

Von Fehlvorstellungen und fehlenden Erfahrungen: Konzeptentwicklung im Physik-Unterricht

Claudia v. Aufschnaiter

Universität Hannover, Didaktik der Physik, Bismarckstraße 2, 30173 Hannover

Kurzfassung

In der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung wurden und werden häufig die Fehlvorstellungen bzw. lebensweltlich geprägten Vorstellungen von Schülern untersucht und zum Ausgangspunkt von didaktischen Überlegungen zur Gestaltung von Physik-Unterricht gemacht. Es wird dabei meist angenommen, dass Schüler theoriebasierte (Prä-)Konzepte in den Physik-Unterricht mitbringen und diese bei der Auseinandersetzung mit (konstruktivistisch orientierten) Lernumgebungen verändern werden. Bisher wenig erforscht wurde jedoch, wie im Detail die Schüler zu Konzepten gelangen und welche Lernangebote sie bei dieser Entwicklung optimal unterstützen. Als methodisches Mittel zur Analyse individueller Lernprozesse hat sich in den letzten Jahren zunehmend die Videoanalyse etabliert, die dabei jedoch häufig entstehenden großen Datenmengen und die bisher nur wenig ausgeschärfte Analyseverfahren erschweren den Forschungsprozess. Es ist zudem oft unklar, was eigentlich an Erkenntnisgewinn, insbesondere in Hinblick auf die Gestaltung von Lernumgebungen, von solch aufwändigen Verfahren zu erwarten ist. Der vorliegende Beitrag thematisiert, welche videobasierten Methoden zur Erhebung und Auswertung von Schülervorstellungen genutzt werden können, wie sich Konzeptentwicklung und Konzeptnutzung beschreiben lassen und welche Implikationen die Erkenntnisse aus der Forschung für die Gestaltung von Lernumgebungen ergeben.

1. Vorstellungsforschung im Überblick

In den letzten Jahren hat sich die Vorstellungsforschung nicht nur mit der Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen befasst, sondern auch die dokumentierten Vorstellungen als Ausgangspunkt der Gestaltung von Instruktionen genutzt [1]. Zentrale Grundannahmen eines an Schülervorstellungen orientierten Forschungsprogramms sind dabei u. a.:

- Die Schüler haben spezifische Vorstellungen, wenn sie in den Physik-Unterricht kommen. Typischerweise werden diese Vorstellungen auch als *lebensweltliche Vorstellungen*, *Präkonzepte* oder *misconceptions* bezeichnet.
- Die dokumentierten Vorstellungen verweisen auf theoretische Elemente, haben also einen generalisierenden Charakter („Konzepte“).
- Die von den Schülern in den Unterricht eingebrachten Konzepte unterscheiden sich in der Regel wesentlich von denen der Wissenschaftler.

Werden diese Grundannahmen der Vorstellungsforschung mit der Erfahrung verknüpft, dass das Vorwissen auf die Leistungszuwächse von Schülern wirkt, so wird die Tragweite der Kenntnis von Schülervorstellungen bzw. Schülerkonzepten deutlich: Solche Konzepte müssen im Unterricht berücksichtigt werden und der Unterricht muss eine Veränderung in Richtung wissenschaftlich akzeptierter Konzepte erreichen.

Um Schülervorstellungen zu erfassen, wurden und werden vor allem Verfahren der schriftlichen Befragung (Tests) und Interviews eingesetzt [u. a. 1, 2].

Das Ziel dabei ist, aus den (häufig) variantenreichen Antworten der Schüler eine möglichst begrenzte Anzahl prototypischer Aussagen zu gewinnen. Obwohl solche Verfahren (zeit)ökonomisch sinnvoll erscheinen und in den letzten Jahren ganz wesentlich zum Fortschritt eines an Schülern orientierten Verständnisses des Lehrens beigetragen haben, bleiben eine Reihe von Fragen offen, die eng auf die Lernprozesse der Schüler bezogen sind:

- Welche inhaltliche „Umwege“ haben die Schüler beschritten, bevor sie in einem Test (einem Interview) eine spezifische Antwort angekreuzt bzw. gegeben haben? Ist das von den Schülern gezeigte Wissen somit spontan entstanden oder mussten zunächst unterschiedliche Lösungsansätze entwickelt werden, bevor eine Entscheidung für diese Antwort getroffen wurde?
- Auf welchen Erfahrungshintergrund haben die Schüler ihre Antwort bezogen? Woran also haben die Schüler gedacht, als sie sich für eine Antwort entschieden haben? Hier ist zu erwarten, dass der von den Forschern in Bezug auf die Frage konzipierte Kontext nicht deckungsgleich mit dem von den Schülern konstruierten Kontext ist [s. a. 3].
- Da im Regelfall die Erhebung von Schülervorstellungen losgelöst von Kontexten geschieht, in denen die Vorstellungen typischerweise wirksam werden – z. B. dem Handeln und Denken während des Experimentierens – bleibt offen, ob die von den Schülern in der Testsituation erzeugten

Vorstellungen tatsächlich in „realen“ Situationen „genutzt“ werden.

- Nur wenig kritisch betrachtet wird üblicherweise, ob die von den Schülern erzeugten Antworten auf richtige/falsche Sprechweisen oder auf richtige/falsche Konzepte (Generalisierungen) verweisen.
- Obwohl Vorstellungsforschung einen Ausgangs- und (möglichen) Endpunkt von Lernprozessen aufzeigen kann, finden sich nur punktuell empirische Befunde und darauf bezogene Überlegungen, wie die Schüler von gezeigten Präkonzepten zu erwünschten wissenschaftlichen Konzepten gelangen. Damit verbunden ist auch eine gewisse Willkür, welche (richtigen) Konzepte als „einfach“ und welche als „schwierig“ angesehen werden. Eine systematische, an den Lernentwicklungen von Schülern orientierte Beschreibung dazu, wie sich die Qualität von Konzepten messen lässt, findet sich nur sehr selten.

Die hier benannten offenen Fragen verweisen auf die Notwendigkeit einer auf die Lernprozesse von Schülern ausgerichteten Forschung, wie sie aktuell vor allem mit videobasierten Programmen ermöglicht wird. Das methodische Inventar solcher Programme wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

2. Videoanalyse von Schülerlernprozessen

In den letzten ca. 10 Jahren haben sich videobasierte Erhebungsverfahren zunehmend in der empirischen Lehr-Lernforschung etabliert [u. a. 4]. Es zeigen sich dabei zwei deutlich unterschiedliche Foki auf das Geschehen im Klassenzimmer. Die deutliche Mehrzahl aktueller Forschungsprojekte fokussiert vor allem auf die jeweils unterrichtende Lehrkraft (Abb. 1).



Abb. 1: Kamera mit Lehrerfokus

Ein solches Vorgehen scheint nahe liegend, ist es ja die Lehrkraft, die die Instruktion bereit stellt und das Geschehen im Klassenzimmer „steuert“. Obwohl in den meisten Projekten eine zweite Kamera die Klassentotale aufzeichnet, bleibt bei diesem Verfahren in der Regel offen, wie im Detail die Schüler die Lernangebote des Lehrers nutzen und dabei ihr eigenes Wissen einbringen und weiter entwickeln. Eine auf die Lehrkraft ausgerichtete Forschung kann deshalb nur begrenzt Auskunft darüber geben, welche Wirkung unterrichtliche Angebote auf Seiten der Lerner erzeugen. Die Wirkung in Hinblick auf Lernen, und

nicht etwa die persönliche Einschätzung eines Beobachters, entscheidet jedoch darüber, ob ein Angebot eines Lehrers auch ein „gutes“ Lernangebot ist.

Mehr Aufschlüsse über die Prozesse der „Nutzer“ von Lernumgebungen lassen sich von auf die Schüler ausgerichteten Aufnahmen erwarten. Hier werden üblicherweise ein oder zwei Kleingruppen aus einer Klasse während des gesamten Unterrichts (also auch in Frontalphasen) mittels Video aufgezeichnet (Abb. 2). Zusätzlich erlauben extra angebrachte Mikrophone (z. B. von der Decke hängend über dem Schülertisch platziert), dass alle Gespräche der jeweils aufgezeichneten Schülergruppe erfasst werden.



Abb. 2: Kamera mit Schülerfokus

Obwohl direkt am Schülertisch angebracht, zeichnen die Mikrophone auch alle Gespräche im Klassenverband auf, so dass, ähnlich der Lehrerkamera, in solchen Phasen die Lehrer-Schüler-Gespräche ebenfalls erfasst werden. Im Gegensatz zu einer auf den Lehrer ausgerichteten Kamera wird üblicherweise jedoch nicht das Geschehen am Lehrerpult dokumentiert.

Unabhängig davon, welche Kameraperspektive gewählt wird, haben Videodaten für die Auswertung entscheidende Vorteile, aber leider auch mindestens einen Nachteil. Videoaufzeichnungen ermöglichen nicht nur einen direkten Zugriff auf alle Äußerungen der Lernenden (und des Lehrenden), sondern zeigen auch, in welcher Weise Handlungen mit den Äußerungen verknüpft sind (z. B. beim Experimentieren). Dies ist eine deutliche Überlegenheit gegenüber Audioaufnahmen bei inzwischen moderaten Preisen und leichter Installation der Videokamera. Videoaufzeichnungen lassen darüber hinaus, anders als direkte Beobachtungsverfahren, die mehrfache Ansicht der Bänder mit unterschiedlichen Fragestellungen zu. Allerdings, und dies ist wohl der wesentlichste Nachteil, ist die Auswertung mühselig und meist sehr zeitaufwändig.

Für die Auswertung von Videodaten haben sich in den letzten Jahren vor allem kategorienbasierte Verfahren etabliert. Typischerweise wird eine Software genutzt, die eine direkte Kodierung am Video erlaubt (z. B. „Videograph“ [5]). Neben für die jeweilige Forschungsfrage spezifischen Kategorien finden sich meist Kategorien, die den Unterrichtsverlauf beschreiben (z. B. Frontalphasen, Gruppenphasen, Einzelarbeit, Demonstrationsexperiment), Handlung-

gen von Lehrer und Schüler notieren (z. B. lesen, schreiben, experimentieren, on-/off-task), sich auf „inhaltliche“ Aspekte beziehen (z. B. Einführung neuer Konzepte/Inhalte, Problemlösen, Wiederholen, Transfer) oder soziale Prozesse kategorisieren (für eine ausführliche Darstellung typischer Kategorien s. u. a. [6]). Solche Kategorien erlauben eine (detaillierte) Beschreibung des Unterrichts-/Handlungsablaufes, häufig als „Skriptanalyse“ bezeichnet, und lassen somit u. a. Aussagen über die Verteilung von Lehrer-Schüleraktivitäten sowie grobzeitliche Strukturierungen zu. Es zeigt sich aber auch, dass sich solche an den Charakteristika des Unterrichtsverlaufes orientierten Kodierungen nur schwer mit gemessenen Leistungen von Schülern in Verbindung bringen lassen. Darüber hinaus lassen die „Inhaltskategorien“ keine Aussagen auf die Inhalte selbst zu; welche Konzepte eingeführt werden, auf was sich die Wiederholung bezieht und welches Wissen für das Problemlösen benötigt wird, bleibt offen. Dies gilt überwiegend auch für die Frage nach dem Erleben der Schüler und ihrem eigenen Verständnis der Instruktionen. Ob z. B. ein Schüler ein eingeführtes Konzept versteht und die Wiederholung desselben Konzeptes dann tatsächlich eine Wiederholung darstellt, lässt sich kategorial nur schwer erfassen und benötigt darüber hinaus spezifische Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge von Lehren und Lernen. Gerade der Aufklärung solcher Zusammenhänge sowie der Erfassung der Lernentwicklungen von Schülern widmen sich derzeit vor allem qualitative Analysen, meist auf der Basis von Transkripten der Videoaufzeichnungen. Anders als für „case stories“, die eine Beschreibung von Einzelfällen beinhalten, versuchen „case studies“ eine systematische Aufklärung der für Lernen und Lehren relevanten Parameter aus der Zusammenschau vieler Einzelfälle sowie daraus abgeleiteten Hypothesen und deren Prüfung.

In den letzten Jahren haben sich in der Forschungsarbeit von u. a. in Bremen und Hannover tätigen Arbeitsgruppen der Physik-Didaktik vor allem drei Parameter der qualitativen Analyse von Schülerlernprozessen und die sie initiierenden Instruktionen bewährt [7, 8, 9, 10]:

Inhalt: Es wird untersucht, auf welchem thematischen Aspekt sich die Konstruktionen von Lernenden beziehen, wie sich der Fokus bei der Auseinandersetzung mit den Lernangeboten verändert und wie unterschiedliche inhaltliche Aspekte miteinander verknüpft werden.

Abstraktion: Es wird unterschieden zwischen Handlungs- und Denktivitäten der Lernenden, die sich auf konkrete Objekte, Sachverhalte oder Situationen beziehen und solchen Denktivitäten, die Generalisierungen über Objekte, Sachverhalte und Situationen enthalten, also im engeren Sinne konzeptuell sind.

Zeit: Es wird untersucht, welche Bearbeitungs- und „Denkdauern“ die Handlungen der Schüler strukturieren.

Die hier nur knapp skizzierten Parameter ermöglichen über die Entscheidung „richtig/falsch“ hinaus eine detaillierte Aufschlüsselung der Handlungs-, Denk- und Lernprozesse von Schülern und lassen somit auch Aussagen darüber zu, welche Instruktionen zu den Prozessen „passen“ und welche ihnen nur schlecht bzw. gar nicht entsprechen.

Wie schon für kategorienbasierte Auswertungen angedeutet, ist es auch in eher qualitativ orientierten Forschungsprogrammen schwierig, die Schülerperspektive zu erfassen. Marton und Booth [11] unterscheiden zwischen einer Perspektive 1. Art, die ein Resultat der Einschätzung eines Beobachters der für ihn mit spezifischen Aussagen verbundenen Bedeutungen darstellt, und einer Perspektive 2. Art, die ausdrücklich den Standpunkt des Schülers einnimmt. Das folgende Beispiel mag dies verdeutlichen:

S: Wie heißt denn die Energie, die Gewicht und Geschwindigkeit gemessen werden kann? Also, dass ein leichter Gegenstand leichter zu stoppen ist als ein schwerer. Also, da gab's irgend so einen Namen für.

Aus einer *Perspektive der 1. Art* scheint nahe liegend, dass der Schüler ein richtiges Konzept zu kinetischer Energie entwickelt. Es deutet sich ferner an, dass der Schüler ein falsches bzw. noch nicht hinreichend entwickeltes Konzept zur Unterscheidung von Masse und Gewicht hat. Diese Rekonstruktion von Konzepten zu den Schüleraussagen ist stark geprägt von den Vorstellungen und Erfahrungen des Beobachters (Forschers) zu den von dem Schüler gesagten Aussagen.

Aus einer *Perspektive der 2. Art* würde man aus diesen Schüleräußerungen rekonstruieren, dass der Schüler nach einem Namen (einem Wort) für die Kombination von Masse und Geschwindigkeit sucht. Der Schüler will dieses Wort auch benutzen für seine Erfahrung des Stoppens schwerer Gegenstände. Obwohl der Schüler die Bezeichnung „Gewicht“ benutzt, muss auf der Basis vorheriger und folgender Aussagen davon ausgegangen werden, dass die Wörter Masse und Gewicht synonym – nicht konzeptuell – für die Erfahrung mit schweren und leichten Körpern benutzt wird.

Die *Perspektive 2. Art* bemüht sich also, die Welt „durch die Augen des Schülers“ zu sehen anstatt aus der Beobachter-/Forscherperspektive einen direkten Rückschluss durchzuführen. Die Einnahme einer Perspektive der 2. Art ist immer problematisch, da nie sicher rekonstruiert werden kann, was sich ein Schüler „wirklich“ denkt. Die Analyse längerer Passagen mit aufeinander folgenden (sprachlichen) Aktivitäten von Probanden erleichtert jedoch die Einnahme einer auf das Erleben des Schülers bezogenen Perspektive.

3. Ergebnisse videobasierter Forschung

In den letzten ca. 20 Jahren haben sich u. a. Arbeitsgruppen der Physikdidaktik in Bremen und Hannover intensiv mit den Lernentwicklungen von Schülern und Studierenden in der Physik befasst [für Forschungsprogramme und Literatur siehe <http://didaktik.physik.uni-bremen.de/aufschnaiter> und www.cvauf.de]. In Feld- und Laborstudien wurden die Aktivitäten von Kleingruppen von Schülern der Klassen 8, 10, 11 und 13 sowie Studierenden im 1., 3./4., 5./7. Semester und nach dem Diplom untersucht. In Kooperationsstudien mit dem IPN in Kiel sowie dem King's College London wurde zusätzlich das entwickelte methodische Repertoire und der Interpretationsrahmen auf Videodaten aus den Klassen 7 und 8 angewendet [12, 13]. In den letzten Jahren haben sich die Forschungsarbeiten zunehmend um eine Verknüpfung bisher gewonnener Ergebnisse mit der Vorstellungsforschung bemüht [u. a. 9, 14]. Gegenwärtig sind aus diesem Forschungsanliegen vor allem Hypothesen zur Konzeptentwicklung entstanden, die im Folgenden vorgestellt werden.

Konzeptentwicklung I: Von Explorationen zu Konzepten

In allen empirischen Befunden haben wir sehr deutlich festgestellt, dass Lernende bei der Auseinandersetzung mit neuen Aspekten zu einem Thema grundsätzlich mit der (mentalen) *Exploration* konkreter Objekte, Situationen oder Phänomene beginnen. Aussagen wie „Lass' uns mal probieren, wo man anfassen muss“ oder „Wir schauen mal, was passiert“ sind Indikatoren hierfür. Aus vielfältigen Explorationen erfassen die Schüler zunehmend intuitiv die unterliegenden Regelmäßigkeiten, ihr Vorgehen ist dann *intuitiv regelbasiert*. Ihre Handlungen werden aus Beobachtensicht zielgerichteter, sie treffen Vorhersagen über erwartete Ergebnisse und benutzen systematisch physikalische Bezeichnungen (nicht immer richtig): „Du musst bei der Glühlampe hinten anfassen, sonst geht es nicht“, „Das ist wegen der Kraft.“ Intuitiv regelbasiertes Verhalten spielt auch im (nicht physikalischen) Alltag eine wesentliche Rolle, wir wissen häufig, wie etwas geht bzw. was man tun muss, können aber keine Erklärung oder Begründung angeben. Nur sehr langsam entwickeln Lernende aus den von ihnen intuitiv erfassten Regelmäßigkeiten explizit Konzeptualisierungen und explizite Verknüpfungen von Konzepten, können also *explizit regelbasiert* argumentieren: „Man muss immer das Metall anfassen, weil die Glühlampe sonst nicht leuchtet“, „Kräfte erkennt man immer an ihren Wirkungen.“

Auch wenn es den Schülern, zunächst meist „nachgeklappt“ zu gerade durchgeführten Explorationen, gelingt, explizit Konzeptualisierungen zu entwickeln, benötigen sie weitere Explorationen (auf der Basis intuitiv regelbasierten Verhaltens), um die Konzepte erneut zu entdecken und längerfristig erzeugen zu können. Auffällig ist zudem, dass es

Schülern erst sehr spät in ihrer Lernentwicklung gelingt, konzeptbasierte Instruktionen „konzeptuell“ zu verstehen und zu nutzen. Zunächst beobachten wir vor allem, dass Schüler explorieren, wie sie die in den Instruktionen angebotenen Wörter angemessen verwenden können, wobei das „angemessen“ häufig an der Reaktion des Lehrers beurteilt wird. Lehrer (und Forscher) sind wiederum geneigt, die richtige Benutzung von physikalischen Wörtern, also das intuitive Erfassen der der Nutzung der Wörter unterliegenden Regelmäßigkeit, bereits für erfolgreiche Konzeptualisierung zu halten.

Konzeptentwicklung II: Phänomen- vor modellbasierten Konzepten

Bereits im Teil I der Konzeptentwicklung wurde betont, dass Konzeptualisierungen relativ spät in der Lernentwicklung zu physikalischen Aspekten einsetzen. Wenn solche Konzeptualisierungen erfolgen, beobachten wir, dass sich grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Konzeptualisierungen unterscheiden lassen. Aussagen wie „Man muss immer das Metall anfassen, weil die Glühlampe sonst nicht leuchtet.“ oder „Eine kurze Saite erzeugt einen höheren Ton als eine lange Saite.“ verweisen auf *phänomenbasierte Konzepte*, die direkt aus Erfahrungen mit der (physikalischen) Welt „abgeleitet“ wurden. Aussagen wie „Durch Erdung wird bei Glühlampen der Stromkreis geschlossen.“ oder „Schall wird mittels Druckschwankungen übertragen.“ beziehen sich auf *modellbasierte Konzeptualisierungen*, da sie nicht mehr direkt aus eigenen Erfahrungen abgeleitet werden können¹.

Unsere Daten zeigen, dass sich zunächst vor allem phänomenübergreifende Beschreibungen finden lassen und solche Beschreibungen von den Schülern auch deutlich eher aus Instruktionen erfasst werden. Dies mag aus physikalischer Sicht unbefriedigend sein, ist aber lernlogisch ein wichtiger Schritt auf dem Wege zu modellbasierten Erklärungen. Wir stellen ferner fest, dass es vor allem die phänomenbasierten Konzepte sind, auf deren Basis bei den Schülern ein Verlangen nach sowie die Suche und das Verstehen von modellbasierten Konzepten entsteht. Dies scheint auch in der Entwicklung wissenschaftlicher Vorstellungen in ähnlicher Weise abzufließen [15, 16].

Es muss an dieser Stelle betont werden, dass die Bezeichnung „modellbasierte Konzepte“ in gewisser Hinsicht irreführend ist. Modelle spielen im Physik-Unterricht für die Entwicklung modellbasierter Konzeptualisierungen eine zentrale Rolle. Dabei ist jedes für Schüler zur Verfügung gestellte Modell (z. B. ein Funktionsmodell für das Auge, ein Strukturmodell

¹ Es lassen sich neben diesen beiden fundamentalen Unterscheidungen weitere Unterscheidungen in der Qualität von Konzeptualisierungen treffen, z. B. im Hinblick auf den Grad und die Dynamisierung der Verknüpfung mehrerer Konzepte. Solche Unterscheidungen werden u. a. in [10] diskutiert und werden hier nicht weiter erörtert.

für ein Molekül) zunächst ein reales Objekt, das in Explorationen erkundet wird. Alle auf das reale Objekt bezogenen (phänomenübergreifenden) Beschreibungen der Schüler dürfen nicht als „modellbasiert“ im oben aufgeführten Sinne betrachtet werden. Erst, wenn Schüler explizit eine Verbindung zu nicht mehr aus dem Objekt direkt abgeleiteten Phänomenen herstellt (also z. B. den Lichtweg im realen Auge konzeptualisiert), können modellbasierte Konzeptualisierungen rekonstruiert werden. Es wird somit auch deutlich, dass Modelle, auch im Sinne von Analogien, gebraucht werden, damit Schüler zunächst phänomenbasierte Konzeptualisierungen entwickeln, aus denen dann modellbasierte Konzeptualisierungen entstehen. Wie genau der Übergang stattfindet und initiiert werden kann, ist eine der spannenden Fragen für zukünftige Forschung.

Aus der Literatur zu Schülervorstellungen [1] lässt sich nach dem bisher Gesagten schlussfolgern, dass z. B. die Vorstellungen „konstante Geschwindigkeit benötigt (konstante) Kraft“, „Wolle ist warm“ und „Licht macht Gegenstände hell, so dass man sie sehen kann“ auf phänomenbasierte Konzepte verweisen, während Vorstellungen, die sich auf „Töne fliegen durch die Luft“ oder „in der Lampe treffen die Ströme aufeinander“ beziehen, auf modellbasierte Beschreibungen verweisen. Die hier vorgestellte Unterscheidung ist somit nicht nur hilfreich, die Entwicklungsprozesse von Schülern zu charakterisieren, sondern lässt sich vermutlich auch auf bisher dokumentierte Schülervorstellungen übertragen.

Konzeptentwicklung III: Zeitliche Dynamiken

Aus der Vorstellungsforschung lässt sich bisher nur schwer ableiten, wann im Handlungs- und Denkprozess von Lernenden eine Konzeptualisierung beginnt bzw. endet und eine neue beginnt. Während jede Antwort in einem Test üblicherweise nur auf eine Vorstellung verweist, lassen sich in interviewbasierten Erhebungen meist mehrere (sich z. T. widersprechende) Vorstellungen zuweisen. Warum jedoch bestimmte Aussagen als Vorstellungen gewertet werden und andere nicht, bleibt unklar.

Wir haben im Detail untersucht, wie sich die Handlungs- und Denkaktivitäten von Lernenden entwickeln [u. a. 17], und finden vor dabei vor allem zwei Zeitfenster, die nachfolgender Transkriptausschnitt verdeutlichen soll.

"Wo muss man eine Glimmlampe anfassen, damit sie leuchten kann?"	
00:20	Jo: Oh, deswegen hat es bei mir nicht geleuchtet!
00:24	Ma: Du hast sie am Glas angefasst, oder? Jo: Ja. Du nicht, ne? (reibt Stab mit Lappen)
00:29	Jo: Pass mal auf! Dann testen wir das jetzt noch mal kurz aus. (hört auf zu reiben, sucht Glimmlampe)
00:33	Ma: Hast du ne Erklärung, Jochen?
00:36	Jo: Du hattest aber auch ne, du hattest aber auch ne Dingsbums, ne... Ma: Du hast sie aber auch am Ende angefasst.
00:40	[weitere Experimente mit Anfassen am Glas und am Metall]
00:53	Jo: Leuchtet ja noch besser, wenn ich's am Ende anfasse! (lacht) Ma: Das ist ja hart.
00:58	Jo: Ach ja! Weil die dann rüber können und bei mir! Gut, ne?
01:04	Jo: Pass auf, die Elektronen gehen in die... auf der einen Seite rein in die Lampe... Ma: Ja, ja ist schon klar. Jo: ...und gehen dann auf mich über. Jo: Also ich bin dann so'n Kreislauf, ne. (deutet Kreis mit Armen an) [...] 01:14

Die Schüler diskutieren zunächst 4 Sekunden, dass die Glimmlampe bei einem der Schüler nicht ge- leuchtet hat. Anschließend überlegen sie 5 Sekunden, wer wo angefasst hat. Es folgen 4 Sekunden mit Experimenten und weitere 3 Sekunden mit der Frage nach einer Erklärung. In weiteren Experimenten (18 Sekunden) wird sowohl das Glas als auch die Metallkappe ausprobiert, gefolgt von einer 17 Sekunden dauernden Überlegung zum Kreislauf der Elektronen durch die Lampe und den Körper (alle Zeitangaben gerundet). Insgesamt verbringen die Schüler mit der Aufgabe „Wo muss man die Glimmlampe anfassen, damit sie leuchten kann?“ knapp 2 Minuten.

Aus vielfältigen Analysen unserer Probanden haben wir durchgehend zwei Zeitfenster für deren Bearbeitungsprozesse gefunden. Innerhalb von 30 Sekunden, mit einem Mittelwert bei ca. 12 Sekunden, entwickeln die Lernenden einen inhaltlich zusammenhängenden Gedankengang, der meist auf eine mögliche Lösung einer (Teil-)Aufgabe gerichtet ist. Nach maximal 30 Sekunden scheint das Gehirn der inhaltliche Zusammenhang eines Gedankenganges verloren zu gehen, zumindest lässt sich spätestens dann aus Beobachtersicht ein inhaltlicher „Schwenk“ beobachten. Wenn es Schülern nicht gelingt, innerhalb dieses Zeitfensters Inhalte miteinander zu verknüpfen, so haben die Inhalte zunächst keine Verbindung. Aus diesen Befunden schließen wir, dass nach max. 30 Sekunden eine neue Vorstellung generiert wird, bzw. dass ein Konzept nur eine „Reichweite“ von maximal 30 Sekunden hat. Wird in der Vorstellungsforschung systematisch zwischen „Vorstellung“ als Oberbegriff für das Wissen von Schülern (alles, was ein Schüler gerade vorstellt) und Konzepten als Vorstellungen mit spezifischen Charakteristika (Generalisierungen) unterschieden, so lassen sich aus Prozessdaten immer noch wie bisher konzeptbasierte Aussagen rekonstruieren. Dann jedoch kann systematisch untersucht werden, wie lang solche Aussagen dauern und wie häufig sie sich wiederholen bzw. welche sich widersprechenden Äußerungen sich finden lassen.

Als zweites Zeitfenster haben wir ein Maximum von 5 Minuten für die Bearbeitung einer (Teil-)Aufgabe gefunden. Können die Schüler innerhalb dieses Zeitfensters keinen zufrieden stellenden Abschluss erreichen, so brechen sie die Bearbeitung (zunächst) frustriert ab und wenden sich einer anderen Aufgabe zu (dies kann auch Schwatzen zu Privatem sein). Es muss dabei betont werden, dass eine von Schülern erzeugte (Teil-)Aufgabe zwar oft mit angebotenen (Teil-)Aufgaben deckungsgleich zu sein scheint, es bei der Bestimmung der zeitlichen Dynamiken aber grundsätzlich auf die Konstruktionen der Schüler und nicht auf die durch die Lernumgebung „vorgegebene“ Strukturierung ankommt.

Theoretischer Exkurs: Konzepte haben oder erzeugen?

Insbesondere die zeitliche Strukturierung von Handlungs- und Denkprozessen, aber auch die hohe Vari-

abilität erzeugter Vorstellungen deutet darauf hin, dass eine einfache „Speicherungstheorie“ mit empirischen Daten nur schwer vereinbar ist. Wir haben an anderer Stelle ausführlich über den Zusammenhang der Erzeugung und Speicherung von Wissen berichtet [18], ich möchte mich hier nur auf einige fundamentale Aspekte beschränken:

- Jeder Handlungs- und Denktakt von Schülern enthält „Wissenselemente“.
- Diese Wissenselemente werden vom kognitiven System (den neuronalen Netzwerken) situativ erzeugt.
- Welche Netzwerke aktiviert werden, hängt vom Kontext („außen“) und von bisheriger Bewährung („innen“) ab.
- In den Netzwerken ist (deshalb) kein Wissen gespeichert, sondern nur die Fähigkeit, Wissen situativ zu erzeugen.
- Kontextuelle Varianzen können (deshalb) zu (deutlich) unterschiedlichen Wissenselementen führen.
- Nur vielfach bewährte Kooperationen von neuronalen Netzwerken zur Wissenserzeugung werden über kontextuelle Variationen hinweg ähnliche Wissenselemente hervorbringen.

Aus den genannten Punkten lässt sich folgern, dass Lernende Vorstellungen nicht „haben“ sondern nur „machen“ können. Lernen zeigt sich dann in der Fähigkeit des zunehmend besser „Machens“ in ähnlichen Situationen.

Alle in diesem Abschnitt genannten Befunde deuten darauf hin, dass Videodaten zur Aufklärung der Wirkungszusammenhänge von Lehren und Lernen, auch, oder ganz besonders, mit Blick auf die Vorstellungsforschung wesentlich beitragen:

- Es lässt sich rekonstruieren, auf welche Aspekte die Schüler situativ Bezug nehmen und wie schnell sich ihr Fokus ändert.
- Es lässt sich rekonstruieren, ob sich die Schüler auf konkrete Sachverhalte (benennend) beziehen oder Regelhaftes (Konzeptuelles) explizit formulieren.
- Es lässt sich rekonstruieren, welche Lernangebote (teilweise) genutzt werden und welche unbeachtet bleiben.
- Es lässt sich rekonstruieren, wie lange Schüler an Aufgaben arbeiten, bevor sie frustriert aufgeben/einen Erfolg erleben.
- Es lässt sich rekonstruieren, wie sich die Prozesse der Herstellung von Wissen ändern (verbessern). Wann entwickeln Schüler Lösungen spontan, wann mit „Nachdenken“? Wie sind die Dynamiken des „Wiederentdeckens“ von expliziten Regelhaftigkeiten?

4. Gestaltung von Lernumgebungen

Aus den bisher genannten Befunden kann für die Gestaltung von Lernumgebungen gefolgert werden:

- Die Erfahrungen von Schülern müssen systematisch den Ausgangs- und Schwerpunkt von Instruktionen ausmachen (und nicht nur immer mal wieder vorkommen, wenn es gerade passt).
- Lernangebote müssen aus *Aufgabenserien* bestehen, an denen „Konzeptuelles“ von den Schülern selbst entdeckt werden kann [s. a. 19]. Das heißt, dass die Schüler aus Explorationen von Phänomenen selbst den (nach Meinung des Lehrers) relevanten Aspekt (intuitiv) erfassen können müssen.
- Der Unterricht sollte zunächst vor allem auf phänomenbasierte Konzepte „abzielen“ und dabei wiederholtes Entdecken bereits entwickelter Konzeptualisierungen ermöglichen.
- Instruktionen sollten systematisch das Erfolgserleben in kleinen Zeitfenstern ermöglichen.

Bei der Planung von Instruktionen können die bisher dokumentierten Vorstellungen (Konzepte) von Schülern sehr hilfreich sein. Viele Vorstellungen beziehen sich auf Phänomene und verweisen damit auf den möglichen Erfahrungshintergrund der Schüler. Solche Erfahrungen müssen Schüler differenzieren und systematisch erweitern können. Anders jedoch Vorstellungen, die auf modellbasierte Konzeptualisierungen verweisen. Da solche Konzeptualisierungen zumindest in der Sekundarstufe I in den Äußerungen der Schüler sehr selten auftauchen, muss vermutet werden, dass es sich bei den erfassten Vorstellungen eher um „Spekulationen“ (seitens der Schüler) als um (stabile) Konzepte handelt. Es scheint deshalb auch nicht lohnend, solche Spekulationen im Unterricht aufzugreifen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Unterricht vor allem vorhandene und fehlende Erfahrungen zum Gegenstand haben muss anstatt Fehlvorstellungen.

Ein kurzes Beispiel zur Schülervorstellung „Wolle ist warm“ mag verdeutlichen, wie die Erfahrungen der Schüler ausdifferenziert und erweitert werden könnten (überwiegend Explorationen):

- Welche Sachen lassen sich mit Wolle warm halten? (Eier, Menschen, heißes Wasser im Gefäß, ...)
- Womit kann man noch etwas Warmes (z. B. Eier) warm halten? (Bettdecke, Zeitungspapier, Styropor, Aluminiumfolie, Thermosflasche, ...)
- Was hält besonders gut warm, was besonders schlecht? (Vergleich für ein Objekt und unterschiedliche Isolatoren)
- Kann man Kaltes kalt halten? (Eiswürfel in Wolle, Papier, Aluminiumfolie, Styropor, ...)
- Kann man andere Sachen kalt halten? (Getränke in Kühltaschen, Thermosflaschen, ...)

Anders als typischerweise vorgeschlagen, wird hier nicht ein „schönes und demonstratives“ Experiment (z. B. der Vergleich der Schmelzprozesse eines in Aluminiumfolie und eines in Wolle eingewickelten Eisklotzes, [1]) angeboten, sondern das systematische Erkunden von Aspekten der Isolation. Es wird

dabei zunächst immer ein Parameter variiert und dann erst der wechselseitige Zusammenhang thematisiert. Die Schüler können auf diesem Wege zunächst intuitiv und dann auch explizit erfassen, dass etwas, das Warmes warm hält, auch Kaltes kalt hält und dass ein bestimmter Stoff besonders gut Warmes warm und Kaltes kalt hält.

5. Abschließende Bemerkungen

Der hier nur grob skizzierte Stand der Vorstellungsforschung ist an anderer Stelle deutlich ausführlicher dokumentiert [u. a. 1]. Die aus den eigenen Befunden abgeleiteten Aussagen wurden zudem absichtlich eher plakativ dargestellt, um den Kontrast, aber auch die Gemeinsamkeiten der im Grundsatz eher unterschiedlichen Ansätze von Vorstellungs- und Lernprozessforschung herauszustreichen. Das Hauptziel des Beitrages ist dabei weniger, eine bestimmte Forschungsrichtung als bevorzugt gegenüber einer anderen darzustellen, sondern neue Facetten und Wege in der Analyse von und Bezugnahme auf Schülervorstellungen aufzuzeigen. Der Beitrag mag vielleicht verdeutlichen, wo empirische Lehr-Lernforschung in der Physik-Didaktik neue Ansatzpunkte finden könnte:

- Forschung sollte sich auf die Handlungs-, Denk- und Lernprozesse von Schülern beziehen (und nicht nur auf die Start- und Endprodukte dieser Prozesse). Dies gilt auch für die Evaluation der Wirkung von innovativen Lernumgebungen.
- Solche Forschung trägt zur Entwicklung von realistischen Zielen (Bildungsstandards) des Physik-Unterrichts bei. Nach bisherigen empirischen Befunden kann vermutet werden, dass vor allem phänomenbasierte Konzepte ein realistisches Ziel für den Physik-Unterricht der Sekundarstufe I darstellen und auch in der Sekundarstufe II einen nicht unwesentlichen Raum einnehmen müssen.
- Es muss nach den bisherigen Befunden davon ausgegangen werden, dass sich ein „besseres“ (effizienteres) Lernen nicht durch das Vorziehen von modellbasierten (physikalisch „zentralen“) Konzepten erreichen lässt [s. a. 20]. Stattdessen sollten Ausdifferenzierungen, Systematisierungen und Erweiterungen von Erfahrungen in Hinblick auf intuitives Erfassen der physikalisch relevanten Invarianzen und Regelmäßigkeiten in das Zentrum unterrichtlicher Angebote gestellt werden. Dies gilt vermutlich nicht nur für die Sekundarstufe I, sondern auch für wesentliche Teile der Sekundarstufe II.
- Da das Kompetenzerleben der Schüler in vergleichsweise kleinen Zeitfenstern von wenigen Minuten ein zentraler Indikator der situativen Passung von Instruktionen zu den Fähigkeiten der Schüler ist [s. a. 12], kann es auch als ein wichtiger Indikator von „guten“ Unterricht angesehen werden.

6. Literatur

- [1] Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (2004). *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis.
- [2] „Force Concept Inventory“ Online unter <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>
- [3] Murmann, L. (2004). Phänomene erschließen kann Physiklernen bedeuten. Perspektiven einer wissenschaftlichen Sachunterrichtsdidaktik am Beispiel der Lernforschung zu Phänomenen der unbelebten Natur. *www.widerstreit-sachunterricht.de*, 3, Oktober 2004.
- [4] Aufschnaiter, S. v. & Welzel, M. (Hrsg.), *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen*. Münster: Waxmann.
- [5] Rimmel, R. (2004). *Videograph. Multimedia-Player zur Kodierung von Videos*. Kiel: IPN.
- [6] Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R. & Lehrke, M. (2003). *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“*. Kiel: IPN.
- [7] 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.
- [8] Aufschnaiter, S. v., Aufschnaiter, C. v. & Schoster, A. (2000). Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physikaufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 37-57.
- [9] Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2003). Theoretical framework and empirical evidence on students' cognitive processes in three dimensions of content, complexity, and time. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 616-648
- [10] Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001). Prozessbasierte Analysen kognitiver Entwicklung. In S. v. Aufschnaiter & M. Welzel (Hrsg.), *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen* (pp. 115-128). Münster: Waxmann.
- [11] Marton, F. & Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. Mahwah (NJ): Lawrence Erlbaum.
- [12] Aufschnaiter, C. v. (2003). Prozessbasierte Detailanalysen der Bildungsqualität von Physik-Unterricht: Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 105-124
- [13] Aufschnaiter, C. v., Erduran, S., Osborne, J. & Simon, S. (submitted). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Cognition and Instruction*.
- [14] Aufschnaiter, C. v. (2005). How students develop and use an explicit understanding of physics concepts. In S. Vosniadou & A. Baltas

- (Eds.), *Philosophical, historical and psychological approaches to conceptual change*.
- [15] Steinle, F. (2004). Exploratives Experimentieren. Charles Dufay und die Entdeckung der zwei Elektrizitäten. *Physik Journal*, 3(6), 47-52.
- [16] Steinle, F. (2002). Experiments in history and philosophy of science. *Perspectives on Science*, 10(4), 408-432.
- [17] Aufschnaiter, S. v. & Aufschnaiter C. v. (im Druck). Zeitliche Strukturen von Lehr-Lernprozessen. In A. Pitton (Hrsg.), *Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 23. Münster, Hamburg, London: LIT VERLAG.
- [18] Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2002). Über den Zusammenhang von Handeln, Wahrnehmen und Denken. In R. Voss (Hrsg.), *Unterricht aus konstruktivistischer Sicht: Die Welten in den Köpfen der Kinder*. (pp. 233-246). Neuwied, Kriftel: Luchterhand. [Neuaufgabe in Vorbereitung]
- [19] Aufschnaiter, C. v. & Aufschnaiter, S. v. (2001). Eine neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht: Was fachdidaktische Lernprozessforschung zu der Entwicklung von Aufgaben beitragen kann. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 54(7), 409-416.
- [20] Stern, E. (2004). Wie viel Hirn braucht die Schule? Chancen und Grenzen einer neuropsychologischen Lehr-Lern-Forschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 50(4), 531-538.