

Mikelskis-Seifert, Silke; Fischler, Helmut

Die Bedeutung des Denkens in Modellen bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen - Empirische Untersuchung zur Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 9 (2003), S. 89-103



Quellenangabe/ Reference:

Mikelskis-Seifert, Silke; Fischler, Helmut: Die Bedeutung des Denkens in Modellen bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen - Empirische Untersuchung zur Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 9 (2003), S. 89-103 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315585 - DOI: 10.25656/01:31558

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315585>

<https://doi.org/10.25656/01:31558>

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

SILKE MIKELSKIS-SEIFERT, HELMUT FISCHLER

Die Bedeutung des Denkens in Modellen bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen – Empirische Untersuchung zur Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption

Zusammenfassung:

Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass die Entwicklung von angemessenen Teilchenvorstellungen bei Schülerinnen und Schülern um so besser gelingt, je stärker die Fähigkeit zum Denken in Modellen ausgeprägt ist. Es wurde daher eine Unterrichtskonzeption erarbeitet, die für die Einführung des Teilchenmodells einen Unterrichtsgang vorschlägt, in dem der Prozess der Modellbildung eine herausragende Rolle spielt. Nach der Beschreibung des Forschungsstandes und der Unterrichtskonzeption (Mikelskis-Seifert & Fischler 2003, in diesem Heft) gibt der folgende Bericht die wichtigsten Resultate der Evaluation wieder.

Summary

Results of research in science education indicate that the ability of thinking in models could be a key for the adequate understanding of the particulate structure of matter. For this a special teaching unit, which has at its center the development and promotion of thought processes in and with models during the introduction into the micro-world, was constructed. After a description of research about the particulate structure of matter and the elucidation of our teaching concept (see Mikelskis-Seifert & Fischler 2003, in this issue) the following article reports on the most important results of our evaluation study.

1. Zur Struktur des Forschungsprojekts

Das Forschungsprojekt „Unterricht über Modelle“ folgt dem umfassenden Anspruch, in einer Verknüpfung von theoriegeleiteter Curriculumentwicklung mit einer empirischen Evaluation sowohl den fachdidaktischen Forschungsstand als auch die Erfordernisse und Bedingungen der Praxis hinreichend zu berücksichtigen. Zu den für die konzeptuelle Entwicklung hinzugezogenen Grundlagen gehören die in vielfältigen Forschungszusammenhängen identifizierten Schülervorstellungen im Themenbereich, die in der fachdidaktischen Literatur zu findenden didaktischen Erörterungen und Unterrichtsvorschläge sowie die in den verbreiteten Schulbüchern sichtbaren didaktischen Konzeptionen.

Diese Informationen bilden die Basis für die konzeptuelle Fundierung des im Projekt entwickelten Ansatzes. In dieser Phase geschieht die Klärung des in der Unterrichtskonzeption verwendeten Modellbegriffs, und zwar unter

Einbeziehung erkenntnistheoretischer und lernpsychologischer Aspekte. Damit sind die Voraussetzungen für die Konstruktion eines Unterrichts über Modelle gegeben, die auf der Basis des entwickelten Systems multipler Repräsentationen erfolgte. Mit der Analyse des durchgeführten Unterrichts und der Erhebung von Lernergebnissen wird das Forschungsvorhaben im Sinne des oben erwähnten Anspruchs abgerundet.

2. Die Evaluation eines Unterrichts über Modelle als Lernprozessesstudie

2.1 Untersuchungsdesign

Um die Wirkungen des nach der erarbeiteten Konzeption durchgeführten Unterrichts auf die Schüler aus unterschiedlichen Perspektiven erfassen zu können, war die empirische Untersuchung in Form einer Lernprozessesstudie angelegt. Sechs Gymnasien des Landes Brandenburg nahmen an dieser Studie teil, indem sie

die Umsetzung der Konzeption im Rahmen der Wahlpflichtkurse „Naturwissenschaften“ Klasse 9 und 10 ermöglichten. So wurden von 120 Schülern (aus acht Wahlpflichtkursen) die Teilchenvorstellungen und deren Veränderungen durch den Unterricht erhoben und anschließend vor dem Hintergrund der beobachteten Unterrichtsmerkmale interpretiert. Das heißt, die Daten, die sich aus der Analyse eines Fragebogens über Teilchenkonzepte sowie aus der Auswertung eines Concept Maps ergaben, wurden mit den Ergebnissen einer Unterrichtsanalyse in Beziehung gesetzt.

Die an der Untersuchung beteiligten Schüler füllten dazu im Vor- und Nachtest sowohl den Fragebogen als auch das Concept Map aus. Zwischen den beiden Testphasen lag eine Interventionsphase von 12 Unterrichtsstunden über die Einführung und Anwendung eines Teilchenmodells (Details s. Mikelskis-Seifert & Fischler 2003, in diesem Heft). Das sich damit ergebende Untersuchungsdesign ist in der Abbildung 1 dargestellt.

Um die möglichen Lerneffekte auf den durchgeführten Unterricht beziehen bzw. die Lehr- und Lernprozesse detaillierter und mithilfe des Ebenensystems analysieren zu können, wurden alle Unterrichtsstunden mit einer digitalen Audioanlage aufgezeichnet.

Eine wiederholte Befragung der Schüler mit dem gleichen Instrumentarium (Fragebogen

und Concept Map) fand etwa drei Monate nach Abschluss der Intervention mit der Zielsetzung statt, Aufschluss über die Langzeitwirkung eines Unterrichts über Modelle zu erhalten.

2.2 Für die Untersuchung relevante Fragestellungen

Im Fokus der Evaluationsstudie des Unterrichts über Modelle stand die Frage, ob der Einsatz des Systems multipler Repräsentationsebenen hilft, das Denken in und mit Modellen zu fördern sowie das Ausmaß an Fehlvorstellungen im Bereich der Teilchenstruktur der Materie zu verringern. Wenn ein angemessenes Verständnis für die Mikrowelt aufgebaut werden soll, dann spielt die Entwicklung von metakognitiven Denk- und Argumentationsweisen eine Schlüsselrolle. Demzufolge sind die Lernenden zu befähigen, auf einer übergeordneten Ebene über die Modellierungen der submikroskopischen Phänomene argumentieren zu können.

Die für die empirische Untersuchung zentrale Fragestellung lautet dementsprechend: Hilft die explizite Auseinandersetzung mit der Erfahrungs- und Modellwelt, ein metakognitives Bewusstsein aufzubauen, das zu einem angemessenen und stabilen Verständnis des Teilchenmodells führt? Hierbei soll betrachtet werden,

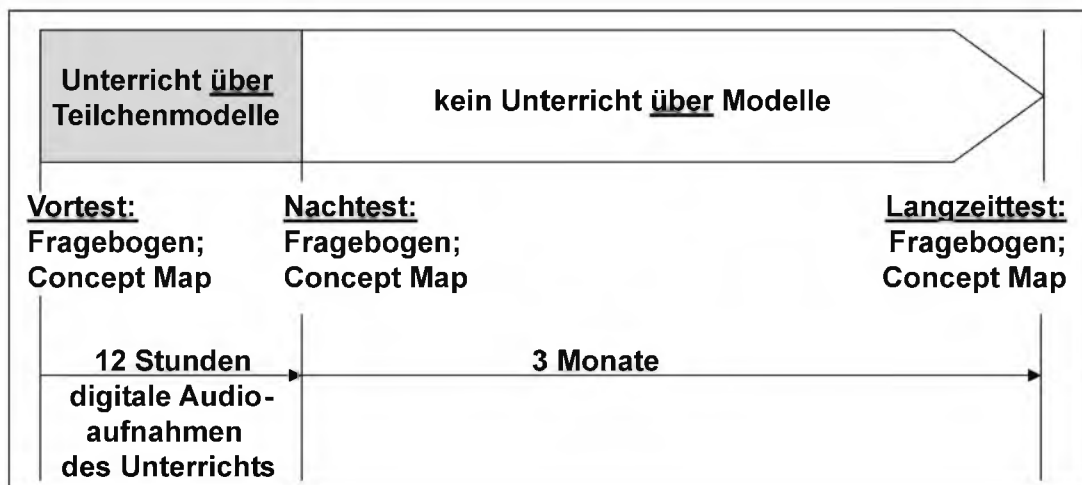


Abbildung 1: Design des Forschungsprojekts

- ob sich der Realitätsbegriff bei den Schülern verändert, indem nach der Unterrichtseinheit Abstand von einer naiven Realitätsbelegung der submikroskopischen Entitäten genommen wird, und
- inwieweit die Lernenden bei der Modellierung auf die Übertragung ungeeigneter makroskopischer Denkweisen verzichten.

Es ist zu erwarten, dass durch die Betonung des hypothetischen Charakters der Teilchenmodelle zu einem Bewusstsein für die Modellhaftigkeit der Mikroobjekte beigetragen werden kann. Sehen die Schüler die Teilchenmodelle als gezielte, menschliche Erfindungen für die Beschreibung und Deutung der Mikrowelt an, so ist zu vermuten, dass der Gefahr einer Übertragung makroskopischer Denkweisen in den submikroskopischen Bereich entgegenge wirkt werden kann.

Ein angemessenes Verstehen der Teilchenstruktur der Materie bedeutet aber auch, ein umfassendes und kohärentes Wissen im Bereich des mikroskopischen Denkens zu besitzen. Eine weitere für die Evaluation der Konzeption wichtige Frage bezieht sich demzufolge auf ein adäquates mikroskopisches Den-

ken. Das heißt, es wird erwartet, dass die Lernenden nach einem Unterricht über Modelle angemessen sowohl mit den Teilchenabständen bzw. einer Teilchenbewegung als auch mit Kräften zwischen den Teilchen argumentieren können. Ferner ist es das Ziel des Unterrichts, ein Verständnis für die Begriffe Masse, Volumen und Dichte auf der phänomenologischen (Erfahrungswelt) und der submikroskopischen (Modellwelt) Ebene zu entwickeln.

Somit ist eine wesentliche Voraussetzung für ein adäquates Verstehen der Mikrowelt erfüllt, wenn die Schüler in der Lage sind, das komplexe Wechselspiel zwischen den unerlaubten makroskopischen Zuschreibungen und einem erwünschten Wissen im mikroskopischen Bereich zu durchschauen. Eine Schlüsselrolle scheint hierbei das Modellverständnis zu spielen. Das würde bedeuten, dass positive Vorstellungsveränderungen im Modelldenken einerseits mit einem Verzicht auf ein inadäquates makroskopisches Denken und anderseits mit einem umfassenden und kohärenten mikroskopischen Denken einhergehen. Einen derartigen Zusammenhang soll die Abbildung 2 illustrieren.

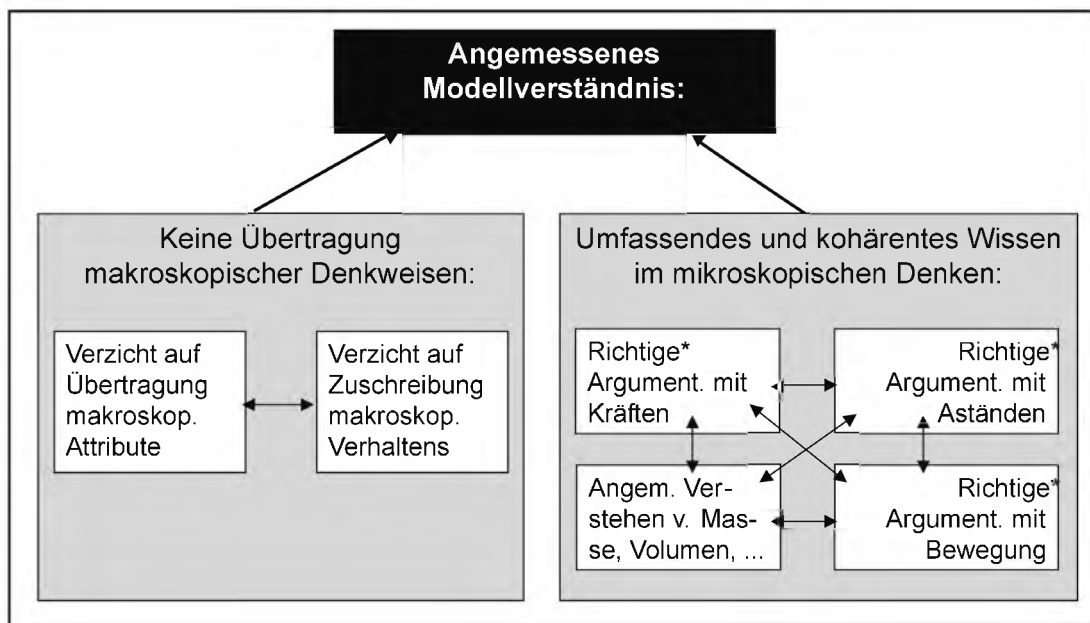


Abbildung 2: Darstellung der vermuteten Beziehungszusammenhänge zwischen den einzelnen Vorstellungsbereichen (* Richtig bedeutet hier eine in der Teilchenvorstellung angemessene Argumentation)

Sind positive Veränderungen in den Schülervorstellungen in all diesen aufgeführten Bereichen zu beobachten, wird von Metakonzep-ten zur Teilchenvorstellung gesprochen. Mit Metakonzep- ist hierbei ein metakonzep-uelles Denken und Argumentieren im Bereich der Mikrowelt gemeint. Ein solches Denken und Argumentieren bzw. ein metakonzep-uelles Bewusstsein ist dann vorhanden, wenn Wissen über physikalische Konzepte und deren Charakter, aber auch Wissen über Alltagskonzepte vorhanden ist und eine Nutzung bzw. Regulierung dieses Wissens erfolgen kann (siehe Mikelskis-Seifert, 2002).

2.3 Die für die Evaluation verwandten Instrumente und Untersuchungsmethoden

Die Untersuchung zur Wirksamkeit eines Lernens über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen erfolgte in zwei Richtungen: In ausgewählten Lerngruppen wurden detaillierte Analysen durchgeführt, während die Betrachtung aller acht Erprobungsgruppen generalisierende Aussagen ermöglichen sollte.

Die für die Beantwortung der im Abschnitt 2.2 aufgestellten Forschungsfragen notwendige Erhebung von Schülervorstellungen über die Mikrowelt und deren Veränderungen wurde mithilfe eines Fragebogens über Teilchenvorstellungen und eines Concept Maps durchgeführt. Die Entwicklung eines forschungsbasierten und reliablen Fragebogens war daher ein wichtiger Prozess innerhalb des Forschungsprojekts.

Ein forschungsbasierter Fragebogen. Mehrere Stufen der Entwicklung des Fragebogens, in die jeweils Ergebnisse von Pilotstudien einfließen, führten schließlich zu einer Endversion mit 70 Akzeptanzfragen zu Teilchenvorstellungen sowie Arbeitsbögen für die Beantwortung von Problemlöseaufgaben und für die Skizzierung von erfragten bildhaften Darstellungen.

Nach einigen Erprobungen des Fragebogens an größeren Stichproben und den damit verbundenen Überarbeitungen war es möglich, unter der Berücksichtigung der Ergebnisse von Faktoren- und Reliabilitätsanalysen sieben Ska-

len zu bilden (siehe Abbildung 3). Diese sieben Skalen dienen der Analyse der Teilchenvorstellungen im Vor-, Nach- und Langzeittest und lassen sich zu den drei Hauptbereichen – Modelldenken, Makroskopisches Denken, Mikroskopisches Denken – zuordnen.

Um einen Einblick in die konstruierten Skalen zu vermitteln, soll exemplarisch die **Modellskala** näher vorgestellt werden. Sie ist überschrieben mit „Modellverständnis“ und wird aus den folgenden Items gebildet:

Item 04: Die Existenz von Teilchen kann durch geeignete Experimente bewiesen werden.

Item 07: Da es Teilchen gibt, lässt sich ihr Aussehen früher oder später noch genau erforschen.

Item 12: Teilchen sind genauso Realität wie Bücher und Autos.

Item 16: Das Teilchenmodell lässt sich eindeutig aus Experimenten ableiten.

Item 23: Teilchen gehören nicht zur Realität.

Item 31: Teilchen sind eine menschliche Erfindung, die gezielt zur Deutung bestimmter Phänomene dienen sollen.

Item 34: Die Modellvorstellung „Teilchen“ ist ein Abbild der Realität.

Item 48: Teilchen zeigen eine Wirkung in geeigneten Messgeräten. Daher existieren sie.

Item 49: Teilchen sind eine Modellvorstellung.

Mit dem Ziel, zum Verstehen der prinzipiellen Andersartigkeit der Mikrowelt beizutragen, soll einer naiven Realitätsbelegung der submikroskopischen Entitäten entgegengewirkt werden. Das heißt, den Schülern soll der artifizielle Charakter der Teilchenmodelle und damit einhergehend die Modellhaftigkeit der Mikroobjekte bewusst werden. In diesem Sinne sollen die Lernenden nach einem Unterricht über Modelle die grau hinterlegten Items ablehnen und den weiß hinterlegten Items zustimmen. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass der in den Items verwendete Realitätsbegriff an die direkte Wahrnehmung gekoppelt ist. Das hat zur Folge, dass bei entsprechender Beantwortung der Items eine naiv-realistische bzw. die angestrebte angemessene (hypothetisch-realistische) Sichtweise deutlich wird.

Mit den Skalen „makroskopische Attribute“ und „makroskopisches Verhalten“ wird untersucht, ob Schüler auf Denkweisen, die in der Erfahrungswelt angemessen sind, verzichten, wie zum Beispiel auf das Zuschreiben von Farbe, Form, Temperatur oder Reibung.

Argumentationen mit einer Teilchenbewegung, Kräften zwischen den Teilchen bzw. Teilchenabständen gehören dann dem mikroskopischen Denken an. Ein angemessenes Verständnis für die Konzepte Masse, Volumen und Dichte, das mit einer weiteren Skala erhoben werden soll, vervollständigt die mikroskopischen Denkweisen.

analysen mit post-hoc Duncan-Tests sowie ein- und zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholungen eingesetzt. Zur Überprüfung von Beziehungszusammenhängen einzelner Skalen wurden dann Korrelationsanalysen gerechnet.

Weitere empirische Verfahren wie z.B. LISREL- oder Latent-Class-Analysen dienen ebenso einer Auswertung der erhobenen Daten wie die Konstruktion von Modalnetzen (Testteil: Concept Map) oder die Berücksichtigung der im Fragebogen enthaltenen Problemlöseaufgaben. Im Sinne einer Triangulation wurden die Ergebnisse der Teilttests zueinander in Bezie-

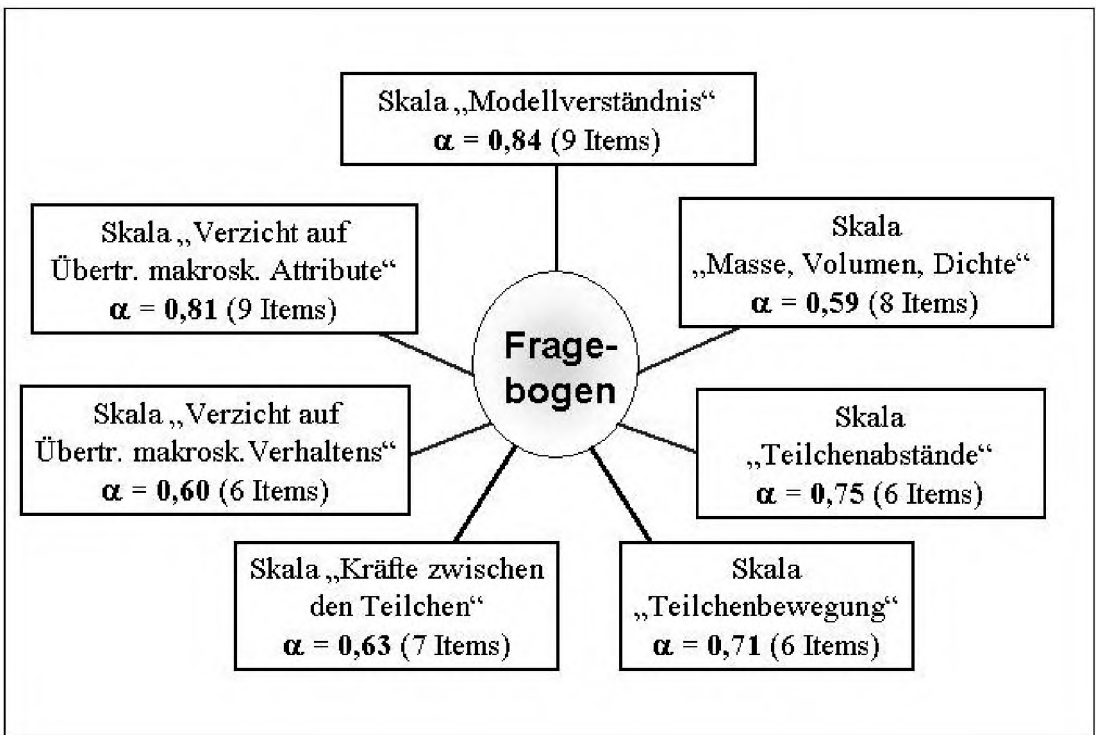


Abbildung 3: Die einzelnen Skalen mit den entsprechenden Reliabilitätskoeffizienten

Untersuchungsmethoden. Die zufriedenstellenden Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen (relative hohe Werte für den Reliabilitätskoeffizient α) ermöglichen es, die im Abschnitt 2.2 aufgestellten Hypothesen durch Vergleiche von Skalenkennwerten zu prüfen. Dementsprechend wurden für die Überprüfung der Signifikanz von Kennwertunterschieden t-Tests und u-Tests, einfaktorielle Varianz-

analysen gesetzt, um dann die beobachteten Lerneffekte vor dem Hintergrund der Unterrichtsmerkmale zu analysieren.

Wegen der Fülle der Daten sowie der Komplexität der Datenauswertung beschränken sich die nachfolgenden Betrachtungen auf ausgewählte Ergebnisse. Es soll untersucht werden, ob es den Schülern gelingt, stabile Metakonzepte zur Teilchenvorstellung zu entwickeln.

3. Ein Versuch, metakonzeptuellen Denkweisen auf die Spur zu kommen

3.1 Vorstellungsveränderungen durch ein Lernen über Modelle

Lerneffekte in den Skalen. Mit dem Ziel, die erwünschten Effekte in den Schülervorstellungen durch einen Lernen über Modelle zu erheben, wurden die Ergebnisse in den sieben Skalen für die drei Messzeitpunkte analysiert. Im Vortest hatten die an der Untersuchung beteiligten Probanden bereits Wissen über die Mikrowelt, das sie in dem vorangegangenen herkömmlichen Physik- und Chemieunterricht aufgebaut haben. Das zeigen die hohen Kennwerte im

waren die Vorstellungen im makroskopischen Bereich bzw. im Modelldenken aber unangemessen.

Im Nachtest zeigen sich erfreulicherweise höchst signifikante positive Veränderungen in allen Vorstellungsbereichen. Jedoch unterscheiden sich diese in ihren Effektstärken. Die statistischen Berechnungen ergaben für die Modellskala Vorstellungsveränderungen mit der größten Effektstärke von 1,2 Standardabweichungen. Im Gegensatz zum erhobenen Modellverständnis unterscheiden sich die Veränderungen in den anderen Skalen nicht so stark voneinander und bewegen sich in einem Bereich zwischen 0,4 und 0,6 Standardabweichungen.

Lerneffekte in den Skalen

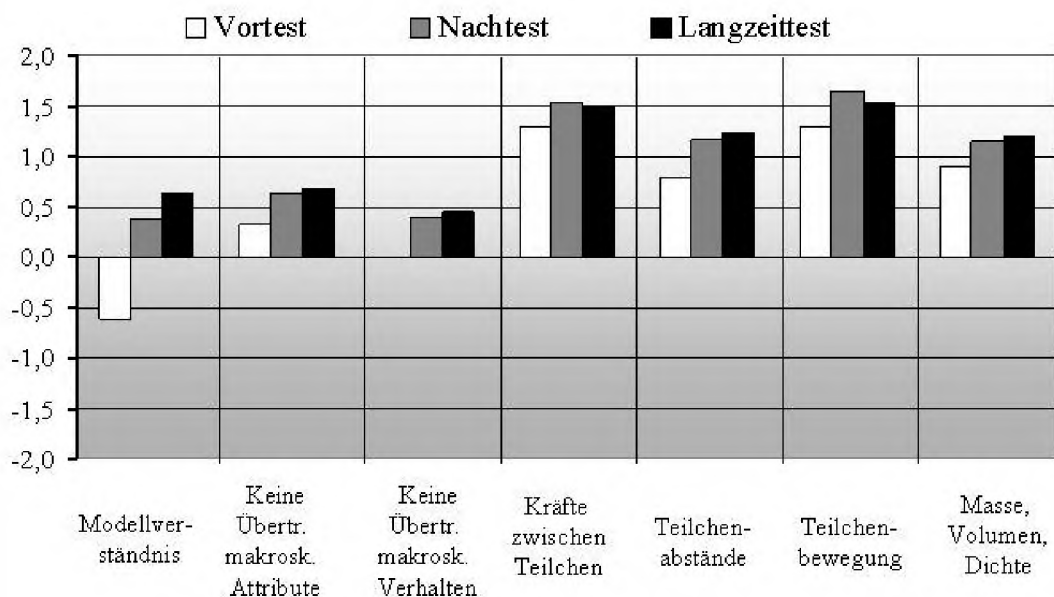


Abbildung 4: Vorstellungsveränderungen in den einzelnen Skalen

Bereich des mikroskopischen Denkens (siehe die vier rechten Skalen in der Abbildung 4). So konnten z.B. die Schüler angemessen mit Kräften und Abständen zwischen den Teilchen oder einer Teilchenbewegung argumentieren. Im Gegensatz zum mikroskopischen Denken

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden: Die positiven Lerneffekte im Modelldenken deuten darauf hin, dass sich der Realitätsbegriff bei den Schülern verändert hat. So nehmen sie nach der sechswöchigen Instruktionsphase Abstand von der naiven Realitätsbe-

legung der submikroskopischen Entitäten. Neben diesen positiven Effekten im Modellverständnis zeigen die Ergebnisse der Skalenanalysen, dass die Schüler bei der Modellierung mit der Übertragung makroskopischer Eigenschaften (wie z. B. Farbe, Form oder Temperatur) auf die Mikroobjekte zurückhaltender sind. Gleiches gilt für das Zuschreiben eines makroskopischen Verhaltens.

Auch im Bereich des mikroskopischen Denkens können die gewünschten und signifikanten Vorstellungsveränderungen beobachtet werden. Das heißt, nach dem Unterricht über Modelle waren die Lernenden in der Lage, angemessen sowohl mit Kräften und Abständen zwischen den Teilchen als auch mit der permanenten Teilchenbewegung zu argumentieren. Es ist ferner gelungen, ein adäquates Verständnis für die Begriffe Masse, Volumen und Dichte auf der phänomenologischen Ebene (Erfahrungswelt) und der submikroskopischen Ebene (Modellwelt) zu entwickeln.

Die Nachhaltigkeit der erwünschte Lerneffekte zeigt sich in den Ergebnissen der Befragung, die nach drei Monaten ohne einen Unterricht über Modelle erfolgte (siehe Langzeittest in der Abbildung 4). Vergleicht man die Kennwerte des Nach- und Langzeittests in den einzelnen Vorstellungsbereichen miteinander, so stellt man fest, dass bei fünf Skalen (Verzicht auf Übertragung makroskopischer Attribute, Verzicht auf Übertragung makroskopischen Verhaltens, Teilchenabstände, Kräfte zwischen den Teilchen und Masse, Volumen, Dichte) die Vorstellungen stabil bleiben. Für diese Skalen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im Kennwertvergleich zwischen beiden Test-

phasen. Hingegen war bei der Skala „Teilchenbewegung“ ein signifikanter Abfall des Kennwertes im Langzeittest festzustellen, der als Vergessenseffekt gedeutet werden kann.

In der Abbildung 4 ist jedoch auch ein unerwartetes Ergebnis zu beobachten: Neben dem gewünschten Anstieg des Skalenkennwertes für das Modelldenken von Vortest zum Nachtest steigt dieser im Langzeittest noch signifikant an. Versucht man den Effekt zu deuten, bedarf es weiterführender Analysen.

Weiterführende Analysen im Sinne einer Triangulation. Mithilfe des LISREL-Ansatzes gelang es, diesen signifikanten Skalenkennwertanstieg über Beziehungszusammenhänge zwischen den einzelnen Vorstellungsbereichen zu erklären (siehe Mikelskis-Seifert, 2002, S. 191-192). So zeigt sich bei dieser Art der Datenauswertung im Langzeittest das am stärksten vernetzte Kausalmodell. Ein solcher Befund spricht dafür, dass ein komplexes Beziehungsgeflecht zwischen den einzelnen Vorstellungsbereichen aufgebaut wurde. Dieses Beziehungsgeflecht kann als Ursache für den signifikanten Kennwertanstieg im Modelldenken der Schüler nach drei Monaten angesehen werden. Einen weiteren Beleg für die Entwicklung eines derartigen Beziehungsgeflechtes zwischen den Vorstellungsbereichen liefert die Analyse der Concept Maps.

In dem Forschungsprojekt stellte das Concept Map, bei dem es sich um ein Teilnetz aus der Studie von Peuckert (Fischler & Peuckert, 1999) zur Stabilität und Ausprägung von Schülervorstellungen handelte, eine inhaltliche und methodische Alternative zur Erhebung von Teilchenvorstellungen dar. Dementspre-

Mikroskopisches Denken	Physikalische Größen	Makroskopisches Denken	Weitere Charakteristika
o Teilchen o Atome / Moleküle	o Masse o Volumen o Dichte o Kraft	o Makroskopische Attribute wie Kugelform, Farbe, Geruch etc.	o Theoretisches Modellverständnis: ontologische und epistemologische Positionen

Tabelle 1: Modifizierte Aspektstruktur der Wissensdiagnose und –beschreibung nach Peuckert & Fischler (2000, S. 96)

chend mussten die von den Lernenden zu erstellenden Netze möglichst weitgehend die Aspekte ansprechen, die auch mit dem Fragebogen erhoben wurden. Zur Orientierung sind diese Aspekte mit den dazu geordneten Knotenwörtern in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Mit der Zielsetzung, generalisierende Aussagen über die Lerngruppen treffen sowie die Ergebnisse des Concept Mappings mit den anderen Effekten in Beziehung setzen zu können, wurde die Berechnung von sogenannten Modalnetzen vorgenommen (vgl. Peuckert & Fischler, 2000). Die in der Abbildung 5 dargestellten Propositionen präsentieren das typische und stabil gebliebene Wissen eines Schülers in der Langzeitbefragung.

lern ein Bewusstsein für die jeweils erlaubten mikroskopischen sowie die unerlaubten makroskopischen Denkweisen nahe legen. Das heißt, die Lernenden deuten die Teilchen als Modell und grenzen diese von der Erfahrungswelt ab. Unerlaubte Eigenschaften wie die Farbe, der Geruch oder der Geschmack, die aus der Erfahrungswelt stammen, schreiben sie den Teilchen nicht zu. Hingegen sind Verbindungen zwischen dem Teilchenbegriff und den mikroskopischen Qualitäten wie Masse und Teilchenabstand festzustellen, die notwendig für die Modellierung submikroskopischer Phänomene sind, aber oft vernachlässigt werden.

Damit scheinen die empirischen Ergebnisse des Concept Mappings die Entwicklung der

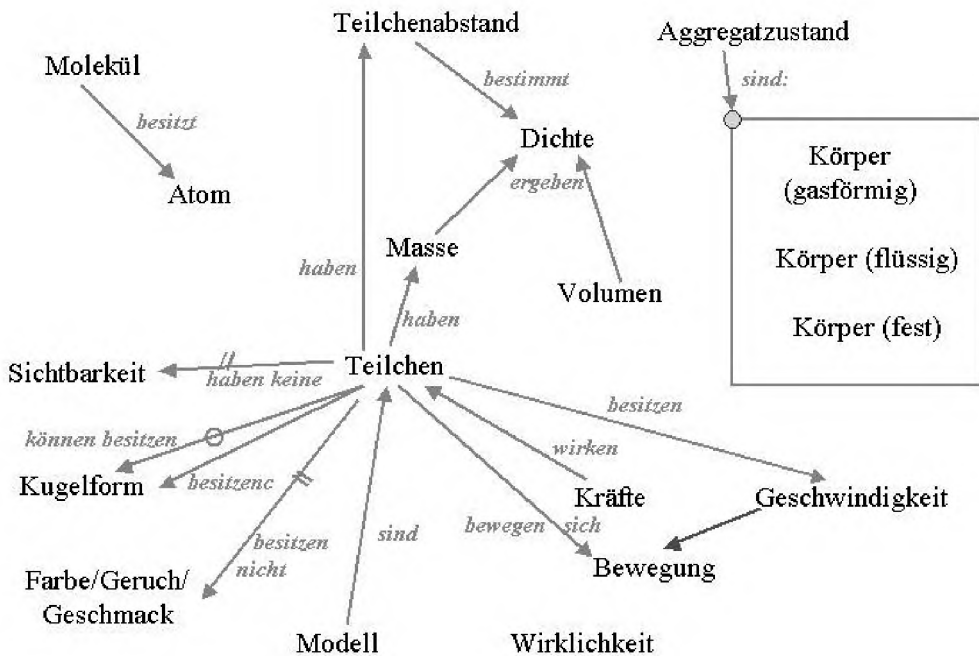


Abbildung 5: Das Modalnetz über alle Schüler der 8 Lerngruppen im Langzeittest

Interessanter Weise zeigt sich im Modalnetz des Langzeittests wie schon im LISREL-Modell der größte Vernetzungsgrad. Auch nimmt die Zentralität des Begriffes „Teilchen“ in der Langzeitbefragung zu. Ferner sind im Langzeitnetz Strukturen erkennbar, die bei den Schü-

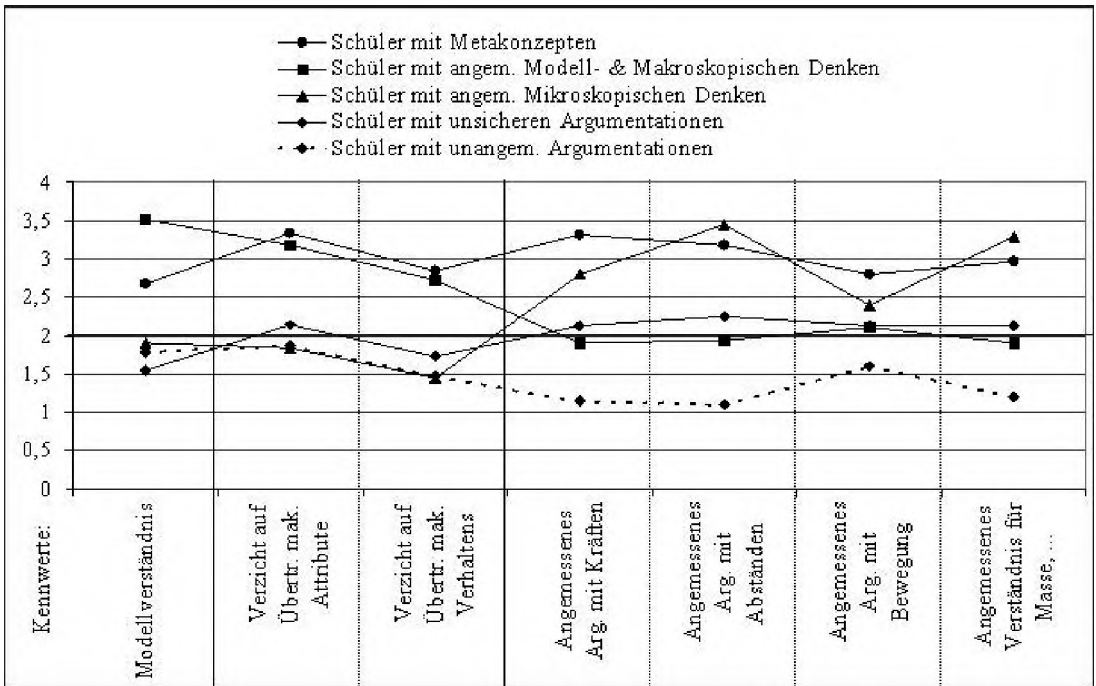
erwünschten Vorstellungen über die Mikrowelt, die bei der Analyse der Fragebogendaten beobachtet wurden, zu bestätigen. Das lässt den Schluss zu, dass durch einen derartigen Unterricht über Modelle ein wesentlicher Beitrag zum Verstehen der Andersartigkeit der

Mikrowelt und dessen Modellierung geleistet werden kann.

3.2 Eine Längsschnittuntersuchung der Daten mithilfe der Latent-Class-Analyse

Die Identifizierung typischer Antwortprofile. Bedenkt man, dass die vorrangige Zielsetzung eines Lernens über Modelle der Aufbau und die Förderung eines angemessenen und umfassenden Verständnisses für die Mikrowelt war, dann spielt die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung eine zentrale Rolle. Gemäß unserer Definition sollten sich Schüler mit metakzeptuellen Denk- und Argumentationsweisen darin auszeichnen, dass sie in allen drei Bereichen „Makroskopisches Denken“, „Mikroskopisches Denken“ und „Modellverständnis“ adäquate Vorstellungen besitzen. Das heißt, sie beantworten die Items der sieben Skalen in der gewünschten Weise und erreichen somit hohe Skalenkennwerte. Mithilfe der Latent-Class-Analyse sollten typi-

sche Argumentationsmuster der Schüler mit dem Ziel erhoben werden, ein solches Profil zu erhalten, das durch diese hohen Kennwerte in den Skalen gekennzeichnet ist. Ein solches Antwortprofil würde dann dem intendierten metakzeptuellen Bewusstsein entsprechen. Für die Bestimmung dieser wahrscheinlichen Antwortmuster und für eine damit verbundene Schätzung der Klasseneinteilung wurden die umcodierten Skalenkennwerte zu den drei Messzeitpunkten (Vor-, Nach- und Langzeittest) herangezogen. Auf der Abszisse des Diagramms in der Abbildung 6 sind die sieben Skalen dargestellt. Auf der Ordinate befinden sich die umcodierten Skalenkennwerte von „0“ bis „4“. Bei dieser Auswertung bedeutet ein Kennwert von „2“, der als Nulllinie angesehen werden kann, eine unsichere Argumentation. Der Kennwert „4“ entspricht dann einem optimalen Wert im Sinne der Konzeption. Ein empirisch angemessenes Ergebnis der Latent-Class-Analyse, das sich inhaltlich sinnvoll interpretieren ließ, ist die 5-Klassen-Lösung.



Skalen aus der Faktoren- und Reliabilitätsanalyse

Abbildung 6: Die 5-Klassen-Lösung der Latent-Class-Analyse

Nach dieser Lösung gibt es eine Klasse, in der sich Schüler mit unangemessenen Argumentationen befinden. Dieses Antwortprofil ist gestrichelt dargestellt. Erreichen die Lernenden in allen sieben Skalen einen Kennwert um „2“, gehören sie der Klasse mit unsicheren Argumentationen an. Eine derartige Klasse wird mit einer Raute gekennzeichnet.

Das Ziel des Unterrichts war jedoch, metakonzeptuelle Denk- und Argumentationsweisen in der Mikrowelt zu entwickeln. Das heißt, es sollte Schüler geben, die sowohl ein angemessenes Modellverständnis besitzen und auf makroskopische Denkweisen verzichten als auch ein umfassendes und kohärentes mikroskopisches Wissen aufweisen. Das mit dem Kreis gekennzeichnete Antwortprofil stellt die mit der Konzeption intendierten metakonzeptuellen Argumentationen dar.

Allerdings ergibt sich aus der Latent-Class-Analyse ein weiterer interessanter Befund. Es gibt eine mit dem Quadrat gekennzeichnete Klasse, deren Probanden einerseits ein angemessenes Modellverständnis besitzen und andererseits

auf die Übertragung makroskopischer Denkweisen in die Mikrowelt verzichten. Jedoch argumentieren diese Schüler unsicher im mikroskopischen Bereich. Komplementär dazu ist die mit dem Dreieck gekennzeichnete Klasse. Hier werden relativ hohe Kennwerte im mikroskopischen Denken erreicht, aber im Modell- und makroskopischen Bereich sind unangemessene Aussagen festzustellen.

Probandenverteilung auf die latenten Klassen. Nun bleiben die Fragen zu klären, ob es bereits im Vortest Schüler in der Klasse der metakonzeptuellen Argumentationen gibt und welche Probandenverteilung auf die latenten Klassen im Nach- und Langzeittest zu beobachten ist.

Wie aus der Abbildung 7 zu sehen ist, gehört im Vortest nur ein geringer Prozentsatz der Schüler der Klasse mit Metakzepten bzw. mit angemessenem Modell- und makroskopischen Denken an. Im Gegensatz hierzu zeichnen sich über 60 Prozent der Schüler durch unsichere bzw. unangemessene Argumentationen aus. Eine deutliche Verschiebung der Ver-

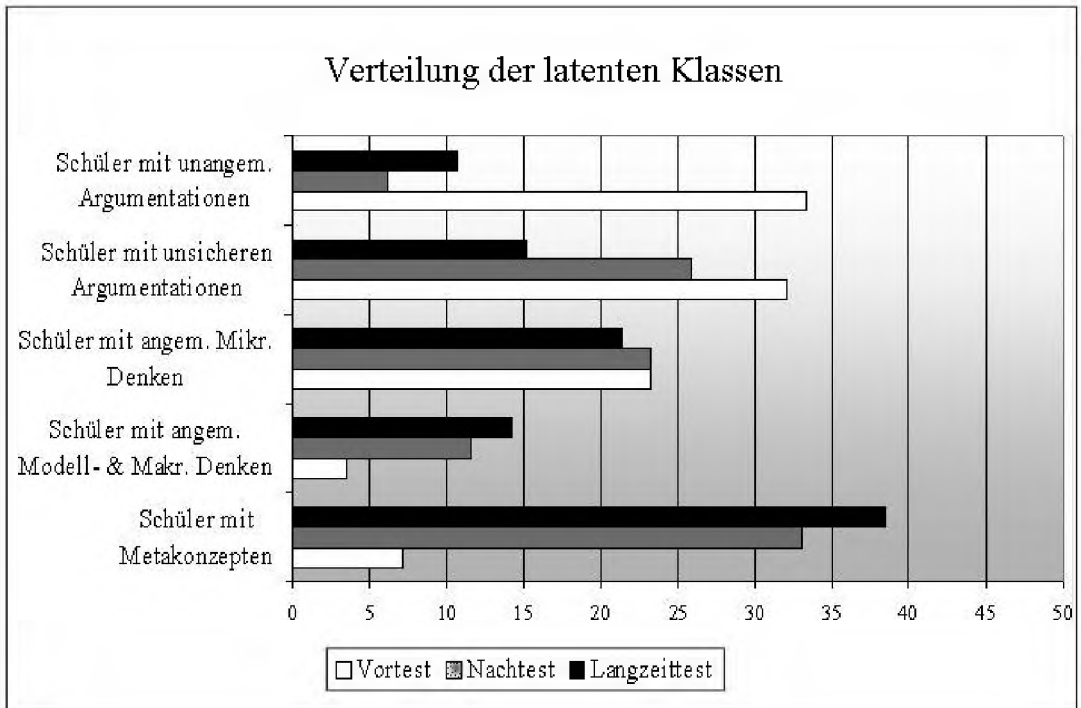


Abbildung 7: Verteilung der Schüler auf die latenten Klassen im Vor-, Nach- und Langzeittest

teilung zugunsten der Klasse der Schüler mit Metakzepten ist im Nachtest zu erkennen. Dieser Sachverhalt spricht für die Entwicklung metakzeptueller Denk- und Argumentationsweisen. Erfreulich ist ferner, dass im gleichen Maße, wie die Anzahl der Schüler mit den unangemessenen Argumentationen abnimmt, die Anzahl der Schüler mit Metakzepten zunimmt. Ein solcher Effekt scheint nachhaltig zu sein, wie es das Ergebnis des Langzeittests zeigt. Die Ergebnisse aus den anderen Auswertungsmethoden, wie z.B. den Skalen- oder Concept Map-Analysen (siehe Abschnitt 3.1), stehen im Einklang mit diesem Ergebnis.

Wechsel der Argumentationsmuster. Neben der zuvor erörterten Probandenverteilung auf die latenten Klassen und deren Entwicklung ist auch die Detailanalyse der Wanderungsbewegung von besonderem fachdidakti-

ischem Interesse. Dabei sollen nur die Wechsel der Argumentationen zwischen dem Vor- und dem Langzeittest betrachtet werden.

In der rechten Spalte der Tabelle 2 ist die Aufteilung der 112 Probanden, bei denen für eine derartige Analyse das entsprechende Datenmaterial zur Verfügung stand, auf die latenten Klassen im Vortest angegeben. In der unteren Zeile findet man die dazu gehörenden Daten für den Langzeittest. In der Hauptdiagonalen sind die 32 Schüler mit den stabil gebliebenen Argumentationsmustern zu finden. Lediglich 7 Schüler haben eine im Sinne der Konzeption negative Entwicklung vollzogen.

Im Gegensatz zu diesen Schülern entwickelten sich die Vorstellungen von 73 Schülern in eine positive Richtung. Davon sind erfreulicherweise 36 Wechsel in die Klasse mit den Metakzepten zu beobachten. Betrachtet man die

		Langzeit- test					
		Sch. mit Meta- konzepten	Sch. mit angem. Modell- & makr. Denken	Sch. mit angem. mikr. Denken	Sch. mit unsicheren Argumenta- tionen	Sch. mit unangem. Argumenta- tionen	Gesamt
Vor- test	Sch. mit Meta- konzepten	7	1				8
	Sch. mit angem. Modell- & makr. Denken	1	1	2			4
	Sch. mit angem. mikr. Denken	14	4	8			26
	Sch. mit unsicheren Argumentationen	15	2	7	8	4	36
	Sch. mit unangem. Argumentationen	6	8	7	9	8	38
	Gesamt	43	16	24	17	12	112

Tabelle 2: Wechsel der Argumentationsmuster vom Vortest zum Langzeittest

Verteilung der positiven Wechsler auf die acht Lerngruppen (siehe Abbildung 8), so stellt man eine starke Häufung in einigen Gruppen fest. In diesen Lerngruppen lässt sich durch die Unterrichtsanalyse die besonders erfolgreiche Umsetzung des Unterrichtskonzepts nachweisen, was im Folgenden anhand von exemplarischen Ergebnisse der Unterrichtsanalyse bei zwei konträren Lerngruppen – LG2 und LG5 (siehe Abbildung 8) – aufgezeigt werden soll. Um die unterschiedlichen Lerneffekte in beiden Gruppen auf den jeweils durchgeführten Unterricht beziehen zu können, wurden charakteristische Unterrichtssituationen nach dem

Ebenensystem analysiert. Das Hauptanliegen dieser Untersuchungsmethode bestand darin, Auskunft über die Qualität der im Unterricht stattfindenden Metadiskussionen zu erhalten. In einem ersten Schritt wurden per Online-Codierung mithilfe von Catmovie (siehe Mikelskis-Seifert, 2002, S. 215) die Aussagen der Lehrer und Schüler den Ebenen des Systems zugeordnet. Das Ergebnis dieser Codierung waren Tabellen im SPSS-Format, die mit EXCEL weiterbearbeitet werden konnten. Ein Beispiel für eine derartige Unterrichtsanalyse ist im Diagramm der Abbildung 9 dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine kurze Szene

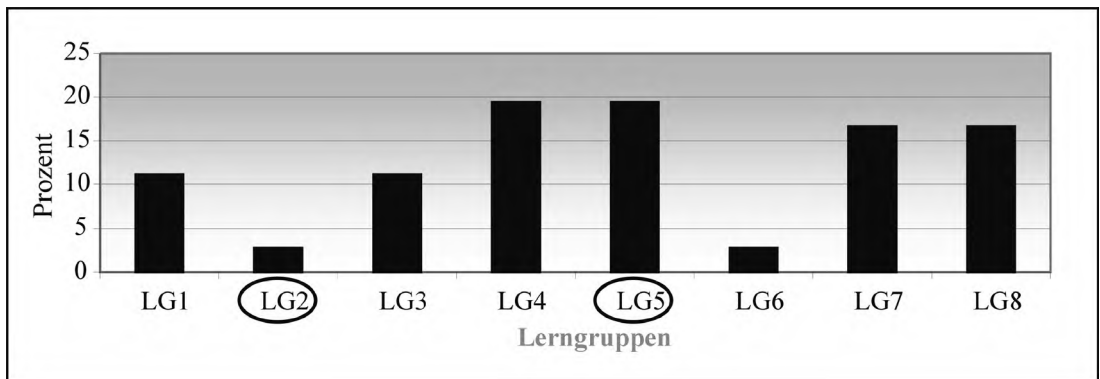


Abbildung 8: Argumentationswechsel in die Klasse mit Metakonzepthen (N = 36)

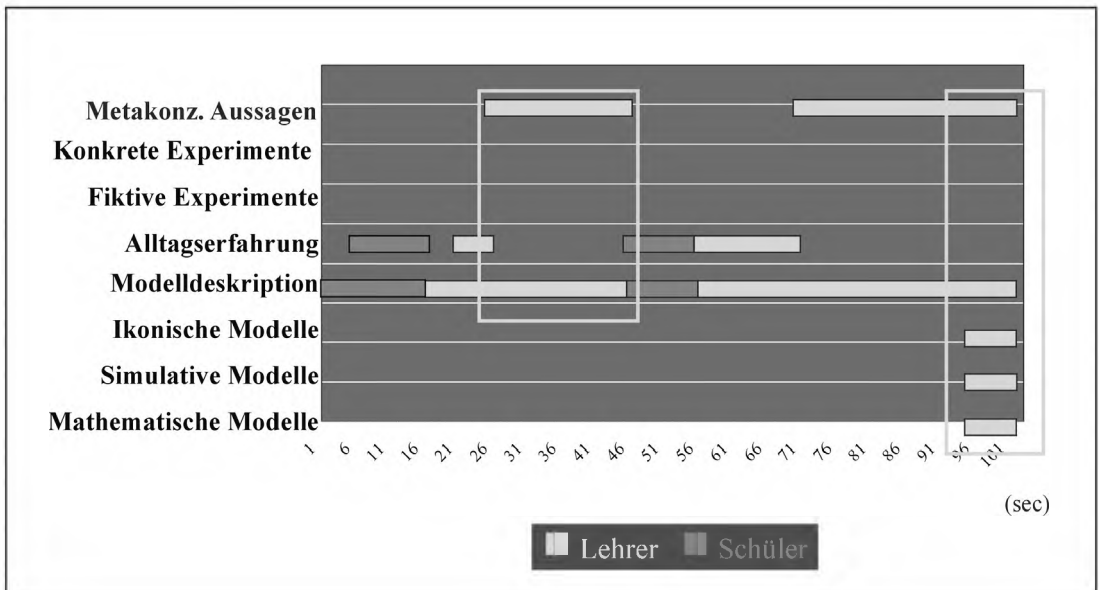


Abbildung 9: Detailanalyse einer Unterrichtsszene bei Einführung in die Teilchenstruktur der Materie

eines Unterrichtsgesprächs zwischen einem Lehrer und einem Schüler.

Mit dem Ziel, die Unterschiede bei der Umsetzung der intendierten Metadiskussionen, die beispielhaft mit dem Diagramm der Abbildung 9 illustriert werden sollen, quantitativ zu erfassen, wurde ein Kennwert definiert. Dieser Kennwert, der als Metaindex bezeichnet wurde, soll Auskunft über die Quantität der getroffenen Aussagen über Konzepte und Prozesse auf einer „Meta-Ebene“ geben. Dementsprechend berechnet sich der Metaindex aus dem Verhältnis der Anzahl an „Meta-Aussagen“ zu der Summe aller Aussagen.

In der Abbildung 10 sind die Ergebnisse der Unterrichtsanalyse unter dem Gesichtspunkt dieses Kennwertes zusammengestellt. Auf der Ordinate befinden sich die Kennwerte für die Lehreraussagen. Ferner erfolgte eine Zuordnung der Lehreraussagen zu einzelnen Phasen der Unterrichtseinheit (Einführungsphase – Erarbeitungsphase – Anwendungsphase, siehe Mikelskis-Seifert & Fischler 2003, in diesem Heft), die auf der Abszisse des Diagramms in der Abbildung 10 aufgetragen sind.

Die Ergebnisse der Analysen zum Metaindex offenbaren große Unterschiede in der Quantität der getroffenen „Meta-Aussagen“ in den beiden Lerngruppen LG2 und LG5. So sind

beim Lehrer der Lerngruppe LG2 kaum metakonzeptuelle Argumentationen zu finden. Das heißt, dass dieser Lehrer während des Unterrichts selten bzw. in bestimmten Phasen nie auf einer übergeordneten Ebene über die Beschreibungen und Deutungen der submikroskopischen Phänomene sprach. Demzufolge konnten die geforderten Diskussionen und Reflexionen über die Modelle nicht stattfinden. Im Gegensatz zum Lehrer LG2 zeichnet sich der Lehrer LG5 durch relativ hohe Werte im Metaindex über den gesamten Zeitraum der Unterrichtseinheit aus. Das bedeutet, dass bei diesem Lehrer LG5 bedeutend mehr Aussagen über Konzepte, über die Natur der Modelle und über die Problematik inadäquater makroskopischer Denkweisen zu beobachten sind. Betrachtet man nun die Lerneffekte in beiden Gruppen, kann man feststellen, dass die Schüler LG5 die größten Veränderungen in den Vorstellungen über die Mikrowelt zu verzeichnen haben. Besonders im Modelldenken besitzen diese Schüler nach dem Unterricht über Modelle adäquate Vorstellungen. Hingegen weisen die Schüler der Lerngruppe LG2 im Nach- sowie Langzeittest unangemessene Vorstellungen über die Teilchenstruktur der Materie – vor allem im „Modellverständnis“ und im „Makroskopischen Denken“ – auf.

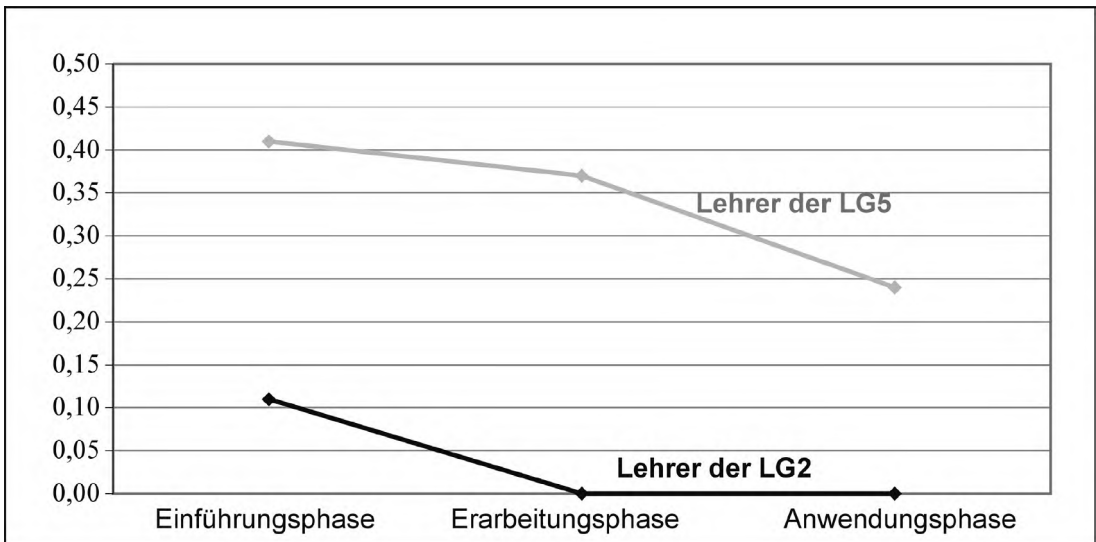


Abbildung 10: Ergebnisse der Unterrichtsanalysen in Hinblick auf die getroffenen „Meta-Aussagen“ der Lehrer in den einzelnen Phasen der Unterrichtseinheit

Als Ursache für die fehlenden Vorstellungsveränderungen in der Lerngruppe LG2 gemäß der Konzeption kann die mangelnde Metadiskussion über die Modelle und den Modellierungsprozess, welche sich im niedrigen Metaindex widerspiegelt, angesehen werden. Das heißt, wenn der Lehrer nicht in der Lage ist, auf einer „Meta-Ebene“ über Konzepte und Prozesse zu sprechen, dann kann es auch nicht von den Schülern erwartet werden. Das hat jedoch zur Folge, dass die Schüler kein adäquates und nachhaltiges Modellverständnis entwickeln können.

4. Schlussfolgerungen und Perspektiven

Allgemein kann festhalten werden, dass die erheblichen Lerneffekte im Modelldenken bei der Mehrheit der Schüler für die Entwicklung eines angemessenen und stabilen Verständnisses des Teilchenmodells sprechen. Aus den Analysen sowohl der Daten des Berlin Particle Concept Inventory als auch des Concept Mappings ist zu erkennen, dass sich der Realitätsbegriff bei den meisten Schülern verändert hat, indem sie im Nach- und Langzeittest Abstand von der naiven Realitätsbelegung der Mikroobjekte nehmen. Den Lernenden scheint der hypothetische Charakter der Teilchenmodelle bewusst geworden zu sein.

Dass der Unterricht über die Teilchenmodelle auch zum Verstehen der prinzipiellen Andersartigkeit der Mikrowelt beigetragen hat, kann einerseits aus dem Verzicht auf die Übertragung makroskopischer Denkweisen auf die submikroskopischen Entitäten geschlossen werden. Andererseits können im mikroskopischen Bereich die gewünschten und signifikanten Vorstellungsveränderungen verzeichnet werden. Das bedeutet, dass sowohl die Überwindung der makroskopischen Denkweisen als auch die „erlaubten“ mikroskopischen Qualitäten bei der Modellierung in den Schülerargumentationen zu beobachten sind. Die Ergebnisse der Latent-Class-Analyse lassen vermuten, dass Schüler nach einem Unterricht über Teilchenmodelle metakonzeptuelle Denk- und Argumentationsweisen entwickelt haben. Dies wird durch die Ergebnisse aus den

LISREL-Analysen bestärkt. Beispielsweise bestehen signifikante direkte bzw. indirekte kausale Beziehungszusammenhänge zwischen den einzelnen Skalen im Nach- und Langzeittest. Im Langzeittest deuten sich sowohl im LISREL-Modell als auch im Modalnetz Strukturen an, die das komplexe Wechselspiel der Vorstellungen in den einzelnen Bereichen „Makroskopisches Denken“, „Mikroskopisches Denken“ sowie „Modelldenken“ widerspiegeln.

Zusammenfassend lassen die Daten den Schluss zu, dass durch einen Unterricht über Modelle ein wesentlicher Beitrag zum Verstehen der Teilchenstruktur der Materie geleistet werden kann, indem ein metakonzeptuelles Denken und Argumentieren gefördert wird. Die Ergebnisse der Skalen- und der Latent-Class-Analysen stehen im Einklang mit den übrigen empirischen Befunden (z.B. aus der Auswertung der Concept Maps).

Jedoch konnten die epistemologischen Zielsetzungen eines Unterrichts über Modelle nicht in allen Lerngruppen im gleichen Maße umgesetzt werden, was auf einer unterschiedlichen Qualität und Quantität der geforderten Metadiskussionen zu beruhen scheint. Bei den Unterrichtsanalysen zeigen sich in den einzelnen Lerngruppen große Unterschiede in der Anzahl und Vielfalt von „Meta-Aussagen“. Es ist zu vermuten, dass diese Qualitätsunterschiede sich im bedeutenden Umfang auf die Stärke der positiven Umstrukturierungen in den Schülervorstellungen auswirken.

Die beschriebenen Untersuchungen fanden im Wahlpflichtunterricht „Naturwissenschaften“ der Klassen 9 und 10 statt. Es ist jedoch sinnvoll, schon im Anfangsunterricht die Voraussetzungen für das Denken in und mit Modellen zu schaffen und ein entsprechendes Modellbewusstsein zu entwickeln. Das heißt, die Einführung in die Teilchenstruktur der Materie sollte einerseits im Physik- und andererseits im Chemieunterricht nach dem Ansatz eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationen erfolgen. In weiterführenden Studien, die sich dieser Thematik angenommen haben und den Ansatz im Anfangsunterricht erproben, sind erste vielversprechende Ergebnisse zu beobachten (siehe

Mikelskis-Seifert & Leisner, 2003).

Ferner sollte durch eine koordinierte Behandlung der Teilchenmodelle in den Fächern – Physik und Chemie – den immer wieder auftretenden Lernschwierigkeiten entgegen gewirkt werden. Dementsprechend könnten die Schüler in die Lage versetzt werden, von sich aus Zusammenhänge zwischen den verwendeten Modellen zu erkennen und ein angemessenes Modelldenken aufzubauen. Neben der fächerübergreifenden Behandlung von Teilchenmodellen scheint es auch sinnvoll zu sein, einen Unterricht über Modelle als ein durchgängiges Konzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I zu konzipieren. Nicht nur bei der Teilchenstruktur der Materie werden Modelle und damit verbunden Modellierungen benötigt. Erste Ansätze einer Realisierung weiterer Forschungen zu einem Unterricht über Modelle werden von Leisner (Universität Potsdam) im Rahmen ihrer Dissertation bearbeitet.

5. Literatur

- Fischler, H., Peuckert, J. (1999). Abschlussbericht zum DFG-Projekt. Stabilität und Ausprägung der im Physik- und Chemieunterricht der Sekundarstufe I erworbenen Wissensstrukturen im Bereich des Atombegriffs. In <http://www.physik.fu-berlin.de/~ag-fischler/Bericht%20DFG.pdf>
- Mikelskis-Seifert, S. (2002). Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen. Berlin: Logos Verlag
- Mikelskis-Seifert, S., Leisner, A. (2003). Anbahnung eines Modellbewusstseins während einer fächerübergreifenden Projektwoche. DPG-Tagung Augsburg, CD 2003
- Peuckert, J., Fischler, H. (2000). Concept Maps als Diagnose- und Auswertungsinstrument in einer Studie zur Stabilität und Ausprägung von Schülervorstellungen. In Fischler, H. & Peuckert, J. (Hrsg.), Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie. Berlin: Logos Verlag, 91-116

Dr. Helmut Fischler ist Professor für Didaktik der Physik an der Freien Universität Berlin.
Dr. Silke Mikelskis-Seifert ist Juniorprofessorin für Didaktik der Physik am Leibniz-Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) und ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe von Helmut Fischler.

Dr Silke Mikelskis-Seifert
IPN-Kiel
Olshausenstr. 62
24098 Kiel
s.mikelskis@ipn.uni-kiel.de

Prof. Dr. Helmut Fischler
FU Berlin
FB Physik, Didaktik der Physik
Arnimallee 14
14195 Berlin
fischler@physik.fu-berlin.de