

Aufschnaiter, Stefan von; Aufschnaiter, Claudia von; Schoster, Anja
**Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen)
bei der Bearbeitung derselben Physik-Aufgaben**

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 6 (2000), S. 37-57



Quellenangabe/ Reference:

Aufschnaiter, Stefan von; Aufschnaiter, Claudia von; Schoster, Anja: Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physik-Aufgaben - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 6 (2000), S. 37-57 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315554 - DOI: 10.25656/01:31555

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315554>

<https://doi.org/10.25656/01:31555>

in Kooperation mit / in cooperation with:



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

Nutzungsbedingungen

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

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

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

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

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

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der



STEFAN VON AUFSCHNAITER, CLAUDIA VON AUFSCHNAITER UND ANJA SCHOSTER

Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physik-Aufgaben

Zusammenfassung:

Ein Schwerpunkt fachdidaktischer Lernprozeßforschung liegt im Bereich der inhaltsbezogenen Analyse des von Schüler(inne)n entwickelten Wissens (Bedeutungen). Unter den Begriffen 'Konzept', 'Konzeptwechsel' und 'Konzeptentwicklung' wird analysiert, welche Vorstellungen Schüler(innen) haben und wie sich diese im Laufe des Unterrichtes in Richtung wissenschaftlicher Konzepte verändern (sollen). Wir schlagen zusätzlich zu einer inhaltsbezogenen Beschreibung vor, Bedeutungsentwicklungs- und Lernprozesse im Hinblick auf deren zeitliche und komplexitätsabhängige Dynamik zu erfassen. Im vorliegenden Beitrag erläutern wir unseren theoretischen Rahmen und demonstrieren mit empirischen Daten aus einer Laborstudie, welche Ergebnisse sich bezogen auf diesen Rahmen ergeben. Es wird gezeigt, daß die im Verlauf einer je spezifischen Aufgabe benötigte Bearbeitungszeit, die dabei eingeschlagenen Lösungswege und die je individuell entwickelte Komplexität der Bedeutungskonstruktionen miteinander verknüpft sind und sich für unterschiedliche Schüler(innen) deutlich unterscheiden.

Abstract:

One main focus of (physics) educational research lies on the content related description of students' knowledge (meanings). Using terms like 'concept', 'conceptual change', and 'conceptual growth', researchers analyse what (pre-)concepts students have and how these concepts (should) change during instruction. In addition to such positions, we suggest to take time and complexity dependent dynamics for the description of development of meaning and learning into account, too. In this article our theoretical framework is explained. Empirical data from a laboratory study is used to demonstrate what results are achieved with respect to our framework. It will be shown that the time needed for solving a specific task, the way students tackle the task, and the individual level of complexity of meanings developed in this process are interrelated. Furthermore the differences found between individual students are shown.

1. Einleitung

Unter dem Titel „Wissensvermittlung durch Wissensentwicklung“ wurde vor zwei Jahren in dieser Zeitschrift der in Bremen entwickelte theoretische Rahmen zur Untersuchung von Bedeutungsentwicklung und Lernen ausführlich dargestellt (v. Aufschnaiter, S. & Welzel 1997). Dort wurden als eine Voraussetzung für theoriegeleitete Innovationen des naturwissenschaftlichen Unterrichtes empirische Untersuchungen zu spezifischen Themenbereichen mit in diesem Bereich genau definierter Kompliziertheit der Lernangebote gefordert. Über eine solche Untersuchung und deren Ergebnisse soll hier berichtet werden. Es werden im folgenden zunächst das Projekt und die Grundannahmen der Interpretation der erhobenen Daten vorgestellt. Im Anschluß daran werden anhand von Beispielen Ergebnisse

zur Wirkung der Lernumgebung auf die kognitive Entwicklung der Proband(inn)en aufgeführt und diese in einer Zusammenfassung auf unterrichtliche Innovationen bezogen.

2. Die Beschreibung des Projektes

Ein Ziel unserer Untersuchung¹ war es, die Kompliziertheit der Lernumgebung möglichst genau zu kontrollieren. Wir haben uns deshalb für eine Laboruntersuchung entschieden. Besonderer Vorteil einer Laboruntersuchung ist zudem die hohe Reproduzierbarkeit der Lernumgebung für verschiedene Proband(inn)engruppen.

Für die Hauptdatenerhebung haben wir neun Gruppen von jeweils drei Schüler(inne)n des 11. Jahrganges zu je drei getrennten Arbeitssitzungen in einen Raum in der Universität eingeladen. Dort wurden sie mit einer Serie

¹ Das Vorhaben wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert (Förderungsnummer AU 133/1-2).

von insgesamt 51 überwiegend experimentellen Aufgaben aus dem Themengebiet Elektrostatik und den für deren Bearbeitung nötigen Materialien und Geräten konfrontiert. Alle Aufgaben waren auf Karten geschrieben, auf denen auch Platz für das Aufschreiben von Beobachtungen oder Erklärungen vorgegeben war (Beispiele s. Abb. 1-3).

<p>Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?</p> <p>-----</p> <p>-----</p>
<p>Wenn Ihr Hilfe braucht, könnt Ihr den Versuchsleiter nach weiteren Informationen fragen</p>
<p>Diese Karte haben wir nicht bearbeitet, weil</p> <p>-----</p>

Abb. 1: Aufgabenkarte 2.11

<p align="center">Erklärung der Glimmlampe</p> <p>Mit einer Glimmlampe kann man auch unterscheiden, ob ein Gegenstand negativ oder positiv geladen ist. Die Glimmlampe leuchtet immer an der Seite auf, die den negativ geladenen Gegenstand berührt.</p>
<p>Glaubt Ihr, daß Euch diese Information bei der Bearbeitung weiterer Karten helfen könnte?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Wenn ja, warum?</p> <p>-----</p>

Abb. 2: Informationskarte T

<p align="center">Funktionsweise des Elektroskopes</p> <p>Wird die Aufhängung geladen, verteilt sich die Ladung gleichmäßig über alle Metallteile des Elektroskopes, die mit der Aufhängung leitend verbunden sind. Der Zeiger und die Aufhängung sind dadurch gleichnamig geladen, und der Zeiger wird deshalb von der Aufhängung abgestoßen.</p>
<p>Glaubt Ihr, daß Euch diese Information bei der Bearbeitung weiterer Karten helfen könnte?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Wenn ja, warum?</p> <p>-----</p>

Abb. 3: Interventionskarte W

Die Aufgaben wurden den Proband(inn)en in jedem Themenbereich nach zunehmender Kompliziertheit geordnet übergeben. Für die Festlegung der Kompliziertheit jeder Aufgabe wurden in Voruntersuchungen mit unterschiedlich fortgeschrittenen Proband(inn)en die Komplexität der Bedeutungen (des Wissens) erhoben, mit denen diese Aufgabe erfolgreich bearbeitet werden kann und dieses Komplexitätsniveau der Aufgabe als Kompliziertheit zugeschrieben. Die Kompliziertheit einer Aufgabe oder Instruktion benennt also das Komplexitätsniveau, das ein(e) Schüler(in) in dem je spezifischen Inhaltsbereich mit zu diesem Inhaltsbereich situativ erzeugten Bedeutungen erreichen muß, um diese Aufgabe bzw. Instruktion angemessen zu „verstehen“. Erreicht ein(e) Proband(in) dieses Niveau sehr schnell (innerhalb weniger Sekunden), so wird er/sie die Aufgabe als sehr leicht, die Instruktion als bekannt erleben. Bedarf es dagegen mehrerer Minuten angestrengten Bemühens, um die Aufgabe zu lösen oder die Instruktion zu nutzen, so wird der/die Proband(in) die „Lernsituation“ als schwierig erleben, seine/ihre Bemühungen womöglich als nicht mehr erfolgversprechend abbrechen.

Jede Gruppe erhielt für jede Aufgabe nur eine Karte, so daß jede Aufgabe gemeinsam bearbeitet wurde. Es mußte zudem auch eine gemeinsame schriftliche Formulierung des Ergebnisses ausgehandelt werden. Zusätzlich erhielten die Proband(inn)en von der Versuchsleiterin bis zu 34 Karten mit Instruktionen unterschiedlicher Kompliziertheit, die sich inhaltlich jeweils auf die Aktivitäten der Proband(inn)en bezogen. Die zusätzlichen Instruktionen umfaßten Informationskarten mittlerer Kompliziertheit, die von den Proband(inn)en beim Versuchsleiter eingefordert werden konnten (insgesamt vier Karten, für ein Beispiel siehe Abb. 2), Interventionskarten hoher Kompliziertheit (für ein Beispiel siehe Abb. 3) sowie Karten mit hypothetischen Experimenten (niedriger Kompliziertheit), die den Proband(inn)en übergeben wurden, wenn Ihnen das entsprechende Experiment im Rahmen der Lernumgebung nicht gelang (zu weiteren Details bezüglich der Lernumgebung s. Scho-

ster & v. Aufschnaiter, S. 1999). Die Verteilung der Aufgaben und Instruktionen über die behandelten Themenbereiche ist in Tabelle 1 dargestellt. Während der Untersuchung wurden Instruktionen des ersten Themenbereiches auch in anderen Themenbereichen verteilt, wenn diese inhaltlich zu den Diskursen der Lernenden paßten. Die Interaktionen zwischen den Proband(inn)en und der Versuchsleiterin beschränkten sich ausschließlich auf Organisatorisches, insbesondere also auf das Ausgeben und in Empfang nehmen von Karten. Bei der Bearbeitung der Aufgaben und Instruktionen hielten sich die Proband(inn)en fast ausschließlich an die von der Versuchsleiterin vorgegebene Reihenfolge. Sie griffen jedoch gelegentlich auf bereits früher bearbeitete Aufgaben und Instruktionen zurück, die ihnen während der ganzen Untersuchung weiterhin zur Verfügung standen. Die Interaktionsprozesse zwischen den Schüler(inne)n bei der Bearbeitung der Aufgaben und Instruktionen wurden lückenlos videodokumentiert. Darüber hinaus haben wir vor, während und nach der Bearbeitung der Aufgaben unterschiedliche schriftliche und mündliche Befragungen durchgeführt und überwiegend ebenfalls videodokumentiert. Über deren Auswertung haben wir an anderer Stelle bereits berichtet (u.a. v. Aufschnaiter, C. 1999; v. Aufschnaiter, C.; Schoster & v. Aufschnaiter, S. 1999) bzw. werden dies künftig in weiteren Veröffentlichungen tun.

Für die Bearbeitung der Aufgaben und Instruktionen haben die Proband(inn)en insgesamt im Mittel etwa 180 Minuten benötigt. Für die Auswertung standen uns also von neun Gruppen Videoaufzeichnungen von etwa 1620 Minuten zur Verfügung, von denen wir ca. 1200 Minuten transkribiert und ca. 300 Minuten detailliert ausgewertet haben.

3. Theoretischer Rahmen für die Interpretation der Daten

Neben einer konsequenten Unterscheidung von kognitiven Strukturen (dem „Gedächtnis“) und den durch sie erzeugten kognitiven Prozessen (den Bedeutungskonstruktionen, s. u.a. v. Aufschnaiter, S. & Welzel 1997) gehen wir davon aus, daß sich kognitive Prozesse, d.h. das, was sich aus Videoaufzeichnungen rekonstruieren läßt, in drei Dimensionen dynamisch entwickeln. Sie können nicht nur eine inhaltliche Dynamik zeigen, sondern sich zusätzlich bezogen auf die Komplexität der erzeugten Bedeutungen (des inhaltsbezogenen Wissens) und dem zeitlichen Aufwand für die Erzeugung von Bedeutungen dynamisch verändern.

Für die Analyse von Bedeutungsentwicklungs- und Lernprozessen sind demnach drei „Dimensionen“ zu beachten:

- 1) der Inhaltsbereich, den Lernende bedeutungsmäßig entwickeln,
- 2) das Komplexitätsniveau, das bei einzelnen Bedeutungskonstruktionen erreicht wird und
- 3) der zeitliche Aufwand, den ein(e) Lernende(r) benötigt, um dieses Niveau situativ zu erreichen.

zu 1) Die Dimension des Inhaltlichen: Diese Dimension wird im Bereich des naturwissenschaftlichen Unterrichtes überwiegend unter den Begriffen „Unterrichtsgegenstände“ bzw. „Unterrichtsinhalte“ abgehandelt. Gefragt wird dabei, über welches Vorwissen Schüler(innen) verfügen müssen, um sich mit bestimmten inhaltlichen Arrangements angemessen auseinandersetzen zu können und was sie bei dieser Auseinandersetzung hinzulernen

elektrisierbare Gegenstände sowie Anziehung und Abstoßung durch solche Gegenstände	19 Aufgaben / 22 Instruktionen
die Glimmlampe als Nachweisinstrument für unterschiedliche Ladungen	13 Aufgaben / 5 Instruktionen
das Elektroskop als „Meßgerät“ für Ladungen	12 Aufgaben / 4 Instruktionen
Be- und Entladen des Elektroskopes durch Influenz und Erden	7 Aufgaben / 3 Instruktionen

Tab. 1: Themenbereiche des Aufgabenmaterials

können oder sollen. Eine große Zahl von Publikationen in entwicklungsorientierten und praxisnahen Zeitschriften wie beispielsweise der MNU befassen sich mit der Frage einer neuen inhaltlichen Ausgestaltung von Unterrichtsangeboten in der Erwartung, daß solche Angebote „automatisch“ eine höhere Lernwirksamkeit besitzen wie frühere Unterrichtsvorschläge. In zahlreichen grundlagenorientierten Studien wurde in den vergangenen 30 Jahren untersucht, welche inhaltlichen Vorstellungen Schüler(innen) in den Unterricht „mitbringen“ und wie sich diese Vorstellungen durch Unterricht verändern (sollen). (s. u.a. Pfund & Duit 1994).

Entwicklung in der Dimension des Inhaltlichen ist also dadurch charakterisiert, daß Schüler(innen) ihr „verfügbares“ Wissen inhaltlich erweitern².

zu 2) Die Dimension der Komplexität: Es ist unbestritten, daß in jedem Inhaltsbereich Wissen unterschiedlicher Komplexität bzw. unterschiedlicher Abstraktheit erzeugt werden kann und in bestimmten Situationen auch benutzt werden muß. Dabei genießt Wissen hoher Abstraktheit gerade in den Naturwissenschaften und im naturwissenschaftlichen Unterricht besondere Wertschätzung. Bisher wenig untersucht ist jedoch, wie sich Wissen unterschiedlicher Komplexität im selben Inhaltsbereich quantitativ beschreiben läßt, und unter welchen Umständen unterschiedlich fortgeschrittene Lerner Wissen unterschiedlicher Komplexität benutzen. Wir haben uns in den vergangenen 15 Jahren besonders mit dieser Fragestellung befaßt und ausgehend von der Stufentheorie von Piaget (u.a. Piaget 1991) und einem Klassifizierungsschema für mentale Operationen von Powers (1973) ein Modell zur quantitativen Beschreibung der Komplexität je situativ erzeugten Wissens entwickelt und vielfach erprobt (u.a. Fischer 1989; v. Aufschnaiter, S. 1992; v. Aufschnaiter, S. & Welzel 1996, 1997; v. Aufschnaiter, S. 1998; Welzel 1995). Ohne jede Ausnahme haben wir immer dann, wenn für

die Lernenden unbekannte Geräte in den Unterricht eingeführt werden (z.B. eine Glimmlampe) oder bekannte Geräte offensichtlich auf eine unbekannte Weise benutzt werden (Plastikstäbe und Lappen), zunächst Handlungen auf der Ebene der Objekte beobachtet: Die neuen Geräte werden betrachtet, angefaßt oder beschrieben. Dabei wenden sich die Lernenden zunächst eher zufällig auf der Ebene der Fokussierungen einzelnen Merkmalen der Geräte zu (diese Glimmlampe hat eben geblitzt). Erst wenn Merkmale einigermaßen sicher konstruiert werden können, d.h. in einer Gruppe ausgehandelt wurde, welche Merkmale interessant oder für die Lösung der Aufgabe wichtig sein könnten (oder ein einzelner Schüler dies für sich selbst entschieden hat), wird durch Operationen versucht, verschiedene Merkmale eines Objektes mit Merkmalen anderer Objekte in einen systematischen Zusammenhang zu bringen (unterschiedliche Materialien mit einem Ende oder der Mitte der Glimmlampe berühren und untersuchen, was sich dann „tut“). Erst nachdem der Lernende diese Tätigkeit mehrfach selbst ausgeführt bzw. aktiv beobachtet und dabei etwas Regelhaftes selbst festgestellt hat, kann er dieses Regelhafte auch künftig als Eigenschaft konstruieren. Es ist dann ein neues Werkzeug (Schema) für die Konstruktion dieser Eigenschaft entstanden (eine Glimmlampe zeigt durch Aufblitzen, daß Gegenstände zuvor gerieben wurden). Eigenschaften stellen also generalisierte, sozusagen von konkreten Objekten bzw. Situationen abgelöste Merkmale dar, die als neue kognitive Elemente (als Abstrakta) für weitere Bedeutungskonstruktionen benutzt und in Ereignissen mit anderen zuvor auf die gleiche Weise entwickelten Eigenschaften verknüpft werden können (mit Glimmlampen lassen sich Ladungen nachweisen) (für eine ausführliche Darstellung siehe u.a. v. Aufschnaiter, S. & Welzel 1997, 48-51).

Ein Ergebnis unserer Untersuchungen ist somit, daß Vorstellungen nicht nur inhaltlich, sondern auch hinsichtlich der Komplexität

² Wir zählen auch alle inhaltlichen Aspekte sozialer Prozesse („Wissen“ zum Verhalten im sozialen Miteinander) zur Dimension des Inhaltlichen.

beschrieben werden müßten, und daß sich conceptual change zumindest in bestimmten Fällen als Veränderung der Komplexität von Vorstellungen zum selben Inhaltsbereich beschreiben lassen müßte. Einen ähnlichen Ansatz haben diSessa und Sherin vorgestellt, in dem sie „coordination classes“ als eine Art von Konzepten vorschlagen: „A coordination class is a systematic collection of strategies for reading a certain type of information out from the world“ (diSessa & Sherin 1998, 1155).

Entwicklung in der Dimension der Komplexität ist also dadurch charakterisiert, daß Schüler(innen) ihr „verfügbares“ inhaltsbezogenes Wissen komplexitätsmäßig erweitern.

zu 3) Die Dimension des zeitlichen Aufwandes: Wenig explizit diskutiert, aber nach unserem Eindruck ebenfalls wenig strittig ist, daß Wissen zu einem bestimmten Inhaltsbereich mit einer bestimmten Komplexität mit unterschiedlichem zeitlichen Aufwand hervorgebracht werden kann und es in vielen „Lernsituationen“ und besonders in Prüfungssituationen darauf ankommt, diesen zeitlichen Aufwand gering zu halten. Wiederum wenig untersucht ist insbesondere, was ein angemessener Zeitaufwand für die Erzeugung von Wissen in Lehr-Lernsituationen ist und wodurch sich dieser Aufwand verändert. In den vergangenen 5 Jahren haben wir uns zunehmend auch mit dieser Frage beschäftigt und dazu in Anlehnung an Veröffentlichungen von Pöppel und Damasio einen theoretischen Rahmen für Untersuchungen entwickelt. Damasio (u.a. 1997) und Pöppel (u.a. 1997) haben neurobiologisch begründet, weshalb dem kognitiven System für die Erzeugung zusammenhängender Vorstellungsbilder ein Zeitfenster von maximal etwa 3 Sekunden zur Verfügung steht. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen zu einfachen kognitiven Leistungen, die alle mit einem zeitlichen Aufwand von deutlich weniger als 3 Sekunden erbracht werden (u.a. Anderson 1996). Wenn es Schüler(inne)n nicht gelingt, Wissen zu einem bestimmten Inhaltsbereich und mit einer bestimmten

Komplexität innerhalb von 3 Sekunden hervorzubringen (sie diesen „Sachverhalt“ also nicht sicher beherrschen, die Frage nicht „wie aus der Pistole geschossen“ beantworten können), bleibt ihnen nur die Option, das notwendige Wissen in einer Folge von Bedeutungen im Hinblick auf die notwendige inhaltliche Breite und Komplexitätshöhe zu entwickeln. Wir haben für die zeitliche Dynamik solcher Entwicklungsprozesse zwei Zeitfenster häufig empirisch erhoben (u.a. v. Aufschnaiter, C. 1999):

- Etwa 5 Minuten für die Bearbeitung eines Problems oder einer Aufgabe.
- Etwa 30 Sekunden für das Austesten eines möglichen Lösungsweges für die erfolgreiche Bearbeitung dieses Problems bzw. dieser Aufgabe.

Dies bedeutet, daß Schüler(innen) bis zu einer Dauer von etwa 30 Sekunden versuchen, einen einmal eingeschlagenen Lösungsweg zu verfolgen und dabei Wissen inhaltlich und komplexitätsmäßig zu entwickeln. Wenn dies nicht zum Erfolg führt, versuchen sie zum selben Problem einen anderen Lösungsweg, der mit einer inhaltlich und/oder komplexitätsmäßig anderen Bedeutungskonstruktion startet. Gelingt es ihnen nach fünf bis zehn solcher „Anläufe“ nicht, die Aufgabe bzw. das Problem zu lösen, so nehmen sie von weiteren Lösungsversuchen (zunächst) Abstand. Unterschiedlich fortgeschrittene Lerner lassen sich u.a. daran erkennen, mit welchem zeitlichen Aufwand sie ein bestimmtes Problem oder eine bestimmte Aufgabe erfolgreich bearbeiten (s.a. Haller 1999).

Entwicklung in der Dimension des zeitlichen Aufwandes ist also dadurch charakterisiert, daß Schüler(innen) ihr spontan „verfügbares“ inhaltsbezogenes und komplexitätsmäßiges Wissen mit unterschiedlichem zeitlichen Aufwand entwickeln, um dabei Wissen größerer inhaltlicher Breite und/oder höherer Komplexität zu erzeugen.

Wir gehen davon aus, daß Lernen ein Begleitprozeß der unter 1)-3) beschriebenen kognitiven Prozesse ist, mit der Wirkung, daß das kognitive System künftig kognitive Prozesse größerer inhaltlicher Breite und höherer Kom-

plexität mit geringerem zeitlichen Aufwand realisieren kann. Wir erwarten schließlich, daß sich Lernen kleinschrittig und jeweils schwerpunktmäßig an den unterschiedlichen „Baustellen“ dieser dreidimensionalen Dynamik ereignet. Für größere (sichtbare) Lernfortschritte sind ineinandergreifende Zuwächse in den unter 1)-3) beschriebenen Dimensionen unverzichtbar. Für die Analyse von Bedeutungsentwicklungs- und Lernprozessen müssen somit die Dynamiken in allen drei Dimensionen detailliert untersucht werden.

Mit den folgenden Ergebnissen wollen wir vor allem zeigen, in wieweit sich für ausgewählte Aufgaben aus dem Themengebiet Elektrostatik kognitive Prozesse unterschiedlicher Individuen und Aushandlungsprozesse unterschiedlicher Gruppen im Hinblick auf die Komplexität der jeweils erzeugten Bedeutungen sowie den zeitlichen Gesamtaufwand für die Bearbeitung der Aufgaben gleichen, und worin sie sich unterscheiden.

4. Präsentation der Daten

Im folgenden Kapitel soll in vier Schritten gezeigt werden, wie Schüler(innen) bei der Bearbeitung von Aufgaben handeln und welche Bedeutungen sie dabei erzeugen.

- 4.1 Wie bearbeiten Lerner eine Aufgabe mit genau definierter Kompliziertheit in den ersten 30 Sekunden? (Transkriptausschnitte Beispiel 1 und Beispiel 2)
- 4.2 Wie bearbeiten Lerner eine Aufgabe mit genau definierter Kompliziertheit in den letzten 30 Sekunden? (Transkriptausschnitte Beispiel 3 und Beispiel 4)
- 4.3 Wie wird eine Aufgabe von unterschiedlich weit fortgeschrittenen Lernern abgearbeitet, d.h. wie wird die Lösung der Aufgabe von den Lernern in der Zeit zwischen den ersten und den letzten 30 Sekunden entwickelt? Werden von den Lernern Teilaufgaben zur Lösung der Aufgabe entwickelt? Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Kompliziertheit der Aufgabe und der Komplexität während der Bearbeitung der Aufgabe? (12 kurze Transkriptausschnitte zum Beispiel 5)

- 4.4 Wie werden zusätzliche Instruktionen bei der Bearbeitung einer Aufgabe genutzt? Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Kompliziertheit der Instruktion, der Kompliziertheit der Aufgabe und der Komplexität der je aktuellen Schülerhandlungen? (4 kurze Transkriptausschnitte zum Beispiel 6)

In den ersten drei Schritten wird mit Beispielen beschrieben, wie Schüler(innen) bei Bearbeitung einer Aufgabe handeln. Für alle diese Beispiele haben wir die in Abbildung 1 dargestellte Aufgabe zur Glimmlampe ausgewählt. Diese Aufgabe muß für die erfolgreiche Lösung durch die Schüler(innen) auf der Ereignisebene bearbeitet werden: Die Schüler(innen) müssen die Eigenschaft einer Glimmlampe, an unterschiedlichen Stellen leuchten zu können, mit der Eigenschaft von Gegenständen, unterschiedlich geladen zu sein (sein zu können), verknüpfen. Auf beide Eigenschaften wird bereits in früheren Aufgaben der ersten und zweiten Doppelstunden Bezug genommen, so daß die Schüler(innen) zu diesen Eigenschaften Bedeutungen erzeugen konnten.

4.1 Bearbeitung der Aufgabe in den ersten 30 Sekunden

Beispiel 1: Transkriptausschnitt der Bearbeitung der Aufgabe aus Abbildung 1 durch die Schülergruppe Henriette, Allin und Johanna

Johanna: (liest Aufgabenkarte 2.11 vor)
„Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?“

Henriette: Häh?

Johanna: Das leuchtet doch gar nicht.

Henriette: Die haben uns die ganze Zeit erklärt, daß immer nur das zugewandte Ende leuchtet.

Johanna: Also, ... ja eben.

Allin: (liest weiter auf Aufgabenkarte 2.11)
„Wenn Ihr Hilfe braucht, könnt Ihr...“

Henriette: Hilfe! Hilfe!

Johanna, Henriette und Allin hatten in der vorangegangenen Aufgabe die Eigenschaft der Glimmlampe, an beiden Enden glimmen zu können, noch nicht entwickeln können. Sie können somit auch keine Bedeutungen erzeugen, die der Kompliziertheit der Aufgabenkarte (Ereignis, s.o.) entsprechen. Zu Teilen der Aufgabe können jedoch Bedeutungen auf deutlich niedrigeren Ebenen erzeugt werden. Für die Bearbeitung des Satzteil: „... das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet“, müssen Bedeutungen nur auf der Ebene der Operationen erzeugt werden. Dieser Satzteil besitzt dementsprechend die Kompliziertheit „Operationen“. Diese „Teilaufgabe“ war auch schon in vorherigen Aufgaben (implizit) enthalten und wurde dort von einem Teil der insgesamt 27 Schüler(innen) erfolgreich bearbeitet. Bedeutungen auf der Operationsebene im Hinblick auf das Leuchten der Glimmlampe an einem Ende sind von den Schülerinnen Henriette, Allin und Johanna schon wiederholt entwickelt worden; alle drei Schülerinnen konnten jedoch das Leuchten der Glimmlampe an dem anderen Ende bisher nicht beobachten, d.h. hinsichtlich dieser Eigenschaft der Glimmlampe auch keine Bedeutungen erzeugen. Deshalb nehmen sie das auf der Aufgabenkarte (Abb. 1) formulierte Hilfeangebot sofort in Anspruch, vermutlich in der Hoffnung, auf der Informationskarte (Abb. 2) Unterstützung zur „Entdeckung“ des noch unbekanntes (aber vermuteten) Merkmals des „Leuchtens auf der anderen Seiten der Glimmlampe“ zu erhalten.

Beispiel 2: Transkriptausschnitt der Bearbeitung der Aufgabe aus Abbildung 1 durch die Schülergruppe Malte, Tom und Jonas

Malte: (nimmt Aufgabenkarte 2.11 und liest vor) Hm. „Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?“

Tom: Haben wir, ... jetzt machen wir uns darüber Gedanken, ja?

Malte: Ja, jetzt machen wir's theoretisch. Also, Jonas! Also, Vorschlag!

Tom: Je nach Ladung.

Jonas: Wie war denn die Frage?

Malte: Also: „Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?“

Jonas: Ja, das äh, vielleicht hat das ja etwas mit einer unterschiedlichen Ladung zu tun?

Tom: Ja, würde ich auch sagen.

Jonas: Also, ich mein irgendwie ...

Malte: Mit der Struktur, ... also die Ionen die sich dann anders anordnen.

Jonas: Vielleicht ist das eine ganz einfach 'ne positive und das andere 'ne negative...

Tom: Je nach Ladung glimmt das ...

Jonas: ... obere oder das untere Ende.

Malte: Oben oder unten.

Im Gegensatz zu Henriette, Johann und Allin wenden sich Malte, Tom und Jonas sofort der Eigenschaft „Ladung“ zu und verknüpfen diese Eigenschaft nach wenigen Schritten mit der Eigenschaft der Glimmlampe „an beiden Enden leuchten zu können“ in Form eines Ereignisses: „je nach Ladung glimmt das ... obere oder das untere Ende“. Malte, Tom und Jonas hatten in den vorangegangenen Aufgaben wiederholt Bedeutungen auf der Eigenschaftsebene (Ladung, an beiden Enden leuchten zu können) entwickelt und sind deshalb jetzt in der Lage, diese Eigenschaften sehr schnell wieder zu erzeugen. Die drei Schüler sind bereits so sicher in der Erzeugung dieser Eigenschaften, daß ihnen auch die Verknüpfung beider Eigenschaften spontan gelingt.

Die Analyse der 9 Schülergruppen (27 Schüler(innen)) hat ergeben, daß (in den ersten 30 Sekunden)

- 1 Schüler sich nicht an der Bearbeitung der Aufgabe und der Instruktion beteiligt.
- 11 der Schüler(innen) die Bearbeitung dieser Aufgabe auf der Komplexitätsebene Fokussierungen beginnen (sie erörtern zunächst einzelne Aspekte der Gegenstände bzw. der Situation), und
- 5 der Schüler(innen) auf der Komplexitätsebene Operationen starten (sie führen noch einmal ein konkretes Experiment durch bzw. diskutieren über bisherige Experimen-

te, ähnlich wie die Schülerinnengruppe Allin, Henriette und Johanna in Beispiel 1). Diese sechzehn der von uns untersuchten Schüler(innen) sind zwar nicht in der Lage, die zu bearbeitende Aufgabe auf der zu dieser Aufgabe gehörenden Kompliziertheitsebene in den ersten 30 Sekunden zu bearbeiten, sie können jedoch zu Satzteilen (mit deutlich niedrigerer Kompliziertheit) Bedeutungen erzeugen und bleiben deshalb handlungsfähig.

• Zehn der Schüler(innen) können in den ersten 30 Sekunden schon bis zur Komplexitätsebene Eigenschaften Bedeutungen entwickeln (sie diskutieren über einzelne Eigenschaften der Glimmlampe) und z.T., ähnlich wie die Schülergruppe Malte, Tom und Jonas in Beispiel 2, bereits „hypothetisch“ zwei Eigenschaften verknüpfen.

Auswertungen zu dieser und einer Reihe weiterer Aufgaben führen zu dem Ergebnis, daß sich die Komplexität der Bedeutungen (und deren inhaltlicher Bezug), die Schüler(innen) hinsichtlich der Bearbeitung einer Aufgabe situativ (und spontan) als erstes entwickeln, z.T. deutlich unterscheidet. Es läßt sich somit feststellen, daß in der von uns bereitgestellten Lernumgebung bereits in den ersten 30 Sekunden die Lernenden in Abhängigkeit von ihren bisherigen Erfahrungen sehr unterschiedlich agieren.

Fazit: Eine Aufgabe mit genau definierter Kompliziertheit wird in den ersten (ca.) 30 Sekunden von unterschiedlichen Lernern auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen bearbeitet.

4.2 Bearbeitung und Erleben der Aufgabe in den letzten 30 Sekunden

Beispiel 3: Transkriptausschnitt der Bearbeitung der Aufgabe aus Abbildung 1 und der Informationskarte durch die Schülergruppe Henriette, Allin und Johanna:

Allin: (beginnt Antwort auf Aufgabenkarte 2.11 zu schreiben) Also, wenn ...

Henriette: Daran erkennt man, ob der Gegenstand positiv oder negativ geladen ist.

Johanna: Wir haben die ganze Zeit falsch geguckt.

Henriette: Ich glaub', wir haben das voll manipuliert, unsere Ergebnisse.

Johanna: {unverständlich}

Henriette: Ja, ich glaub' echt, weil wir das immer so sehen wollten. (nimmt Aufgabenkarte 2.11 von Allin) Warte. Ich schreib' mal eben kurz noch hin, daß wir den Infozettel hatten. Okay? Ähm ...

Allin: Kannste einfach sagen 'ja'.

Henriette: (schreibt auf Aufgabenkarte 2.11) Wir konnten es nach Infozettel beantworten. O.k.

Henriette, Allin und Johanna benötigen insgesamt fast 7 Minuten, um die Aufgabenkarte der Abbildung 1 und die eingeforderte Informationskarte (Abb. 2) erfolgreich zu bearbeiten. Die drei Schülerinnen erleben vor allem als Erfolg, daß es ihnen gelungen ist, die neue Eigenschaft (eine Glimmlampe leuchtet an unterschiedlichen Seiten) entwickelt zu haben. Zusätzlich ist es ihnen während der Bearbeitung gelungen, die Verknüpfung dieser Eigenschaft der Glimmlampe mit dem Ladungszustand von Gegenständen herzustellen. Die Bedeutungsentwicklung dieser Schülerinnen endet dennoch auf der Eigenschaftsebene.

Beispiel 4: Transkriptausschnitt der Bearbeitung der Aufgabe aus Abbildung 1 und der Informationskarte aus Abbildung 2 durch die Schülergruppe Malte, Tom und Jonas:

Malte: (liest auf der Informationskarte) „Glaubt ihr, daß euch diese Information bei der Bearbeitung weiterer Karten weiterhelfen könnte?“

Tom: Ja, weil sie eine Bestätigung unserer ...

Jonas: ... Vermutung ...

Tom: ... Vermutungen ist.

Malte: Nee, weil sie eine Formulierung unserer Vermutungen ist.

Jonas: Und eine Bestätigung.

Tom: Eine Bestätigung und Formulierung unserer Vermutung ist. Und auf einem Auge blind, aber der Erfolg gibt uns recht.

Malte, Tom und Jonas benötigen für die erfolgreiche Bearbeitung der Aufgabenkarte der Abbildung 1 und der Informationskarte (Abb. 2) ca. 3 1/2 Minuten. Die drei Schüler hatten schon vor dem Einfordern der Informationskarte eine Vermutung über die Verknüpfung der beiden Eigenschaften hergestellt und wurden dadurch angeregt, Gedankenexperimente zu dieser Vermutung zu diskutieren. Sie erleben dann die eingeforderte Informationskarte primär als Bestätigung ihrer Vermutungen und weniger als Anstoß für weitere Bedeutungsentwicklungen.

Die beiden hier betrachteten Schülergruppen benötigen unterschiedlich viel Zeit für die Bearbeitung der beiden Karten aus Abbildung 1 und 2, erreichen beide schon während der Bearbeitung das notwendige Komplexitätsniveau Ereignis, erleben aber Unterschiedliches als „eigentlichen“ Erfolg.

In den folgenden Tabellen 2 und 3 ist dargestellt, wieviel Zeit die Gruppen für die Bear-

beitung der beiden Karten benötigen und welches Komplexitätsniveau die Schüler(innen) während der Bearbeitung und am Ende der Aufgabe erreichen.

Man kann aus Tabelle 3 entnehmen, daß insgesamt 16 Proband(inn)en weder während noch am Ende der Bearbeitung der Aufgabe (und Information) das erforderliche Komplexitätsniveau (Ereignis) erreichen. Sie beenden die Bearbeitung der Aufgabe und Informationskarte entweder unzufrieden (was für 2 Schüler(innen) der Fall ist), oder sie sind mit der erfolgreichen Bearbeitung einer Teilaufgabe geringer Kompliziertheit zufrieden (was für 14 Schüler(innen) der Fall ist). Es ist zudem auffällig, daß in den letzten 30 Sekunden der Bearbeitung der Aufgabe, überwiegend wird hier von (einzelnen) Schüler(inne)n die Antwort schriftlich fixiert, nur noch zwei Schüler(innen) die Komplexitätsebene der Ereignisse erreichen. Alle anderen Schüler(innen) erzeugen Bedeutungen auf niedri-

max. erreichte Komplexität	Fokussierungen ⁺	Operationen ⁺	Eigenschaften ⁺	Ereignisse ⁺
in den ersten 30 s [*]	11	5	8	2
während der gesamten Bearbeitungszeit (0-2 min, 3 Gruppen) [*]	-	-	7	1
während der gesamten Bearbeitungszeit (2-5 min, 5 Gruppen)	-	-	9	6
während der gesamten Bearbeitungszeit (5-8 min, 1 Gruppe)	-	-	-	3
in den letzten 30 s ^{**}	5	4	11	2

Tab. 2: Erreichte Komplexitätsniveaus in den ersten 30 s, während der gesamten benötigten Bearbeitungszeit und während der letzten 30 s (Aufgabe 2.11 und Informationskarte T)

⁺: Angaben in Anzahl der Schüler(innen) je Ebene

^{*}: Ein Schüler fehlt, da er sich nicht an der Aufgabe beteiligt

^{**}: Insgesamt 5 Schüler(innen) fehlen, da sie sich in diesem Zeitfenster nicht an der Aufgabe beteiligen

höchste erreichte Komplexitätsebene innerhalb der ersten 30 s bei der Bearbeitung der Aufgabe	<i>Fokussierungen</i> 11 Schüler(innen)	<i>Operationen</i> 5 Schüler(innen)	<i>Eigenschaften</i> 8 Schüler(innen)	<i>Ereignisse</i> 2 Schüler
höchste erreichte Komplexitätsebene während der Bearbeitung der Aufgabe	<i>Fokussierungen</i> -			
	<i>Operationen</i> -	<i>Operationen</i> -		
	<i>Eigenschaften</i> 9 Schüler(innen)	<i>Eigenschaften</i> 2 Schüler(innen)	<i>Eigenschaften</i> 5 Schüler(innen)	
	<i>Ereignisse</i> 2 Schüler(innen)	<i>Ereignisse</i> 3 Schüler(innen)	<i>Ereignisse</i> 3 Schüler(innen)	<i>Ereignisse</i> 2 Schüler

Tab. 3: Komplexitätsentwicklung in Abhängigkeit von der in den ersten 30 Sekunden erreichten Komplexität

geren Komplexitätsebenen, auch dann, wenn sie zuvor erfolgreich Ereignisse entwickelt haben. Wir haben die Hypothese, daß die schriftliche Fixierung der im Diskurs entwickelten Ergebnisse zu einer Verringerung der Komplexität der entwickelten Bedeutungen führt. Wir gehen davon aus, daß das Aufschreiben der Ergebnisse für die Schüler(innen) den Kontext zusätzlich verkompliziert. Wir wollen diese Hypothese und mögliche Ursachen für eine zusätzliche Kompliziertheit in weiteren Analysen mit den vorhandenen Daten kritisch prüfen und werden darüber in einer späteren Publikation berichten.

Für die übrigen 50 Aufgaben unserer Untersuchung haben wir zwar je aufgabenspezifisch unterschiedliche mittlere Bearbeitungsauern, aber eine einheitliche Dynamik der Bedeutungsentwicklungen in den ersten bzw. letzten 30 Sekunden sowie ähnliche Verteilungen der Bearbeitungsdauer der einzelnen Gruppen gefunden. Dies gilt insbesondere bei den komplizierten Aufgaben am Ende jedes Themenbereiches, die ähnliche Unterschiede bezüglich des erreichten Komplexitätsniveaus (bezogen auf die Kompliziertheit der Aufgabe) wie im hier vorgestellten Beispiel zeigen. Wir konnten somit feststellen, daß auch am Ende der Bearbeitung einer Aufgabe die Lernenden (deutliche) Differenzen im Hinblick auf die Komplexität der von ihnen entwickelten Bedeutungen zeigen.

Fazit: Eine Aufgabe mit genau definierter Kompliziertheit wird (in den letzten 30 Sekunden) von unterschiedlichen Lernern auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen bearbeitet.

4.3 Bearbeitung der Aufgabe zwischen den ersten und letzten 30 Sekunden

Bereits unter 4.2 haben wir dargestellt, wie sich die Komplexität je individueller Bedeutungen und die Bearbeitungsdauer bezogen auf die hier vorgestellte Aufgabe zwischen den ersten und letzten 30 Sekunden entwickeln (siehe Tab. 2). Der unterschiedliche Zeitaufwand und das während der Bearbeitung bzw. am Ende erreichte Komplexitätsniveau ist u.a. dadurch bedingt, daß die Pro-

band(inn)en bei ihren Bedeutungsentwicklungen auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus gestartet sind und unterschiedlich viele Zwischenschritte zunehmender Komplexität benötigen. Häufig wird dabei die ursprüngliche Aufgabe in mehrere Teilaufgaben „zerlegt“, die nacheinander bearbeitet werden. Dies soll im folgenden anhand von einem Beispiel erläutert werden.

Auch in diesem Abschnitt beziehen wir uns wieder auf die Karten aus den Abbildungen 1 und 2. Zu diesen Karten lassen sich fünf Teilaufgaben rekonstruieren, zu denen die Proband(inn)en auch zusätzliche Teilaufgaben individuell erzeugen können:

- 1-1: Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet? (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Ereignis)
- 1-2: Wenn Ihr Hilfe braucht, könnt Ihr den Versuchsleiter nach weiteren Informationen fragen. (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Fokussierung)
- 2-1: Mit einer Glimmlampe kann man auch unterscheiden, ob ein Gegenstand negativ oder positiv geladen ist. (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Eigenschaft)
- 2-2: Die Glimmlampe leuchtet immer an der Seite auf, die den negativ geladenen Gegenstand berührt. (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Ereignis)
- 2-3: Glaubt Ihr, daß Euch diese Information bei der Bearbeitung weiterer Karten helfen könnte? (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Ereignis)

Beispiel 5 (Transkripte I-XII): Teilaufgaben von Henriette bei der Bearbeitung beider Karten:

I. Henriettes Bearbeitung der Teilaufgabe 1-1
 ‘Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?’ (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Ereignis)

Transkript:

Jobanna: (liest Aufgabenkarte 2.11 vor) „Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?“

Henriette: *Häh?*

Johanna: *Das leuchtet doch gar nicht.*

Henriette: *Die haben uns die ganze Zeit erklärt, daß immer nur das zugewandte Ende leuchtet.*

Johanna: *Also, ... ja eben.*

Henriette konnte bislang die Eigenschaft der Glimmlampe, an beiden Enden glimmen zu können, noch nicht entwickeln. Sie konnte jedoch die Eigenschaft der Glimmlampe, am zugewandten Ende leuchten zu können und Eigenschaften zu den Ladungsarten erzeugen. Die Bedeutungsentwicklung zu der auf der Aufgabenkarte formulierten Frage endet dementsprechend auf der Eigenschaftsebene. Henriette benötigt zunächst eine Aufgabe, die es ihr ermöglicht, durch Operationen die Eigenschaft 'eine Glimmlampe kann am anderen Ende leuchten' zu entwickeln. Deshalb nimmt sie das auf der Karte formulierte Hilfeangebot sofort in Anspruch, vermutlich in der Hoffnung, dort Unterstützung zur „Entdeckung“ des noch unbekanntes (aber vermuteten) Merkmales des 'Leuchtens auf der anderen Seiten der Glimmlampe' zu erhalten. Diese Sequenz wird deshalb von Henriette als zufriedenstellend erlebt.

II. Henriettes Bearbeitung der Teilaufgabe 1-2

Anforderung einer Hilfskarte. (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Fokussierung)

Transkript:

Allin: *(liest weiter auf Aufgabenkarte 2.11)*
„Wenn Ihr Hilfe braucht, könnt Ihr ...“ *Ja, brauchen wir!*

Henriette: *Hilfe! Hilfe!*

Allin liest auf der Aufgabenkarte weiter. Sie liest vor, daß die Schüler bei dieser Aufgabe eine Informationskarte anfordern dürfen. Henriette daraufhin: „Hilfe! Hilfe!“ (Fokussierungsebene). Sie sieht hier vermutlich eine Gelegenheit, Hinweise zu bekommen, um eine der Situation angemessene Teilaufgabe zu formulieren. Die Bedeutungsentwicklung wird für sie als zufriedenstellend abgeschlossen.

III. Henriettes Bearbeitung der Teilaufgabe 2-1

'Erklärung der Glimmlampe: Mit einer Glimmlampe kann man auch unterscheiden, ob ein Gegenstand negativ oder positiv geladen ist.' (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Eigenschaft)

Transkript:

Henriette: *(liest von Informationskarte T vor)*
„Erklärung der Glimmlampe. Mit einer Glimmlampe kann man auch unterscheiden, ob ein Gegenstand negativ oder positiv geladen ist.“
Echt?

Henriette liest den ersten Satz auf der Informationskarte und kommentiert diesen anschließend: „Echt?“ (Eigenschaftsebene). Da sie bereits Eigenschaften zu den Ladungsarten wiederholt entwickelt hat, d.h. ihr die Begriffe positive bzw. negative Ladung eines Gegenstandes „geläufig“ sind und sie ebenfalls Bedeutungen zur Glimmlampe als „physikalisches Instrument“ konstruieren kann, gelingt es ihr nun sofort, eine Bedeutung auf der Eigenschaftsebene zum ersten Satz der Informationskarte zu entwickeln.

IV. Henriettes Bearbeitung der Teilaufgabe 2-2

'Die Glimmlampe leuchtet immer an der Seite auf, die den negativ geladenen Gegenstand berührt.' (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Ereignis)

Transkript:

Henriette: *(liest Informationskarte T vor)* *„Die Glimmlampe leuchtet immer ...*

Johanna: *Ach so, ja klar.*

Henriette: *... an der Seite auf, die den negativ geladenen Gegenstand berührt.“* *Hoh!*

Johanna: *Ja klar, da sind ja die Elektronen.*

Henriette: *Wußt' ich gar nicht. (schaut auf die Karte, wiederholt leise) „...?.. den negativ geladenen Gegenstand ... berührt.“*

Johanna: *Ja klar, weil da, weil da ...?.. Elektronen sind, ne?*

Allin: *...?..*

Johanna: *Kann das sein?*

Henriette: *Negativ geladen ...*

Johanna: *Und die leiten, leiten, oder?*

Henriette: *Ähm ...*

Henriette liest nun den zweiten Satz. Da sie bislang noch keine Erfahrung im Hinblick auf das Leuchten der Glimmlampe an unterschiedlichen Enden entwickelt hat, ist Henriette nicht in der Lage, zu diesem Satz eine Bedeutung zu konstruieren. Sie handelt also auf der Komplexitätsebene der Fokussierungen. Ihre Bedeutungsentwicklung bricht ab.

Da die Informationskarte keine weiteren Hinweise liefert, muß sie nun versuchen, geeignete Teilaufgaben für sich zu formulieren, um weiterhin handlungsfähig zu bleiben und versuchen, durch die Bearbeitung geeigneter Teilaufgaben Bedeutungen zu den Satzteilen der Informationskarte zu erzeugen.

V. Henriettes Formulierung einer eigenen Teilaufgabe 2-2/1 zur vorgegebenen Teilaufgabe 2-2

Wann ist ein Gegenstand positiv bzw. negativ geladen? (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Eigenschaft)

Transkript:

Allin: Die negativ geladen ... geladen. Elektronen ... Überschub, nein, warte. Mangel. Oder? ... Überschub ...

Henriette: (sucht im Stapel der Interventionskarten)

Johanna: Wenn das Überschub ist, dann ...

Allin: Überschub ist positiv geladen.

Johanna: Ja.

Henriette: (liest Interventionskarte G vor) „Ein Gegenstand ist positiv geladen, wenn ... positive La ...“ (grinst) Peinlich, bei der Karte haben wir hingeschrieben 'das wußten wir schon'.

Allin: Ja, nicht. (grinst)

Henriette: Jetzt wissen wir's nicht mehr. (liest noch einmal) Ähm. „Ein Gegenstand ist positiv geladen, wenn positive Ladungen in der Überzahl sind. Bei einem positiv geladenen Gegenstand herrscht Elektronenmangel.“

Allin: Ja.

Henriette: Ach ja, stimmt! Das wissen wir ja. Nur vergessen gehabt. (legt Karte beiseite)

Nach einigen Zwischenschritten gelingt es Henriette, zu einem Teil des zweiten Satzes eine Bedeutung zu erzeugen. Angeregt durch eine Vermutung von Allin zu Elektronenüberschub und Elektronenmangel, erinnert sie sich, daß diese Worte bereits in einer Intervention benutzt wurden. Henriette sucht deshalb in den bereits erhaltenen Karten nach der entsprechenden Intervention, liest diese nochmals durch und erzeugt erneut eine Bedeutung dazu, wann ein Gegenstand posi-

tiv bzw. negativ geladen ist. Sie handelt dabei auf der Komplexitätsebene der Eigenschaften, kann diese Bedeutungen jedoch für die Bearbeitung der Teilaufgaben 2-1 und 2-2 nicht nutzen.

VI. Henriettes Formulierung einer weiteren eigenen Teilaufgabe 2-2/2 zur vorgegebenen Teilaufgabe 2-2

Sind die bislang durchgeführten Versuche richtig durchgeführt worden? (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Operation)

Transkript:

Johanna: (liest Aufgabenkarte 2.11 vor) „Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende ...“

Henriette: Laß uns mal kurz erklären.

Johanna: ... der Lampe leuchtet.“ Ja das, hier steht es doch, daß ... ähm ...

Henriette: (spricht leise) Wenn da die Elektronen noch ... negativ ... Stimmt! Oh, dann ham wir die ganzen Versuche falsch gemacht. (schaut auf Informationskarte T)

Allin: Warte!

Henriette: Ja, weil wir das nicht wußten.

Initiiert durch eine Frage ihrer Mitschülerin Johanna, denkt Henriette darüber nach, ob sie die bislang durchgeführten Versuche richtig durchgeführt hätten. Sie kommt dabei zu dem Schluß, daß sie die Versuche nicht richtig durchgeführt haben, da die Glimmlampe ja angeblich an beiden Enden leuchten kann und sie das nicht wußten (Operationsebene).

VII. Henriettes Formulierung einer weiteren eigenen Teilaufgabe 2-2/3 zur vorgegebenen Teilaufgabe 2-2

Warum hat immer nur die eine Seite geleuchtet? (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Ereignis)

Transkript:

Johanna: Aber bei uns hat die andere Seite gar nicht geleuchtet.

Henriette: (schreibt auf Informationskarte T) Was?

Johanna: Wir haben, die ändern ... äh, die andere Seite hat doch gar nicht geleuchtet.

Henriette: Vielleicht hatten wir ja immer nur negativ geladene Gegenstände.

Jobanna: *Wahrscheinlich. (legt Informationskarte T auf den Kartenstapel)*

Henriette: *Oder ... wir haben das irgendwie uns immer falsch angeguckt.*

Jobanna: *Das glaube ich nicht. Das hat wirklich immer nur auf der einen Seite ...*

Henriette äußert anschließend, wieder ange-regt durch eine Bemerkung von Jobanna, daß die eine Seite der Glimmlampe nur geleuchtet hat, weil sie bisher nur negativ geladene Gegenstände untersucht hätten. Henriette verknüpft an dieser Stelle die Eigenschaft der Glimmlampe, am zugewandten Ende leuchten zu können, mit der Eigenschaft von Gegenständen, eine bestimmte Ladung zu besitzen. Sie handelt also auf der Ereignisebene.

VIII. Henriettes Formulierung einer weiteren eigenen Teilaufgabe 2-2/4 zur vorgegebenen Teilaufgabe 2-2

Ich möchte erneut einen Versuch durchführen. (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Operation)

Transkript:

Henriette: *O.k. Wir probieren das jetzt noch mal, ja? (nimmt Metallplatte mit Stil und PVC-Folie in die Hand) Also, wenn ich jetzt zum Beispiel dieses hier so zusammen reibe, dann muß ja eins positiv geladen sein und eins negativ geladen.*

Jobanna: *Stimmt.*

Henriettes Vermutung, daß sie nur negativ geladene Gegenstände untersucht haben könnten, führt zur Entwicklung einer weiteren neuen Teilaufgabe. Sie überlegt, daß sie nun erneut einen Versuch durchführen müßte, um auch die Glimmlampe am anderen Ende zum Leuchten zu bringen. Sie schlägt deshalb vor, eine Folie an einer Metallplatte zu reiben, denn dann würde einer der beiden Gegenstände positiv und der andere negativ geladen sein. Das müßte dann zur Folge haben, daß die Glimmlampe auf jeden Fall einmal am anderen Ende leuchten müßte. Bei der Überlegung des konkreten Experimentes handelt Henriette auf der Operationsebene.

IX. Henriettes Formulierung einer weiteren eigenen Teilaufgabe 2-2/5 zur vorgegebenen Teilaufgabe 2-2

Wie ist der Gegenstand geladen? (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Operation)

Transkript:

Henriette: *(reibt Metallplatte und PVC-Folie aneinander) Jetzt müssen wir mal gucken, welches wo leuchtet. (legt die Folie auf den Tisch und reibt die Metallplatte auf der Folie, hält anschließend Metallfläche zu Allin hin)*

Allin: *(hält die Glimmlampe an die Platte)*

Henriette: *Wo?*

Allin: *Wow! Hier.*

Henriette: *Hinten?*

Allin: *Ja.*

Henriette: *Echt?!*

Jobanna: *Nein, vorne, das war vorne.*

Allin: *Hinten.*

Jobanna: *Noch mal.*

Henriette: *(reibt mit der Metallplatte über die PVC-Folie auf dem Tisch und hält anschließend die Platte Allin hin)*

Jobanna: *Aber woher sollen wir denn wissen ...*

Allin: *(hält Glimmlampe an die Platte)*

Jobanna: *... welche Seite positiv ist.*

Allin: *Siebste!*

Jobanna: *Ja, stimmt.*

Henriette: *Wo?*

Allin: *Hinten.*

Jobanna: *So kurz hinter der Mitte.*

Allin: *Nein.*

Henriette: *Also ist das hier (deutet auf die Metallplatte) positiv geladen.*

Allin: *Nein! Negativ.*

Jobanna: *Positiv.*

Henriette: *Positiv.*

Allin: *Nein, negativ, positiv, negativ. (deutet dabei auf die Platte, auf das vordere und anschließend auf das hintere Ende der Glimmlampe)*

Henriette: *Nein, nein, so geht das nicht, sondern eben ...*

Allin: *Positiv gegen positiv geht doch überhaupt nicht.*

Jobanna: *Nein.*

Henriette: *Nein. Eben haben wir doch erklärt gekriegt, daß die Seite, die dem Gegenstand zugewandt ist ... (hält dabei die Metallplatte hoch)*

Jobanna: *(hält die Glimmlampe an die Metallplatte)*

- Henriette: Wenn die aufleuchtet, dann ist es negativ.
- Johanna: Ja.
- Henriette: Haben wir doch eben gelesen.
- Allin: Hä?
- Henriettes Vorschlag zum weiteren Vorgehen führt zur nächsten Teilaufgabe. Die Gruppe versucht, das Leuchten der Glimmlampe an der abgewandten Seite der Glimmlampe zu entdecken. Ihnen gelingt dies, nachdem sie das entsprechende Experiment zweimal durchgeführt haben (Operationsebene). Während Henriette und Johanna vermuten, daß die Metallplatte positiv geladen ist, nimmt Allin an, daß die Platte eine negative Ladung trägt (Operationsebene). Die Bedeutungsentwicklung wird dann aufgrund der Meinungsverschiedenheiten abgebrochen.
- X. Henriettes erneute Bearbeitung der Teilaufgabe 2-2
- ‘Die Glimmlampe leuchtet immer an der Seite auf, die den negativ geladenen Gegenstand berührt.’ (Kompliziertheit der Teilaufgabe: Ereignis)
- Transkript:
- Johanna: (nimmt die Informationskarte T in die Hand)
- Henriette: Ja, da.
- Johanna: (liest vor) „Mit einer Glimmlampe kann man auch unterscheiden, ob ein Gegenstand negativ oder positiv geladen ist. Die Glimmlampe leuchtet immer an der Seite auf, die den negativ geladenen ...“ Äh ja.
- Allin: Ja, auf der positiven Seite.
- Henriette: Nein, warte. (schaut mit in die Karte)
- Johanna: (liest vor) „Negativ geladenen ...“
- Allin: Negativ geladenen Gegenstand. Der Gegenstand ist ja negativ geladen.
- Henriette: (liest vor) „Die Glimmlampe leuchtet immer an der Seite auf, die den negativ ...“
- Allin: Ja.
- Henriette: ... geladenen Gegenstand berührt.“
- Allin: Ja. Der ...
- Johanna: Aber wird der da nicht übergeleitet?
- Henriette: Häh? Warte! (liest noch mal) „Die Glimmlampe leuchtet immer an der Seite auf, die den negativ geladenen Gegenstand berührt.“
- Johanna: Dann müßte das Ding doch die negative Ladung messen. (zeigt auf die Glimmlampe) Da sind ja keine positiven Ionen dran, die das anziehen.
- Allin: Also, die eine Seite ist positiv geladen und die andere Seite negativ. (zeigt auf die Seiten der Glimmlampe)
- Johanna: Aber doch nicht da, oder? (nimmt Allin die Glimmlampe aus der Hand und schaut sie an)
- Allin: Doch.
- Johanna: Ja, stimmt.
- Henriette: Häh, was? (hört auf zu lesen und legt die Informationskarte T auf den Kartenstapel)
- Johanna: Wir überlegen gerade, ob, ja klar ... Neon ist doch auch aus positiven Elektronen bestehen, denk ich mir so.
- Henriette: Nö, das ist einfach nur ein Leiter.
- Johanna: Ja, aber ... wir wissen jetzt immer noch nicht, ob das jetzt positiv ist oder negativ ...?..
- Henriette: Also ich habe das so verstanden. Der Gegenstand ...
- Allin: Also wenn der Gegenstand negativ geladen ist dann leuchtet die dem Gegenstand äh ...
- Johanna: ... abgewandte ...
- Henriette: ... zugewandte ...
- Allin: ... zugewandte, zugewandte Seite.
- Henriette: Ja, und wenn, da kann man rückschließen, wenn dann die andere Seite leuchtet ... (zeigt auf eine Seite der Glimmlampe in ihrer Hand) ... positiv.
- Allin: {gleichzeitig} ... dann ist der Gegenstand positiv geladen. (nimmt die Metallplatte in die Hand und spielt damit)
- Henriette: Genau, dann ist der ja positiv, sag ich ja. (zeigt dabei auf die Metallplatte)
- Johanna: Ja.
- Auf Grund der entstandenen Meinungsverschiedenheiten schlägt Henriette vor, noch einmal die Informationskarte zu lesen und zu versuchen, diese „Information“ in Beziehung zum durchgeführten Versuch zu setzen. Die Schülerinnen wenden sich also wieder der vor-

gegebenen Teilaufgabe 2-2 zu. Henriette entwickelt dann die Bedeutung, daß der Gegenstand negativ geladen ist, wenn die zugewandte Seite der Glimmlampe leuchtet. Es gelingt ihr anschließend sofort, das Leuchten auf der abgewandten Seite mit einer positiven Ladung zu verknüpfen (Ereignisebene).

XI. Henriettes Formulierung einer weiteren eigenen Teilaufgabe 2-2/6 zur vorgegebenen Teilaufgabe 2-2

Ich möchte prüfen, ob die Glimmlampe beim Berühren der Folie an der zugewandten Seite leuchtet. (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Operation)
Transkript:

Henriette: *Und dann muß der jetzt negativ sein. Das muß ich jetzt noch mal kurz testen.*

Johanna: *Ja.*

Henriette: *(nimmt Allin die Metallplatte aus der Hand und reibt sie auf der Folie)*

Johanna: *Ja. Der müßte negativ sein.*

Henriette: *(hört auf zu reiben und hält die Folie hoch)*

Allin: *(hält die Glimmlampe an die Folie)*

Allin: *Ja.*

Henriette: *Echt?*

Johanna: *Ja.*

Henriette: *Ich hab' nichts gesehen. (wiederholt das Reiben, hält die Folie hoch)*

Allin: *hält die Glimmlampe an die Folie)*

Henriette: *Ja!*

Johanna: *Ja.*

Henriette: *Cool! Ja, jetzt sind wir um eine Erfahrung reicher!*

Mit einem weiteren Versuch möchte Henriette ihre Bedeutungsentwicklung überprüfen (Operationsebene). Dieser Versuch führt bei der wiederholten Durchführung zu der von Henriette erwarteten Beobachtung. Sie kann sich nun der abschließenden Beantwortung der Aufgabe zuwenden.

XII. Henriettes erneute Bearbeitung der Teilaufgabe 1-1

'Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?' (Kompliziertheit dieser Teilaufgabe: Ereignis)

Transkript:

Allin: *(nimmt einen Stift in die Hand und schaut auf die Aufgabenkarte 2.11)*

Henriette: *Mmb. (liest vor) „Was bedeutet es, wenn manchmal das eine Ende und manchmal das andere Ende der Glimmlampe leuchtet?“ Ähm ...*

Johanna: *Einmal positive und einmal negative Ladungen.*

Allin: *(beginnt zu schreiben) Also, wenn ...*

Henriette: *Daran erkennt man, ob der Gegenstand positiv oder negativ geladen ist.*

Johanna: *Ja.*

Henriette: *(legt die Glimmlampe in die Dose zurück)*

Henriette ist nun in der Lage, die Antwort auf die Frage der Aufgabenkarte (Abb. 1) formulieren zu können, wendet sich also wieder zur abschließenden Bearbeitung der Teilaufgabe 1-1 zu (Ereignisebene).

Statistik bezüglich der Entwicklung eigener Teilaufgaben

A) 13 der 27 Schüler(innen) entwickeln zusätzliche eigene Teilaufgaben während der Bearbeitung der Karten der Abbildungen 1 und 2.

Dabei ist zu beobachten, daß Teilaufgaben fast immer im Diskurs in der Kleingruppe entstehen. (Wenn dies ausnahmsweise nicht geschieht, so liegt das daran, daß sich die unterschiedlichen Schüler(innen) bei ihren situativen Bedeutungskonstruktionen auf verschiedenen Komplexitätsebenen befinden.)

- Zehn der 13 Schüler(innen) entwickeln eigene Teilaufgaben, um die Frage der Aufgabenkarte (Abb. 1) bzw. den Text der Informationskarte (Abb. 2) besser zu verstehen. Diese Schüler(innen) haben zu ihren zusätzlichen Teilaufgaben bis dato noch keine Bedeutungen entwickeln können und holen dieses nun nach.

- Drei dieser zehn Schüler(innen) entwickeln bereits unter 1.1 die Frage, auf die die Informationskarte (Abb. 2) Bezug nimmt. Diese drei Schüler (Malte, Tom und Jonas, siehe auch Beispiel 2) haben bereits zuvor zahlreiche Bedeutungen zur Beantwortung der Frage auf der Aufgabenkarte (Abb. 1) entwickelt.

B) 14 der 27 Schüler(innen) entwickeln keine weiteren Teilaufgaben zu den bei-

den Karten. Neun von ihnen arbeiten die Aufgaben in der Reihenfolge ab, beantworten also zunächst die Frage auf der Aufgabenkarte (Abb. 1), bevor sie sich der Informationskarte (Abb. 2) zuwenden. Fünf kehren nach der Bearbeitung der Informationskarte zu der Karte aus Abbildung 1 zurück.

Auch bei den übrigen 50 Aufgaben haben, abhängig von deren Kompliziertheit, ein unterschiedlich großer Anteil der Proband(inn)en eigene Teilaufgaben entwickelt und bearbeitet. Wir können dabei beobachten, daß Schüler(innen) sich nicht länger als maximal 5 Minuten mit einer Teilaufgabe beschäftigen. Dies geht auch aus Tabelle 2 hervor, der zu entnehmen ist, daß die Gesamtbearbeitungsdauer der Karten 2.11 und T (s. Abb. 1 und 2) für die Mehrzahl der Gruppen unterhalb von 5 Minuten liegt. Für einzelne Teilaufgaben ergeben sich somit z.T. deutlich geringere Bearbeitungszeiten (s.a. v. Aufschnaiter, S. 1999).

Aus der Dynamik der Bearbeitung lassen sich dafür vier Gründe rekonstruieren:

- 1) Die Schwierigkeit der Aufgabe (d.h. die Differenz zwischen deren Kompliziertheit (Ereignis) und der von den Proband(inn)en zu Beginn der Bearbeitung erreichten Komplexität, s. Tab. 3) war für die ganze Lerngruppe so groß, daß durch zusätzliche Teilaufgaben „Zwischenschritte“ eingebaut werden mußten. Insbesondere betrafen solche Zwischenschritte in unsere Untersuchung Teilaufgaben, die bereits in früheren Aufgaben enthalten waren, dort jedoch nicht oder nicht erfolgreich bearbeitet wurden.
- 2) Das oben genannte Argument traf für einzelne Mitglieder einer Lerngruppe zu, so daß eine zusätzliche Teilaufgabe genutzt wurde, um diesen Mitgliedern den Anschluß an den Gruppenprozeß zu erleichtern.
- 3) Bei der Bearbeitung einer Aufgabe entstanden „ungeplante“ inhaltliche Probleme (z.B. schnelle Entladung durch zu hohe Luftfeuchtigkeit), die nur in zusätzlichen Teilaufgaben bearbeitet werden konnten.

- 4) Einzelne Mitglieder warfen zusätzliche inhaltliche (mit der Aufgabe gar nicht oder nur sehr indirekt zusammenhängende) Fragen auf, deren Bearbeitung (einem Teil) der Gruppe genügend attraktiv zu sein schien.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß von verschiedenen Lernern unterschiedliche (zusätzliche) Teilaufgaben entwickelt werden, die nicht nur die inhaltliche Dynamik, sondern auch (in unserer Untersuchung sogar überwiegend) die Komplexitätsdynamik kognitiver Prozesse beeinflussen. Eine Aufgabe wird von unterschiedlich fortgeschrittenen Lernern auf unterschiedliche Weise in Teilaufgaben geringerer/gleicher Kompliziertheit zerlegt und schrittweise abgearbeitet. Zerlegung beobachten wir häufig dann, wenn angebotene Aufgaben für Schüler(innen) zu kompliziert sind, wenn inhaltliche Probleme auftreten oder aber wenn zusätzliche inhaltliche Aspekte in den Diskurs mit eingebracht werden.

4.4 Nutzung zusätzlicher Instruktionen für die Bearbeitung einer Aufgabe

Wie bereits oben erwähnt, wurden den Proband(inn)en neben wenigen Informationskarten mit Hinweisen zu ganz spezifischen Aufgaben (Abb. 2) eine größere Zahl von „Interventionskarten“ mit allgemeineren, vergleichsweise komplizierten Erklärungen, zu den vom Versuchsleiter festgelegten Interpretationen übergeben. Wie eine solche Intervention (Abb. 3) nach der Übergabe für die gerade bearbeitete Aufgabe (Abb. 4) genutzt wird,

Reibt eine PVC-Folie und haltet sie <u>über</u> den Elektroskopteller. Was beobachtet Ihr?

Entfernt nun die PVC-Folie, was beobachtet Ihr jetzt?

Warum ist zuerst der Ausschlag des Zeigers und dann der Zurückgang des Zeigers zu beobachten?

Erklärt Eure Beobachtung!

Diese Karte haben wir nicht bearbeitet, weil

Abb. 4: Aufgabenkarte 2.13

soll zunächst mit einem Transkriptausschnitt beispielhaft erläutert werden.

Beispiel 6 (Transkripte I-IV): Transkriptausschnitte der Bearbeitung der Aufgabe aus Abbildung 4 und der Interventionskarte aus Abbildung 3 durch die Schülergruppe Malte, Tom und Jonas:

I. Bearbeitung der 1. Teilaufgabe

- Jonas: (nimmt die Aufgabenkarte 2.13 und liest vor) „Reibt eine PVC-Folie und haltet sie über den Elektroskopteller.“
- Tom: Ja! (nimmt eine Folie und reibt sie, hält die Folie dann über den Elektroskopteller) Ja!
- Malte: Ja!
- Tom (reibt die Folie)
- Jonas: (schreibt)
- Tom: (hält die Folie auf den Elektroskopteller)
- Malte: Sollen wir das noch probieren mit der PVC-Folie?
- Jonas: Nein.
- Tom: Nein. (nimmt die Folie weg) Laß uns das mal eben entladen. Wo ist die Glimmlampe? Da. (nimmt die Glimmlampe vom Tisch und berührt den Elektroskopteller) Das war negative Ladung. Klarerweise.
- Jonas: Ja, gut. (hört auf zu schreiben) Mach das noch mal, ohne zu berühren.
- Tom: (reibt die Folie und hält sie über den Elektroskopteller)
- Malte: Ja, ich glaube schon.
- Tom: Je nachdem, wie ... der Ladungstyp ist eigentlich gar nicht wichtig.
- Jonas: Hier steht auch nur: (liest vor) „Was beobachtet Ihr?“ Da habe ich 'Ausschlag' geschrieben.

II. Bearbeitung der 2. Teilaufgabe

- Jonas: Aber da steht: (liest vor) „Entfernt nun die PVC-Folie. Was beobachtet Ihr jetzt?“ (hört auf zu lesen)
- Tom: Ja, sehr schön. Wir haben nämlich eindeutig einen Rückgang festgestellt.
- Malte: Also, die Ladung verfliegt.
- Jonas: (schreibt)
- (Versuchsleiterin kommt ins Bild und gibt Malte die Interventionskarte W)

III. Bearbeitung der Interventionskarte W

- Malte: (liest vor) „Funktionsweise des Elektroskopes. Wird die Aufhängung geladen, verteilt sich die Ladung gleichmäßig über alle Metallteile des Elektroskopes, die mit der Aufhängung leitend verbunden sind.“ Hm. (liest weiter) „Der Zeiger und die Aufhängung sind dadurch gleichnamig geladen.“
- Tom: Ja.
- Malte: Ja. Dann stoßen sie sich ab.
- Tom: Ja.
- Malte: Das ist genau das, was wir in der letzten Stunde hatten. Und der Zeiger wird deshalb von der Aufhängung abgestoßen.
- Tom: Ja, dann ist es doch ... Leute, dann wissen wir jetzt ja noch mehr über das Elektroskop.
- Malte: (nimmt einen Stift in die Hand) „Glaubt Ihr, daß Euch diese Information ...“
- Tom: Ja! Ja! Jetzt wissen wir noch mehr über das Elektroskop.
- Malte: (schreibt)

IV. Bearbeitung der 3. Teilaufgabe

- Jonas: Okay, die letzte Frage: (liest vor) „Warum ist zuerst er Ausschlag des Zeigers und dann der Zurückgang des Zeigers zu beobachten? Erklärt Eure Beobachtung!“
- Malte: (hört auf zu schreiben) Also, ich glaube, es ist so, daß, ähm ... Ja, da müßte man jetzt natürlich gucken. Warte, warte. Laß mal den ... los (nimmt den Lappen und reibt damit über die Folie)
- Tom: Ich glaube, ich weiß warum.
- Malte: (hält die Folie über den Elektroskopteller)
- Tom: Weil es immer ... weil es...
- Malte: Es schlägt aus. (nimmt die Folie weg) Es geht zurück. (hält die Folie noch einmal über den Elektroskopteller und legt sie dann auf den Tisch)
- Tom: Ja, weil es dann irgendwann keine Energie mehr hat, weil die Ladung nicht mehr da ist.

- Malte:* *Nein weil die Energie verfliegt.*
Tom: *Ja.*
Malte: *Weil es durch Luftaustausch Also die Ladung überträgt sich dann... also, die verfliegt durch die Luft dann.*
Jonas: *Aber dieses hier hielt sich doch lange.*
Tom: *Ja, wahrscheinlich ist es aber so, daß das viel mehr Ladung darauf gebracht hat. (zeigt auf die Metallplatte und das Elektroskop) Daß es vielleicht auch noch aufgeladen war und daß es sich dadurch lange gehalten hat.*
Jonas: *Also sagen wir, die Ladung verfliegt nach einiger Zeit?*
Tom: *Ja, sehr schön ... formuliert.*
Malte: *(schreibt)*

Malte, Tom und Jonas erzeugen bereits bei der Bearbeitung der ersten Teilaufgabe (Abb. 4) eine zusätzliche Teilaufgabe, indem sie die geladene Folie nicht über den Elektroskopeller halten, sondern durch Berührung Ladung auf das Elektroskop übertragen und mit der Glimmlampe die Ladungsart überprüfen. Die Bearbeitung dieser zusätzlichen Teilaufgabe wird primär als erfolgreiche Wiederholung einer bereits früher bearbeiteten Aufgabe erlebt (sie operieren mit der Glimmlampe im Hinblick auf deren Eigenschaft, negative Ladung anzeigen zu können), die jedoch mit der vorliegenden Teilaufgabe 1 nichts zu tun

hat (Jonas: „Mach’ das noch mal, ohne zu berühren!“).

In ähnlicher Weise nutzen sie die von der Versuchslleiterin zwischen Teilaufgabe 2 und Teilaufgabe 3 (Abb. 4) an die Schüler übergebene Interventionskarte (Abb. 3):

- Zeiger und Aufhängung sind gleichnamig geladen (Eigenschaft),
- gleichnamig geladene Gegenstände stoßen sich ab (Eigenschaft),
- wir wissen mehr über das Elektroskop (Eigenschaft).

Alle übrigen auf der Interventionskarte „angebotenen“ Eigenschaften und Ereignisse (Verknüpfungen von Eigenschaften) werden von Malte, Tom und Jonas nicht beachtet bzw. nicht für die Bearbeitung der 3. Teilaufgabe genutzt. An der erfolgreichen Bearbeitung dieser Teilaufgabe scheitern Malte, Tom und Jonas, weil sie sich dafür die Ladung auf dem Elektroskop als variable Eigenschaft (Programm) vorstellen müßten, was ihnen offensichtlich nicht gelingt. Statt dessen erklären sie das beobachtete Phänomen als Ereignis: Die Ladung verfliegt (als Ganzes) nach einiger Zeit. Ähnlich wie in diesem Beispiel werden die von uns auf Interventionskarten angebotenen Erklärungen höherer Kompliziertheit (mehrere Eigenschaften werden gleichzeitig in Ereignissen verknüpft, einige Eigenschaften als Variable beschrieben) zunächst gar nicht oder

		<i>Gesamtzahl der untersuchten Fälle: 115</i>	
keine Nutzung	55	5 Fälle	Abbruch beim Lesen
		14 Fälle	„Das brauchen wir nicht.“
		12 Fälle	„Das müßte man jetzt verstehen können.“
		12 Fälle	„Das wissen wir schon alles.“
		12 Fälle	„Das paßt jetzt nicht.“
nur teilweise Nutzung	32	5 Fälle	„Jetzt wissen wir, wie wir die Antwort „schön“ formulieren können.“
		10 Fälle	„Das haben wir auch schon herausgefunden.“
		8 Fälle	„Das haben wir auch schon herausgefunden, aber jetzt sollten wir noch ein weiteres Experiment durchführen.“
		9 Fälle	„Wir sollten noch ein weiteres Experiment durchführen.“
volle Nutzung	28	22 Fälle	„Diese Karte hilft uns bei unserem aktuellen Problem.“
		6 Fälle	„Wir haben etwas anderes herausgefunden. Dieser Widerspruch muß geklärt werden.“

Tab 4: Nutzung von zusätzlichen Instruktionen

nur Teile davon auf niedrigerem Komplexitätsniveau benutzt.

Nutzung der Erklärungen auf Instruktionkarten

In 115 Fällen (verteilt über unterschiedliche Karten und Gruppen) haben wir bisher die Nutzung von Instruktionkarten unmittelbar nach deren Ausgabe an die Proband(inn)en im Detail untersucht (Tab. 4). In etwa der Hälfte der Fälle wurden die Instruktionen nicht genutzt. In diesen Fällen wurden die Karten nach jeweils wenigen Sekunden mit einem knappen (schriftlichen oder mündlichen) Kommentar auf dem entsprechenden Stapel abgelegt. In etwa 25% der Fälle wurden, wie im vorgestellten Beispiel, nur Teilaspekte der Instruktionen benutzt, indem ganz überwiegend in etwa 30 Sekunden auf der Komplexitätsebene, auf der sich die Proband(inn)en gerade bei der Bearbeitung „ihrer“ Aufgabe befanden, eine Bedeutungsentwicklung erfolgte. Nur in den verbleibenden 25% der Fälle haben sich die Proband(inn)en in einer Folge von Bedeutungsentwicklungen mit der Instruktion als Ganzes intensiv auseinandergesetzt und dabei häufig Bedeutungen höherer Komplexität erzeugt.

Gerade an diesen Fällen zeigt sich deutlich, daß neben der Differenz der Kompliziertheit zwischen der gerade bearbeiteten Aufgabe und der zusätzlichen (den Proband(inn)en durch die Versuchsleiterin „aufgenötigten“) Instruktion auch die genaue inhaltliche Passung eine wichtige Rolle spielt.

Verstärkt wird dieses Argument durch die stärkere Nutzung bereits abgelegter Informations- und Interventionskarten. Relativ häufig und verteilt über alle Gruppen haben die Proband(inn)en bei der Bearbeitung anderer Aufgaben zu einem späteren Zeitpunkt in dem Haufen der bereits abgelegten Karten nach einer bestimmten Erklärung gesucht. In den meisten Fällen erinnerten sich die Proband(inn)en dabei nur vage daran, was auf den Karten stand, hätten sie also ohne Rückgriff auf den genauen Text der Instruktion nicht nutzen können.

Fazit: Wir konnten feststellen, daß zusätzliche Instruktionen von unseren Proband(inn)en häufig gar nicht oder nur auf dem Komplexitätsniveau genutzt werden, auf dem sie sich situativ bezogen auf den entsprechenden Inhalt befinden. Nur selten entwickeln die Lernenden Bedeutungen höherer Komplexität in Verbindung mit Instruktionen. Dies geschieht überwiegend nur dann, wenn die jeweilige Instruktion inhaltlich sehr genau zur aktuell bearbeiteten Aufgabe passen.

5. Zusammenfassung

Im Kapitel 4 haben wir anhand von Beispielen sehr ausführlich dargestellt, wie Lerner Aufgaben mit genau definierter Kompliziertheit in den ersten und letzten 30 Sekunden bearbeiten (4.1 und 4.2). Wir haben ferner demonstriert, welche Teilaufgaben von den Schüler(inne)n während der Bearbeitung entwickelt werden (4.3) und wie sie zusätzliche Interventionen (Erklärungen) für ihren eigenen Entwicklungsprozeß nutzen (4.4). In allen Unterkapiteln haben wir die wesentlichen Ergebnisse zusammengefaßt dargestellt. In diesem Abschnitt fassen wir noch einmal die Kernannahmen und Ergebnisse dieses Aufsatzes zusammen und diskutieren sie im Hinblick auf Innovationen physikalischen Unterrichts.

Wir gehen davon aus, daß sich kognitive Prozesse in drei Dimensionen dynamisch entwickeln. Sie können nicht nur eine inhaltliche Dynamik zeigen, sondern sich auch bezogen auf die Komplexität der erzeugten Bedeutungen und dem zeitlichen Aufwand zur Erzeugung dieser Bedeutungen dynamisch verändern. Unter anderem in der hier vorgestellten Laborstudie mit Schüler(inne)n der 11. Klasse haben wir detailliert untersucht, wie eine von uns im Hinblick auf die Kompliziertheit der Angebote genau geplante Lernumgebung auf Bedeutungsentwicklungsprozesse verschiedener Lernender in allen drei Dimensionen wirkt. Wir haben dabei festgestellt, daß verschiedene Proband(inn)en bereits in den ersten 30 Sekunden bei der Bearbeitung einer Aufgabe deutlich unterschiedliche Komple-

xitätsebenen erreichen. Dies ist ebenso wie ihr folgendes Vorgehen bei der Lösung der Aufgabe wesentlich von bisherigen Erfahrungen (Beobachtungen) abhängig. Es kann somit nicht davon ausgegangen werden, daß sich verschiedene Lerner zumindest zunächst in ähnlicher Weise einer Lernumgebung nähern und sich erst während der Bearbeitung einer Aufgabe unterschiedliche (vom „Wissensstand“ der Lerner abhängige) Lösungswege entwickeln.

Wir haben ferner gezeigt, daß die Bearbeitungszeit von (Teil-)Aufgaben im Mittel deutlich weniger als 5 Minuten dauert. Dabei ist häufig zu beobachten, daß Lernende komplizierte Aufgaben in Teilaufgaben zerlegen, deren Bearbeitung in weniger als 2 Minuten gelingt. Eine Zerlegung muß immer dann möglich sein, wenn die Aufgabe zu kompliziert ist, d.h. sich das zur erfolgreichen Bearbeitung der Aufgabe notwendige Komplexitätsniveau (deutlich) von dem für den Lerner aktuell erreichbaren Komplexitätsniveau unterscheidet. Lernende müssen solche Aufgaben in Teilaufgaben geringerer Kompliziertheit zerlegen können. Die Fähigkeit verschiedener Lerner, unterschiedlich komplexe Bedeutungen zu erzeugen, hat somit einen wesentlichen Einfluß sowohl auf die Dauer der Bearbeitung von Aufgaben als auch auf die Anzahl und Art der von den jeweiligen Lernern entwickelten Teilaufgaben.

Wir konnten zudem beobachten, daß Instruktionen zu hoher Kompliziertheit von den Schüler(inne)n nicht für deren Bearbeitung von Aufgaben genutzt werden. Sie können sich dennoch später oft vage an solche Instruktionen erinnern und deren Inhalt für die Bearbeitung anderer Aufgaben nutzen, wenn sie Bedeutungen höherer Komplexität erzeugen und dann auf diese (schriftlichen) Instruktionen erneut zugreifen können.

Für die Planung angemessen schwieriger Lernumgebungen sind also drei „Dimensionen“ zu beachten:

- der Themenbereich, auf den sich Aufgaben und Instruktionen beziehen,
- das Komplexitätsniveau, das ein Lernender erreichen muß, um die Lernumgebung für erfolgreiches Verstehen und Handeln zu nutzen sowie

- der zeitliche Aufwand, den dieser Lernende benötigt, um dieses Niveau situativ zu erreichen.

Bei unterrichtlichen Innovationen müßte man aus unserer Sicht diese drei Dimensionen gezielt variieren und dabei den jeweiligen Entwicklungsstand der Schüler(innen) in diesen Dimensionen explizit berücksichtigen.

In einer zur Zeit laufenden Studie erproben wir die von uns entwickelten Materialien in Verbindung mit frontalen Unterrichtsphasen in einer 8. Realschulklasse. Der Umfang der gesamten Unterrichtseinheit beträgt 5 Doppelstunden. Wir werden in einer späteren Veröffentlichung über Ergebnisse dieser Erprobung und deren Konsequenzen für den Einsatz des Materials im Unterricht berichten.

Literatur

- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum.
- Aufschnaiter, C. v. (1999). *Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben. Fallstudien zu Bedeutungsentwicklungsprozessen von Studierenden und Schüler(inne)n in einer Feld- und einer Laboruntersuchung zum Themengebiet Elektrostatik und Elektrodynamik*. Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In: Niedderer, H. & Fischler, H. (Hrsg.). *Studien zum Physiklernen*, Bd. 3. Berlin: Logos.
- Aufschnaiter, C. v.; Schoster, A. & Aufschnaiter, S. v. (1999). The Influence of Students' Individual Experiences of Physics Learning Environments on Cognitive Processes. In: Leach, J. & Paulsen, A. C. (Eds.). *Practical Work in Science Education - Recent Research Studies*. Dordrecht: Kluwer, 281-296.
- Aufschnaiter, S. v. (1992). Versuch der Beschreibung eines theoretischen Rahmens für die Untersuchung von Lernprozessen. In: *Schriftenreihe der Forschergruppe „Interdisziplinäre Kognitionsforschung“ der Universitäten Bremen und Oldenburg, Band II, Bedeutungsentwicklung und Lernen*. Universität Bremen, 109-123.

- Aufschnaiter, S. v. (1998). Konstruktivistische Perspektiven zum Physikunterricht. *Pädagogik*, 7/8, 52-57.
- Aufschnaiter, S. v. (1999). Zeitskalen kognitiver Prozesse. In: *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven*. Hrsg. von der GDCP, Kiel. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag - im Druck.
- Aufschnaiter, S. v. & Welzel, M. (1996). Beschreibung von Lernprozessen. In: Duit, R. & Rhöneck, C. v. (Hrsg.). *Lernen in den Naturwissenschaften*. Kiel: IPN, 301-327.
- Aufschnaiter, S. v. & Welzel, M. (1997). Wissensvermittlung durch Wissensentwicklung. Das Bremer Komplexitätsmodell zur quantitativen Beschreibung von Bedeutungsentwicklung und Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(2), 43-58.
- Damasio, A. R. (1997). *Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- diSessa, A. A. & Sherin, B. L. (1998). What Changes in Conceptual Change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1192.
- Fischer, H. E. (1989). *Lernprozesse im Physikunterricht. Falluntersuchungen im Unterricht zur Elektrostatik aus konstruktivistischer Sicht*. Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen.
- Haller, K. (1999). *Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen - Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*. Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In: Niedderer, H. & Fischler, H. (Hrsg.). *Studien zum Physiklernen*, Bd. 5. Berlin: Logos.
- Pfund, H. & Duit, R. (1994). *Bibliographie Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Kiel: IPN.
- Piaget, J. (1991). *Meine Theorie der geistigen Entwicklung*. Herausgegeben von Fatke, R. Frankfurt a. M.: Fischer.
- Pöppel, E. (1997). Zeitlose Zeiten: Das Gehirn als paradoxe Zeitmaschine. In: Meier, H. & Ploog, D. (Hrsg.). *Der Mensch und sein Gehirn. Die Folgen der Evolution*. München: Piper, 67-98.
- Powers, W. T. (1973). *Behavior: The Control of Perception*. Chicago: Aldine.
- Schoster, A. & Aufschnaiter, S. v. (1999). Schülerinnen und Schüler lernen Elektrostatik, und der Lehrer schaut zu! *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)* - im Druck.
- Welzel, M. (1995). *Interaktionen und Physiklernen: Empirische Untersuchungen im Physikunterricht der Sekundarstufe I*. Dissertation am Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen. In: Nachtigall, D. (Hrsg.). *Didaktik und Naturwissenschaft*, Bd. 6. Frankfurt am Main, Bern, New York, Paris: Lang.

Dr. Stefan v. Aufschnaiter ist Professor für Didaktik der Physik am Institut für Didaktik der Physik der Universität Bremen.

Dr. Claudia v. Aufschnaiter ist Postdoktorandin am Institut für Didaktik der Physik der Universität Bremen.

Dr. Anja Schoster ist Inhaberin einer privaten Nachhilfeschule in Bremen.

Prof. Dr. Stefan v. Aufschnaiter
Universität Bremen
Institut für Didaktik der Physik
PF 330440
28334 Bremen