angebracht, wie es links zu sehen, in der zweiten Zeichnung, wie es rechts dargestellt ist.

Die Schüler wurden zunächst gebeten, aufzuschreiben, auf welche der beiden gezeichneten Weisen sie den Motor aus dem Auto heben würden und ihre Antwort zu begründen. Später wurden sie zu ihrer Antwort interviewt. Es zeigte sich, daß kein Schüler die Antwort (b)

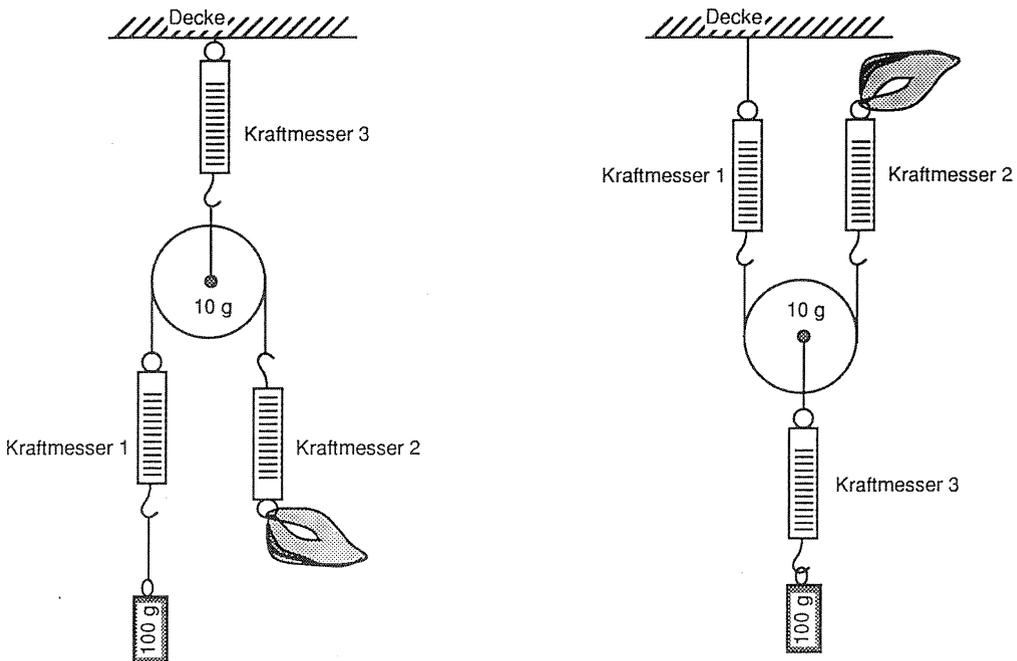


Bild 1

wählte. Allerdings war den meisten Schülern klar, daß die Rolle in der linken Zeichnung das Gewicht nicht ändert. Eine Reihe von Erklärungen und Begründungen drückten aus, daß „Maschinen Dinge leichter machen“ und daß „es leichter ist, nach unten als nach oben zu ziehen“.

Die folgende Antwort illustriert dies:

„Mit einer Rolle ist es viel leichter, es würde immer noch 100 Pounds sein, aber man würde weniger Kraft brauchen, würde leichter zu benutzen sein. Es ist schlicht einfacher etwas herunterzuziehen als hochzuziehen.

Man müßte sich vornüberbeugen und bücken, um es hoch zu ziehen. Aber es wäre so viel einfacher, es einfach herunter zu ziehen.

Und, wenn man es nach oben ziehen möchte, braucht man sicher noch eine weitere Person, um das machen zu können“ (Julia, 6. Schuljahr).

Ähnliche Argumentationen fanden sich bei vielen Schülern. Sie bildeten den Ausgangspunkt der Unterrichtseinheit und die Basis auf welcher die Lernenden neue, der Physik adäquateren Sprachhandlungen entwickelten.

4.2 Rollen als Objekte, zum Etablieren einer gemeinsamen Sprache

Um ein Sprache zu etablieren, die allen im Klassenraum Anwesenden (also den Schülern, dem Lehrer und den anderen Erwachsenen) eine Teilnahme am gemeinsamen Gespräch ermöglicht, wurden die beiden in Abbildung 1 gezeigten Arten, eine Rolle zu nutzen, anhand von Versuchsaufbauten und illustrierenden Abbildungen demonstriert. Den Schülern wurden zunächst diese beiden Versuchsaufbauten gezeigt. Dabei wurde jeweils die Zeichnung des Aufbaus mit Hilfe des Overheadprojektors projiziert. Mit einem Kraftmesser (er hatte nur eine Grammskala) wurde das Gewicht des zu hebenden Gegenstands zu 200 g bestimmt. Um die Schüler nicht zu verwirren, wurde mit dieser Einheit für das Gewicht gearbeitet. Die Schüler wurden gebeten, die Anzeige auf der Skala des Kraftmessers vorausszusagen, wenn die feste Rolle zum Heben benutzt wird. Die Voraussagen wurden auf einer Overheadfolie notiert. Schüler führten dann die Messungen durch und die tatsächlichen Meßwerte wurden eben-

falls auf der Folie notiert. Das gleiche wurde bei der losen Rolle getan.

Im Verlaufe dieser vom Lehrer geleiteten Diskussion entwickelte die Klasse eine Theorie, die Kräfte in beiden Versuchen in Betracht zieht. Obwohl die Kraftvektoren nicht als Pfeile gezeichnet wurden, sprachen die Schüler über ihre Richtung und ihren Betrag. Gefragt, warum die Skala des Kraftmessers, an dem die feste Rolle hängt, 415 g anzeigt, wo doch das Gewicht allein nur 200 g beträgt, vermutete Dave: „Es verdoppelt das Gewicht, weil, wie man hier (am Kraftmesser) herunterzieht, das Gewicht zieht ebenfalls herunter und dann ist da noch die Rolle, die ebenfalls etwas wiegt“. Kevin fügte hinzu, daß das gesamte Gewicht vom Seil über der Rolle hochgehalten werden muß. In der gleichen Weise fand sich in den Erklärungen einiger anderer Schüler die Idee, daß das Gewicht, das an der frei beweglichen Rolle hängt, zu gleichen Teilen von der Decke und der Hand, die den Kraftmesser hält, gehalten wird.

Die Tatsache, daß es den Schülern gelang, in der Gruppe eine taugliche Erklärung zu konstruieren, bedeutete nicht, daß sie als Einzelne in der Lage waren, diese Erklärung zu rekonstruieren. Nicht jeder war z.B. davon überzeugt, daß eine lose Rolle tatsächlich zu einem Vorteil (d.h. zur „Kraftersparnis“) führt. Eine Reihe von Schülern stimmte mit Julia überein: „Gut, man mag in der Lage sein, 110 leichter zu ziehen, aber 215, das wird einfach ungefähr das gleiche Gewicht sein, weil das eine schwerer, das andere leichter für den Körper ist.“ Auf der Basis des Arguments „Herunterziehen ist leichter als Heraufziehen“ schlugen diese Schüler vor, eine feste Rolle zu verwenden, auch wenn man zum Hochziehen die doppelte Kraft benötigt.

4.3 Handlungsentwicklung durch Entwerfen und Bauen von einfachen Maschinen

Bakhtin (1981) hat vorgeschlagen, Individuen erst dann als vollgültige Mitglieder einer Dis-

kursgemeinschaft anzuerkennen, wenn sie in der Lage sind, diesen Diskurs für ihre eigenen Zwecke einzusetzen und ihm eigene Akzente zu verleihen. Bakhtins Vorschlag wurde in dieser Studie auf alle Handlungen erweitert. Im folgenden wird gezeigt, wie sich Handlungsweisen beim Entwerfen (Design) von einfachen Maschinen, und bei der Präsentation der Entwürfe vor der Klassengemeinschaft entwickelten.

Die Schüler begannen, eigene Maschinen zu entwerfen und zu bauen, die in der Lage sein sollten, ein schweres Gewicht zu heben. Sie waren der Auffassung, daß der Gebrauch von Rollen die Arbeit leichter machen würde. Alain baute zum Beispiel einen Apparat, der als wesentliches Element eine feste Rolle enthielt. Shaun verwendete zwei feste Rollen, wickelte das Seil mehrfach um diese Rollen herum und rechtfertigte seinen Entwurf so: „... und diese Rollen nehmen das meiste Gewicht weg. Es kommt darauf an, wie man es macht, man kann das Seil, so oft man will, um die Rolle wickeln. Je häufiger man es herumwickelt, desto leichter wird es.“ Ich beschloß, an dieser Stelle nicht zu intervenieren, sondern auf eine Gelegenheit zu warten, den Begriff „mechanischer Vorteil“ (mechanical advantage) als diskursives Werkzeug einzuführen, das die Schüler benutzen konnten, um ihre eigenen Entwürfe zu analysieren und zu kritisieren.

Bevor die erste Gruppe ihren Entwurf der Klassengemeinschaft vorstellte, wurden die Schüler(innen) gefragt, wie sie denn messen wollten, ob ihre Maschine das Heben von Dingen einfacher macht. Ein Schüler schlug vor, die Anstrengung zu vergleichen, das Gewicht mit und ohne Maschine zu heben. An dieser Stelle nun habe ich die Idee des „mechanischen Vorteils“ (mit dem Gegenpol Nachteil) eingeführt und die folgende Definition vorgeschlagen: $MV = \text{Last/Kraftaufwand}$ (load/effort). Alain und Ellices Entwurf war der erste, der mit dieser Definition untersucht wurde. Es ergab sich ein Kraftaufwand von 100 g für eine Last von 75 g. Ich erläuterte das Ergebnis: „Alain hat uns eine Maschine vorgeführt, die 75 g als Last hat; und dann

tionen oder sie wurden von mir nach Vorschlägen der Schüler gezeichnet. Bei jeder Kombination wurde untersucht, ob sie mir oder der Klasse einen Vorteil gab. Bei einer Kombination versuchte Shaun seine Mitschüler und besonders mich (MR) davon zu überzeugen, daß seine Kombination einen Nachteil für die Klasse bringt. Er benutzte bei seiner Argumentation eine Skizze wie Zeichnung (a) in Bild 1 (s. Bild 2). Die Zahlen in eckigen Klammern in Bild 2 weisen darauf hin, was Shaun beim Argumentieren jeweils tut.

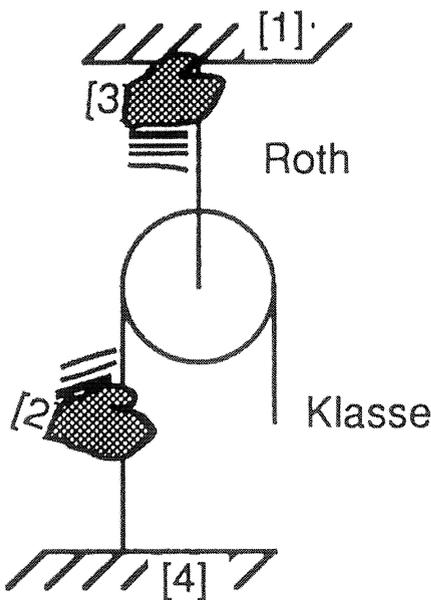


Bild 2

- Shaun: Geländer (zeichnet [1])
 MR: OK
 Shaun: Langes Seil (Handbewegung am Seil [2])
 MR: OK, Rolle
 Shaun: Roth (schreibt „Roth“), zieht hier (Handbewegung am Seil [3])
 MR: OK
 Shaun: Dann ist da die Rolle.
 MR: Und wo ziehst Du dann?
 Shaun: Und dann ist da ein anderes Geländer hier (zeichnet [4]), und wenn wir hier ziehen (schreibt „Klasse“)

- Andere: Ah, klar (mehrere Schüler applaudieren)
 MR: OK, vielen Dank, bitte setz Dich.
 Alain: Aber dann hat Herr Doktor Roth nichts mehr, an dem er ziehen könnte (Lehrer applaudiert Alain)

Auch hier war das Reden über Zeichnungen und das Argumentieren mit ihrer Hilfe ein wichtiger Aspekt, einen Diskurs über die Funktion der Rollen in Gang zu setzen. Die Zeichnungen hatten eine ganz ähnliche Funktion wie in wissenschaftlichen Diskussionen und Debatten (Roth, im Druck-b). Der Zugang zur Wandtafel ermöglichte den Schülern die für Wissenschaftler typische multimodale Argumentationsweise, also das Denken mit den Händen, den Augen und mit Symbolen, das in dieser Klasse den Diskurs einleitete. Skizzen und Zeichnungen wurden gebraucht, um solche zentralen Aspekte hervorzuheben, die in den vorliegenden realen Modellen (hier Kombinationen von Rollen) nicht klar zu erkennen waren.

4.5 Handlungen im Umgang mit Rollen am Ende der Unterrichtseinheit

Im Verlaufe der Unterrichtseinheit veränderte sich die Art, wie die Schüler über die Funktion von festen und losen Rollen redeten und wie sie diesbezügliche Fragen des Lehrers beantworteten, erheblich. Am Ende des Kurses legten wir den Schülern ihnen bislang unbekannte Zeichnungen zu Kombinationen von Rollen vor und baten um schriftliche Erklärung der Funktion der Rollen und Vorhersage der Kräfte an allen wichtigen Teilen des jeweiligen Aufbaus. Zwölf Schüler waren in der Lage, die Größe aller Kräfte in einem Aufbau mit einer festen Rolle vorherzusagen. 11 Schüler erinnerten sich an die Symmetrie der Kraftpaare, sagten aber die Größe der Kräfte falsch voraus. Die verbleibenden zwei Schüler identifizierten Kräfte, um durch Reibung verursachte Meßunterschiede zu berücksichtigen. Wie bereits erwähnt, wurden je zwei Schüler aufgefordert, über ihre schriftlich niedergelegten Antworten zu diskutieren. Wir baten sie die Funktion der Rollen zu

erklären. Während der Gespräche zeigten viele Schüler eine erstaunliche Professionalität in der sich auf einfache Maschinen beziehenden Sprache.

Alain: Dies hier (die Decke) nimmt die Hälfte und dies (die Hand) nimmt ebenfalls die Hälfte, so habe ich 55 g erhalten, ich hab das nicht mit dem Kraftmesser gemessen, ich habe den einfach vergessen, ich habe 10 g für die Rollen und 100 g für das Gewicht, so habe ich, 100 und 10 und wie es zwei Kraftmesser gibt, so habe ich durch 2 dividiert und habe 55 erhalten.

Shaun: Und ich habe 120 erhalten, ich hab die alle einfach addiert, weil es das Gleiche ergeben würde, er (der Interviewer) fragt nicht, was die beiden zur gleichen Zeit halten. Rolle.

Er hat nichts gesagt wie, wenn man sie beide zusammen herunter zieht, zu was sie beide kommen würden, wenn man einen von ihnen ziehen würde und den anderen einfach halten würde wie dies, daß das dann wäre, was der Kraftmesser zeigen würde.

Alain: OK, was ich zu sagen habe ist, sieh Dir an, wie sie an der Decke befestigt sind.

Shaun: Die Decke trägt die Hälfte des Gewichts.

Alain: Genau, und das zeigt sich am Kraftmesser 1, so bekommt Kraftmesser 1 die Hälfte davon und dies bekommt die Hälfte vom Gewicht. Ich verstehe, was Du sagst, aber ich dachte, daß, wenn dies nicht an der Decke befestigt ist, dann stimme ich mit Dir überein, daß es 100 wäre und was Du sonst gesagt hast.

Shauns schriftliche Antwort war aus der Sicht der Physik nicht korrekt, aber es zeigte sich, daß er durchaus in sinnvoller und sensibler Weise an einer Diskussion über Kräfte an Rollen teilnehmen konnte. Er beschrieb ganz richtig, daß die Aufhängung (an der Decke) die Hälfte des Gewichts trägt. Alain zeigte dann, wie er Shauns Statement als Ressource für sein Argument nutzen konnte, daß jedes

der tragenden Seile in der Kombination von Rollen die Hälfte des Gewichts tragen sollte. Nach einem kurzen Gedankenaustausch machte sich Shaun Alains Sprachspiel zu eigen und nutzte es, um zu erklären, wie man Rollen verwendet.

Als Teil unserer abschließenden Befragungen gaben wir jeder Schülergruppe offene Probleme vor, die ihnen Gelegenheiten boten, ihr praktisches und damit assoziiertes sprachliches Handeln zu zeigen. Den Schülern wurde ein Gewicht, ein Seil und eine Rolle gegeben. Sie sollten herausfinden, wie man mit diesen Dingen eine einfache Maschine bauen kann, die das Gewicht mit minimalem Kraftaufwand heben kann. Acht Gruppen schlugen Konfigurationen mit einer losen Rolle vor, bei der das eine Ende des Seils an einem Aufhängepunkt befestigt ist und das andere Ende von der Person gehalten wird, die das Gewicht anheben will. Sechs Gruppen entwarfen Konfigurationen mit Rollen, die fest an einem Aufhängepunkt (z.B. der Decke) befestigt sind. Die Schüler in diesen Gruppen argumentierten, daß im Falle der losen Rolle die ziehende Person über der Rolle, zum Beispiel auf einem Dach, stehen müsse. Sie machten geltend, daß es einfacher ist, nach unten zu ziehen (und dabei das gesamte Gewicht der ziehenden Person zu nutzen), als nach oben, obwohl der Kraftaufwand beim Ziehen nach unten doppelt so groß ist, wie beim Ziehen nach oben.

4.6 Klassengemeinschaftsspezifische Elemente des Diskurses

In unseren Daten zeigte es sich, daß sich Diskurselemente entwickelten, die für die betreffende Klasse spezifisch und aus der Sicht des Lehrers keineswegs immer wünschenswert waren. Während der einführenden Unterrichtsstunde führte ich beispielsweise die Buchstaben „A“ und „B“ ein, um die Zeichnungen zweier Rollenordnungen zu unterscheiden (Bild 1). Die Schüler verwendeten später die Bezeichnungen „A-Rolle“ und „B-Rolle“ als bequeme Konvention. In einer Reihe von Situationen benutzten sie diese

Bezeichnungen, um zu kennzeichnen, ob ihre Rollenordnung den Kraftaufwand verringerte oder nicht. In diesen Fällen, waren die Schülerantworten stärker durch die schlichte Anwendung dieser Bezeichnungen als durch Beschreibungen der Anordnungen selbst bestimmt. „A-Rolle“ und „B-Rolle“ wurden zu Ressourcen ihrer Handlungen beim Beschreiben und Entwerfen von einfachen Maschinen. Probleme ergaben sich dann, wenn diese Bezeichnungen in dafür nicht geeigneten Situationen verwendet wurden.

5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, wie Beiträge der Schülerinnen und Schüler helfen, eine Gemeinschaft zu bilden, in der sich ein - aus der Sicht der Physik - angemessenes Sprachhandeln über einfache Maschinen entwickelte, das von der Mehrheit der Mitglieder geteilt wurde. Durch fortwährendes Sprachhandeln in Diskussionen über von Schülern entworfene und gebaute oder vom Lehrer in die Diskussion gebrachte einfache Maschinen, machten sich die Schüler diese Sprache zu eigen. Die Klassengemeinschaft hatte also die Gelegenheit, etwas zu entwickeln, das Winograd und Flores (1987, 158) als „special network of recurrent conversation“ bezeichnet haben. In einer Reihe von unterschiedlichen Aktivitäten - in kleinen Gruppen und Diskussionen im Klassenverband sowie in Designaktivitäten und in strukturierten Untersuchungen - wurde der Begriff mechanischer Vorteil (mechanical advantage) zu einem zentralen Aspekt der Sprache über einfache Maschinen. Die Analyse der Daten ergab einerseits, daß ein und derselbe Schüler sehr unterschiedliche Kompetenzen zeigte, abhängig von der Situation, die wir zur Untersuchung des Verständnisses benutzten. Andererseits ergaben sich auch Unterschiede, die auf die Variation der durchschnittlichen Kompetenz bei unterschiedlichen Aufgaben zurückzuführen waren. Wie sich auch in anderen Untersuchungen gezeigt hat, waren die Aushandlungs- und Entwicklungsprozesse zu gemeinsamen Handlungsweisen sehr komplex

(McGinn, Roth, Boutonné & Woszyna, 1995). Wenn Schüler zum Beispiel mit ihren Mitschülern oder dem Lehrer interagierten, richteten sie kontinuierlich ihre Aktivitäten, Problemrahmungen, Aufgabenbedingungen, bevorzugten Materialien, Erklärungen und Geschichten auf die sich entwickelnden Handlungsweisen aus. Lernen von Mitschülern ergab sich vorwiegend dann, wenn die Schüler in kleinen Gruppen eng zusammenarbeiteten. Aushandlung der Sprache gab es auch in Aktivitäten im Klassenverband. Die Aneignung von Sprachhandlungen kann als Weg von legitimer peripherer Teilnahme („legitimate peripheral participation“, Lave & Wenger, 1991) zur vollen Partizipation beschrieben werden. Schon weiter fortgeschrittene Mitschüler und der Lehrer spielten die Rollen der „Experten“ und ebneten den anderen den Weg zur Mitgliedschaft in die zunächst noch kleinen Zirkel der „Experten“. In diesen Prozessen lernten die „Neulinge“ von den weiter fortgeschrittenen Mitschülern und vom Lehrer durch die Teilnahme an „authentischen Aufgaben“, d.h. an solchen Aktivitäten, die Schüler zu ihren eigenen machten, in denen sie eigenen Vorstellungen und Zielen nachgehen konnten.

Der Weg auf dem die Neulinge Experten wurden, umfaßte Änderungen der Handlungsweisen von Individuen und damit verbunden die Entwicklung der Handlungen, die der gesamten Gemeinschaft zur Verfügung standen.

6. Folgerungen

Physik so zu unterrichten, daß Schülerinnen und Schüler sprachliche und praktische Handlungsweisen bilden und weiterentwickeln können, ist eine große Herausforderung. Lehrer müssen dabei „Spielgestalter“ (Ehn & Kyng, 1991) sein, um die Bühne für die Teilnahme an neuen Handlungen zu bereiten. Dabei müssen sie gemeinsam mit ihren Schülern, Wege finden und unterstützen, die zu allen Beteiligten zugänglichen Handlungen führen. Lernen als zunehmende Teilnahme in einer Handlungsgemeinschaft

wird gestört, wenn Geräte und Instruktionen benutzt werden, die das Handeln der Neulinge vom Handeln der Experten isolieren. In solchen Fällen bilden sich „Subkulturen“ („interstitial communities“; Brown & Duguid, 1992, 169) wie zum Beispiel die isolierten und unerwünschten Handlungsweisen in traditionellen Schulklassen, die sich in ethnographischen Forschungen gezeigt haben. Die hier vorgestellte Untersuchung führt zur Folgerung und Forderung, daß Curriculumentwickler und Lehrer Lehr- und Lernmaterialien und -aktivitäten entwerfen müssen, die die Teilnahme aller Schüler und des Lehrers an geeigneten Handlungsweisen erlauben und nicht die Teilnahme des Lehrers allein. Sie müssen ebenfalls dafür sorgen, daß die Lernenden dazu befähigt werden, entsprechend ihrer wachsenden Kompetenz in zunehmender Tiefe und Intensität an den sich entwickelnden Handlungsweisen teilzunehmen. Die Entwicklung der Handlungsweisen auf der Ebene des Klassenraumes hat Rückwirkungen auf die Entwicklung des Handelns ihrer Mitglieder. Das bedeutet, daß der soziale Kontext eine Ressource wird und das Lernen des Individuums unterstützt. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Fruchtbarkeit des hier vorgestellten Ansatzes in anderen Altersgruppen und bei anderen Themenbereichen zu überprüfen.

7. Literatur

- Aebli, H. (1993). *Denken: Das Ordnen des Tuns*. Stuttgart: Klett.
- Amann, K. & Knorr-Cetina, K. D. (1988). The fixation of (visual) evidence. *Human Studies*, 11, 133-169.
- Bakhtin, M. (1981). *The dialogic imagination*. Austin: University of Texas.
- Bourdieu, P. (1990). *The logic of practice*. Cambridge, UK: Polity Press.
- Bourdieu, P. & Wacquant, L. J. D. (1992). *An invitation to reflexive sociology*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Brown, J. S. & Duguid, P. (1992). Enacting design for the workplace. In P. S. Adler & T. A. Winograd (Eds.), *Usability: Turning technologies into tools* (pp. 164-197). New York: Oxford University Press.
- Duit, R. (1995). The constructivist view: A fashionable and fruitful paradigm for science education research and practice. In L. Steffe & J. Gale (Eds.), *Constructivism in education* (pp. 271-285). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Ehn, P. (1992). Scandinavian design: On participation and skill. In P. S. Adler & T. A. Winograd (Eds.), *Usability: Turning technologies into tools* (pp. 96-132). New York: Oxford University Press.
- Ehn, P. & Kyng, M. (1991). Cardboard computers: Mocking-it-up or hands-on the future. In J. Greenbaum & M. Kyng (Eds.), *Design at work: Cooperative design of computer systems* (pp.169-195). Hillsdale, NJ: LEA.
- Guba, E. & Lincoln, Y. (1989). *Fourth generation evaluation*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Henderson, K. (1991). Flexible sketches and inflexible data bases: Visual communication, prescription devices, and boundary objects in design engineering. *Science, Technology, & Human Values*, 16, 448-473.
- Jordan, B. & Henderson, A. (1995). Interaction analysis: Foundations and practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 39-103.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice: Mind, mathematics and culture in everyday life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McGinn, M. K., Roth, W.-M., Boutonné, S. & Woszczyzna, C. (1995). The transformation of individual and collective knowledge in elementary science classrooms that are organized as knowledge-building communities. *Research in Science Education*, 25, 163-189.
- Rorty, R. (1989). *Contingency, irony, and solidarity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Roth, W.-M. (1995). Inventors, copycats, and everyone else: The emergence of shared (arti)facts and concepts as defining aspects of classroom communities. *Science Education*, 79, 475-502.
- Roth, W.-M. (im Druck-a). Art and artifact of children's designing: A situated cognition perspective. *The Journal of the Learning Sciences*, 5.
- Roth, W.-M. (im Druck-b). Thinking with hands, eyes, and signs: Multimodal science talk in a grade 6/7 unit on simple machines. *Interactive Learning Environments*.

benötigen wir 100 g als Kraftaufwand. Nun müßt Ihr 75 durch 100 teilen, Ihr bekommt?“ Nachdem die Schüler die Rechnung durchgeführt und das Ergebnis genannt hatten, fuhr ich fort:

„Es ist weniger. Laßt uns zurückgehen. Es ist weniger als 1, der mechanische Vorteil, weniger als ($<$), das bedeutet, weniger als 1, ihr habt einen Nachteil. So könnt ihre alle Eure Maschinen prüfen, wenn ihr sie vorstellt und dabei Kriterien eines Ingenieurs anwenden“.

Die nachfolgende Präsentation der von den Schülern entworfenen Maschinen gab ihnen Gelegenheit, die von mir eingeführte Sprache anzuwenden und sich ihre Bedeutung durch Gebrauch anzueignen. Die sich anschließenden Unterrichtsstunden boten weitere Möglichkeiten, dies Sprachspiel, also den Begriff des „mechanischen Vorteils“ im Kontext von schüler- bzw. lehrerentworfenen Maschinen, anzuwenden.

Während der zweiten Aufgabe, eine Maschine zu entwerfen, warteten die Schüler nicht mehr darauf, den Test auf mechanischen Vorteil erst bei der Präsentation vor der Klasse zu machen. Die beiden Gruppen, die Rollen für handbetriebene Maschinen zum Transport schwerer Gegenstände über weite Entfernungen benutzten, machten die Bestimmung des mechanischen Vorteils zu einem integralen Bestandteil ihres Designprozesses. Dave und Jon, zum Beispiel, machten alle anderen darauf aufmerksam, eine Maschine zu konstruieren, die tatsächlich einen mechanischen Vorteil bot. Jon schlug vor, ein Designelement zu verwenden, das sie bereits in der vorangegangenen Aufgabe benutzt hatten. Dave entgegnete, daß ihr Test aber ergeben habe, daß dieses Element keinen mechanischen Vorteil gehabt habe. Einige Augenblicke später schlug Dave einen Entwurf für ihren Transporter vor, aber Jon kritisierte ihn mithilfe des Begriffs mechanischer Vorteil. Es zeigt sich hier, daß Schüler die Sprache des Begriffs mechanischer Vorteil benutzten, um ihre Entwürfe zu analysieren und zu verbessern. Sie benutzten diese Sprache für ihre eigenen Ziele und wiederholten nicht einfach ein Statement des Lehrers. Sie maßen den mechanischen

Vorteil ihres Entwurfs und analysierten das Ergebnis von 0.35 auf dem Hintergrund einer Reihe von Quellen für Reibung, die sie eventuell beseitigen oder verringern konnten. Dave und Jon setzten diese Verbesserungen in die Tat um und erreichten so eine 17-fache Verbesserung. Der mechanische Vorteil ihres Entwurfs betrug schließlich 5.0.

Die Analyse der vorliegenden Daten zeigt, daß die Schüler ihr Sprachhandeln in verhältnismäßig kurzer Zeit sehr weit entwickelten. Bei der Präsentation ihrer Entwürfe vor der gesamten Klasse verwendeten die meisten Schüler jedenfalls einen Diskurs der aus physikalischer Sicht durchaus richtig ist.

4.4 Über Rollen reden und denken - mit den Augen, mit den Händen und mit Symbolen

Diskussionen in den Wissenschaften, in der Politik, in der Ökonomie, im Ingenieurwesen und in Massenmedien werden in der Regel in Abwesenheit der Dinge geführt, von denen die Rede ist. Solche Diskussionen, die ohne eine Art von Zeichnung oder Skizze, die für das betreffende Objekt steht, durchgeführt werden, sind unproduktiv. Aus diesem Grunde werden in den meisten fachlichen Diskussionen Zeichnungen und Skizzen benutzt, die das Aushandeln gemeinsamer Bedeutungen erleichtern (Amann & Knorr-Cetina, 1988; Henderson, 1991).

Eines der großen Ereignisse beim Diskurs zum Thema Rollen war ein Seilziehen zwischen mir und der Klasse. Ein Flaschenzug, der mir einen Vorteil von 5:1 gegenüber denjenigen, die am anderen Ende zogen, war sicher am Pfosten eines Eisengeländers verankert. Obwohl die Anzahl der Schüler von ursprünglich 8 auf 20 stieg, verloren sie das Seilziehen. Die Fragen „Was ist hier eigentlich passiert?“ und „Warum hat die Klasse das Seilziehen verloren“ eröffnete eine lebhafte Debatte von 16 Minuten, in der das Ergebnis des Versuchs mithilfe von Zeichnungen geklärt wurde. In Ergänzung einer Skizze zur Unterscheidung von festen und losen Rollen (s. Bild 1), zeichneten Schüler fünf Kombina-

- Schön, D. A. (1987). *Educating the reflective practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Suchman, L. A. & Trigg, R. H. (1991). Understanding practice: Video as a medium for reflection and design. In J. Greenbaum & M. Kyng (Eds.), *Design at work: Cooperative design of computer systems* (pp. 65-89). Hillsdale, NJ: LEA.
- von Glasersfeld, E. (1989). Cognition, construction of knowledge, and teaching. *Synthese*, 80, 121-140.
- Welzel, M. (1995). *Bedeutungsentwicklung in unterschiedlichen Altersstufen*. Vortrag auf der Tagung der Gesellschaft für die Didaktik der Chemie und Physik in Dresden, September 1995.
- Winograd, T. & Flores, F. (1987). *Understanding computers and cognition: A new foundation for design*. Norwood, NJ: Ablex.

Anmerkung

Dieser Artikel ist zunächst in englischer Sprache verfaßt und dann von Reinders Duit und vom Autor ins Deutsche übertragen worden. Die empirischen Untersuchungen, über die berichtet wird, wurden unterstützt vom Social Sciences and Humanities Research Council of Canada und von Northern Telecom of Canada. Der Autor dankt Sylvie Boutonné, Michelle K. McGinn und Carolyn Wosczyzna für ihre Hilfe bei der Datenaufnahme und Interpretation.

Dr. Wolff-Michael Roth ist Associate Professor an der Erziehungswissenschaftlichen Fakultät der Simon Fraser University in Burnaby, Canada.

Ass. Prof. Dr. Wolff-Michael Roth
Simon Fraser University
Faculty of Education
Burnaby, B.C
Canada V5A 1S6
email: michael_roth@sfu.ca