

Lydia Murmann

Phänomene erschließen kann Physiklernen bedeuten

Perspektiven einer wissenschaftlichen Sachunterrichtsdidaktik am Beispiel der Lernforschung zu Phänomenen der unbelebten Natur

Die Sachunterrichtsdidaktik, ebenso wie andere Fachdidaktiken, braucht eigenständige Forschung, um als kundige Bezugswissenschaft für Lehrerinnen und Lehrer fungieren zu können. Ein wesentlicher Aspekt forschungsbasierter Didaktik besteht darin, lebensweltliche und fachliche Zugänge zu den jeweiligen Lerngegenständen zu kennen und diese didaktisch aufeinander zu beziehen. Dazu sind also einerseits Lernforschung und andererseits in Vermittlungsabsicht durchgeführte fachliche Klärungen bezüglich der Themen und Gegenstände des Unterrichts erforderlich. Im folgenden Artikel wird das Modell der Didaktischen Rekonstruktion vorgestellt, das einen Ansatz darstellt, forschungsbasiert didaktische Strukturierungen von Unterricht zu generieren. Zum anderen wird die Phänomenografie als Forschungszugang zu gegenstandsspezifischen Lernvoraussetzungen von Schüler/inn/en vorgestellt. Beide forschungsmethodischen Vorschläge werden ausführlich begründet und am Beispiel von Lichtphänomenen, als möglichen Gegenständen des Sachunterrichts, erläutert.

0. Vorbemerkungen

Die aktuellen Bemühungen vieler Fachdidaktiken sich als Wissenschaften zu etablieren, eigene Forschungsprofile zu entwickeln, die sich von lernpsychologischer, schulpädagogischer und fachwissenschaftlicher Forschung einerseits unterscheiden, andererseits auf diese rekurrieren (müssen), betreffen auch die Sachunterrichtsdidaktik. Ich verstehe die Wissenschaftsorientierung der Fachdidaktiken als einen noch nicht abgeschlossenen Emanzipationsprozess. Eine tradierte Rolle und Erwartung an die Fachdidaktik, in der Lehrerbildung als Bindeglied zwischen Fachwissenschaft und Unterricht zu fungieren, also fachliche Theorie im Rahmen der Lehrerbildung in schulische Vermittlungspraxis zu überführen, weicht einem Selbstverständnis, eigene Forschungsanliegen zu verfolgen. Dies ist sogar aus pragmatischen Gründen erforderlich, wenn die universitäre Lehrerbildung Bestand haben soll (vgl. dazu Lauterbach 1997, 11f). Fachdidaktische Forschung bewegt sich dabei im Spannungsfeld gesellschaftlicher und bildungspolitischer Anforderungen und Ansprüche, fachlicher Inhalte, lerntheoretischer Fragestellungen und Erkenntnisse, der Unterrichtspraxis sowie insbesondere im Grundschulbereich auch pädagogischer Normen. Dieser Prozess ist in den verschiedenen Fachdidaktiken und an verschiedenen Hochschulstandorten unterschiedlich weit fortgeschritten und steht unter dem erheblichen Druck, sich gegen die Infragestellung der Effizienz didaktischer Forschung bezogen auf Leistungszuwächse von SchülerInnen und Ressentiments der Fachwissenschaften am jeweiligen Fachbereich zu behaupten.

Forschungsansätze zur Didaktik des Sachunterrichts sind z.B. im Vergleich zu Forschungsansätzen der Physikdidaktik sehr heterogen und inhaltsbezogene Lernforschung wenig verbreitet.

Bekanntermaßen verfügt der Sachunterricht anders als z.B. der Geschichtsunterricht oder der Biologieunterricht nicht über eine eigene fachliche Bezugswissenschaft und hat als vergleichsweise junges Schulfach eine vergleichsweise geringe universitäre didaktische Tradition. Zwangsläufig bringen Sachunterrichts-DidaktikerInnen sehr unterschiedliche Perspektiven und Fachsozialisierungen aus der allgemeinen Pädagogik, den Naturwissenschaften, den Sozialwissenschaften, der Philosophie der Grundschulpädagogik, den Fachdidaktiken u.a. in den Diskurs und die Forschung ein. Diese heterogene Schar von WissenschaftlerInnen organisiert ihre Diskurse, vermutlich nicht zuletzt aufgrund dieser Heterogenität, relativ selbstgenügsam und hochgradig normativ, was die Etablierung von Forschungsansätzen nicht gerade erleichtert.

Als Konkretisierung dieser Behauptung lässt sich z.B. nennen: internationale Forschungsliteratur insbesondere zum inhaltsbezogenen Lernen, wo auf einen reichen Fundus zurückgegriffen werden könnte, wird (den Lite-

raturangaben der meisten Veröffentlichungen nach zu schließen) in geringem Umfang rezipiert, empirische Forschung wird am ehesten bezogen auf die historische Entwicklung des Sachunterrichts selbst entlang von schriftlichen Dokumenten betrieben, die Polarisierung zwischen „Wissenschaftsorientierung“ und „Kindorientierung“ in unterschiedlichen Deutungsvarianten und unscharfer Begriffsbestimmung zieht sich seit Jahrzehnten implizit und explizit durch die Aufsätze, die diesbezüglich mehr Aufschluss über Absichten und Ansichten ihrer AutorInnen als über die Unterrichtspraxis geben und LehrerInnen werden seitens der Sachunterrichtsdidaktik eher mit Unterrichtsvorschlägen und Materialien als mit empirisch gewonnenen didaktischen Erkenntnissen versorgt.

Das Anliegen des folgenden Beitrages besteht darin, das Potenzial, die Relevanz und die Durchführbarkeit fachdidaktischer Lernforschung für den Sachunterricht am Beispiel Naturphänomen bezogener Lernprozesse aufzuzeigen. Ich werde zunächst skizzieren, von welchen Voraussetzungen und Annahmen ich dabei ausgehe.

1. Ausgangspunkte:

Zur Rolle der Sachunterrichtsdidaktik für den Sachunterricht

Fachdidaktik ist im Idealfall die Bezugswissenschaft der FachlehrerInnen, d.h. ich begreife Sachunterrichtsdidaktik als Wissenschaft und zwar als eine Wissenschaft, von der Lehrkräfte des Sachunterrichts Forschungsergebnisse sowie empirisch fundierte didaktische Theorien beziehen können, die für ihren Unterricht relevant sind. Dazu gehört insbesondere, die Beantwortung der Frage, welche Inhalte und Methoden im Sachunterricht aus welchen Gründen Bildungswirksamkeit entfalten können.

Während die Entwicklung von Unterrichtsvorschlägen und -materialien meines Erachtens nicht zu den Kernaufgaben der Sachunterrichtsdidaktik gehört, mag es dennoch sinnvoll sein, sowohl Erkenntnisse und Theorien sachunterrichtsdidaktischer Forschung anhand von Unterrichtsvorschlägen zu erläutern bzw. zu exemplifizieren als auch umgekehrt, erprobte und erfolgreiche Unterrichtsvorschläge sachunterrichtsdidaktisch zu fundieren sowie andere tradierte Unterrichtskonzepte sachunterrichtsdidaktisch zu kritisieren. Dies insbesondere dann, wenn die betreffenden Forschungsergebnisse im Rahmen von Unterrichtsforschung generiert wurden.

Die Erforschung sachbezogener Lernprozesse von SchülerInnen, d.h. die Rekonstruktion und Analyse von Verstehensprozessen ist nicht zwangsläufig an Unterricht gebunden. Sie müsste meines Erachtens ein zentrales Anliegen einer wissenschaftlichen Didaktik sein. Schülerorientierung sollte sich nicht nur in der methodischen sondern auch in der inhaltlichen Strukturierung der Unterrichtsangebote widerspiegeln. Dies setzt voraus, nicht nur die Interessen von SchülerInnen zu berücksichtigen, sondern auch ihre Sinnkonstruktionen und Deutungsmuster zu kennen und für die Planung von Unterricht aufzugreifen. Die Kenntnis solcher Sinnkonstruktionen und Deutungsmuster können LehrerInnen nicht allein aus der Interaktion mit SchülerInnen beziehen, eine systematische und fachdidaktisch orientierte Analyse von Schüleräußerungen und -handlungen ist im Unterricht nur sehr begrenzt möglich.

„Wissenschaftsorientierung“ versus „Kindorientierung“

Dass Sachunterricht die SchülerInnen dabei unterstützen soll, ihr Wissen und ihre Erfahrungen zu ordnen und zu erweitern, sie in Beziehung zueinander zu setzen, Zusammenhänge zu verstehen, Regelmäßigkeiten zu entdecken und zu begründen ist unter SachunterrichtsdidaktikerInnen Konsens. Diese Ziele legitimieren sich durch den Anspruch der Bildungsorientierung von Sachunterricht. Auch das Ziel, Kindern Zugänge zu wissenschaftlich generiertem Wissen zu eröffnen, ihnen diesbezüglich relevante, ergiebige und grundlegende Phänomenerfahrungen zu ermöglichen und Reflektionsprozesse anzuregen, ist ein bildungsorientierter Anspruch.

„Naturwissenschaftliche Grundbildung“ kann in diesem Sinne nur eine erwünschte Folge aber nicht prioritäre Leitlinie eines schülerorientierten und bildungstheoretisch begründeten Sachunterrichts sein, wenn unauflösbare Zielkonflikte vermieden werden sollen. Daher ist es meines Erachtens keine Kompromissformel, sondern ein realisierbares Ziel, dass der Sachunterricht Kindorientierung und die Bildungsansprüche von Kindern in der Weise ernst nimmt, dass er ihnen auch zu den Wissenschaften als solchen sowie zu konkreten Wissensbeständen, die Teil ihrer Lebenswelt sind, Zugänge ermöglicht.

Zugänge zu ebnen setzt voraus, die Landschaften, die erschlossen werden sollen, zu kennen. Eine fundierte didaktische Entscheidung setzt also voraus, fachsystematische Strukturierungen und spontane bzw. lebensweltliche Zugänge zu jeweiligen Lernanlässen zu kennen und beide in ein Verhältnis zu setzen. Erst dann kann man

erkennen, welche Routen (Erfahrungen und Thematisierungen) sowohl lebensweltlich als auch fachlich anschlussfähig sind.

Zur Rolle der Naturwissenschaften und ihrer Didaktiken für den Sachunterricht

Die Rolle der Naturwissenschaften für den Sachunterricht besteht nicht darin, inhaltliche Lernziele zu generieren, sondern die Naturwissenschaften und ihre Fachdidaktiken sind als Ressource zu nutzen, um Verstehensprozesse der SchülerInnen zu unterstützen. Dies ist möglich, weil fachwissenschaftliche Erkenntnisse selbst bewährte, d.h. erfolgreiche Ergebnisse eben solcher Verstehensbemühungen sind. Dies bedeutet allerdings nicht, die geronnenen Ergebnisse der Fachwissenschaften in Form elementarisierter Erklärungen aufzugreifen und zu vermitteln, sondern von ihnen Informationen darüber zu beziehen, welche Aspekte von Phänomenen für wissenschaftliche Deutungen in welcher Weise relevant sind.

Mit Verstehensprozessen ist hier gemeint, Sachverhalte zu erschließen, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Beobachtungen und Erfahrungen herzustellen, Erfahrungen zu ordnen und beobachtete bzw. erlebbare Regelmäßigkeiten von Phänomenen zunehmend konsistent zu begründen. Obwohl der Sachunterricht Phänomene umfassender thematisiert als die Naturwissenschaften es tun, können naturwissenschaftsdidaktische Erkenntnisse aspekthafte Beiträge für sachunterrichtliche Phänomenererschließungen leisten.

Es scheint nicht immer klar zu sein, aber es gibt keine „naturwissenschaftlichen Phänomene“, sondern lediglich naturwissenschaftliche Deutungen von Phänomenen.

Zur Rolle des Sachunterrichts bei der Erschließung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und Wissensbestände

Die implizite oder explizite Bezugnahme auf Wissensbestände der Naturwissenschaften im Sachunterricht muss nicht und sollte nicht in Konkurrenz zu einem schülerzentrierten Unterricht geraten.

Sachunterricht sollte meines Erachtens gezielt die Voraussetzungen dafür schaffen, dass wissenschaftliche Aussagen für Lernende sinnstiftend werden können, bevor er – wenn überhaupt – darauf abzielt, bestimmte fachlich „richtige“ Aussagen zu erarbeiten. Es sind allerdings nicht beliebige, sondern fachlich bzw. fachdidaktisch begründete Lernumgebungen und Erfahrungen im Sachunterricht erforderlich, wenn die Anschlussfähigkeit fachlicher Deutungen nahe gelegt werden soll. Die aus Lernersicht offensichtliche Widersprüchlichkeit zwischen eigenen Erfahrungen und physikalischen oder chemischen Erklärungen von Naturphänomenen wird in der Unterrichtspraxis meines Erachtens enorm unterschätzt. Selbst die allerausführlichste Phänomenerkundung führt nicht automatisch zur Chemie oder Physik.

2. Didaktische Rekonstruktion als Ansatz sachunterrichtsdidaktischer Lernforschung

Tenberge stellt zum „elementaren naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht“ fest: „Übereinstimmend wird heute die Vermittlung fachpropädeutischer Zieldimensionen abgelehnt. Ein phänomen- und prozessbezogener, problemorientierter Sachunterricht erscheint gegenwärtig konsensfähiger.“ (Tenberge 2002, 14) Ich stimme ihr zu und ergänze: Von dem Versuch in den siebziger Jahren, naturwissenschaftsorientierte Ansätze in den Sachunterricht einzuführen, hat sich der Sachunterricht bis heute nicht erholt. Der vermeintliche Widerspruch zwischen Wissenschaftsorientierung und Kindorientierung hallt immer noch nach. Aber vielleicht können wir heute sagen, dass der Sachunterricht zwar nicht fachpropädeutisch aber dennoch fachlich anschlussfähig angelegt sein sollte und durchaus Zugänge zu Naturwissenschaften eröffnen darf?

Sollte dies der Fall sein, dann stellt sich die Frage, wie und wodurch ein „phänomen- und prozessbezogener, problemorientierter Sachunterricht“ Zugänge zu Naturwissenschaften eröffnen kann. Möller formuliert neben Zielen, die sich auf die Anbahnung von Haltungen, Interesse und naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen beziehen, als inhaltsbezogenes Ziel für den Sachunterricht „die Erarbeitung kategorialen, erschließenden Wissens in Lernprozessen, die auf Verstehen ausgerichtet sind“ (Möller 2000, 134).

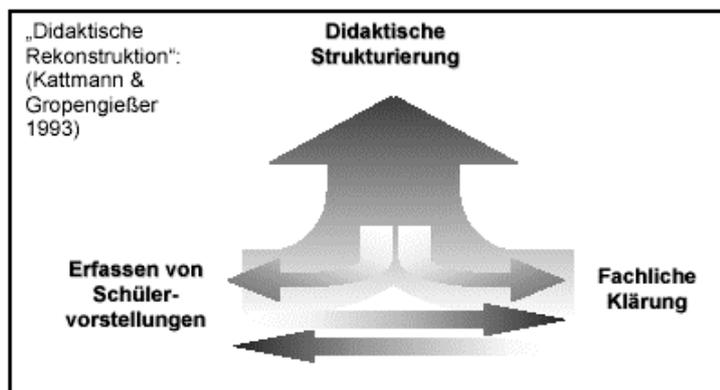
Ich greife diese Zielsetzung hier auf und komme zu dem Schluss, dass sich damit für die Sachunterrichtsdidaktik methodische und inhaltliche Aufgaben verbinden: Die Prozessdimensionen des Erarbeitens, Erschließens und der Ausrichtung der Lernprozesse auf Verstehen ist eine unterrichtsmethodisch zu bearbeitende Aufgabe. Die Frage, welches Wissen erschließend sein kann, d.h. geeignet ist Verstehensprozesse angemessen zu unterstützen, ist nicht zuletzt eine Frage danach, welche Phänomenerfahrungen, Inhalte und Begriffsbildungen für

verstehendes Lernen weiterführend sind. Dies lässt sich nur durch empirische Lernforschung und didaktische Theoriebildung beantworten.

Ich werde im Abschnitt 3 am Beispiel von Schattenphänomenen verdeutlichen inwiefern die fachdidaktische begründete Auswahl von Phänomenerfahrungen empirisch fundiert werden kann. Dazu werde ich auf Erkenntnisse zurückgreifen, die ich im Rahmen einer empirischen Untersuchung von Lernprozessen zum Phänomenbereich Licht und Schatten gewonnen habe (vgl. Murmann 2002). Insbesondere komme ich in diesem Zusammenhang zu dem Schluss, dass die Beschäftigung mit Schatten wenig geeignet ist, kategoriales erschließendes Wissen zur Deutung von Schattenphänomenen zu erarbeiten.

2.1 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Welches konkrete (Erfahrungs-) Wissen im Hinblick auf verstehende Lernprozesse ergiebig ist und welche Erfahrungen dazu wenig beitragen, kann nicht kategorisch, sondern nur inhaltspezifisch, d.h. bezogen auf den Lerngegenstand beantwortet werden. Die Beantwortung entsprechender Forschungsfragen ist Voraussetzung für eine gezielte didaktische Strukturierung.¹ Kattmann und Gropengießer schlagen dazu das Modell der „Didaktischen Rekonstruktion“ vor. Die didaktische Strukturierung basiert in diesem Modell sowohl auf einer „fachlichen Klärung“ hinsichtlich fachlich verstandener Phänomenaspekte als auch auf Detailkenntnissen über erwartbare Vorverständnisse und Wahrnehmungsstrukturen von Lernenden zu denselben Phänomenen. Diese beiden Perspektiven müssen aufeinander bezogen werden. Es ist wenig hilfreich und nicht Intention des Modells der Didaktischen Rekonstruktion, sie nur zu vergleichen und aus der Diskrepanz Lernziele abzuleiten.



„Die Frage, wann und inwiefern die erhobenen Schülervorstellungen für das Lernen fachwissenschaftlicher Inhalte förderlich oder hinderlich sein können, soll nicht durch einseitigen normativen Vergleich mit wissenschaftlichen Konzepten, sondern in wechselseitiger Betrachtung beantwortet werden, die beide Bereiche nicht unverändert bestehen lässt. [...] Im besten Falle kommt es zu einer wechselseitigen Neuinterpretation der lebensweltlichen und fachlichen Vorstellungen.“ (Gropengießer 1997)

Nach Simone Seitz wird mit dem Modell der didaktischen Rekonstruktion ein Paradigma für didaktische Forschung verfolgt, „das die Vorstellungen, Anschauungen und inneren Tätigkeiten der Schüler/innen vor die Sachstruktur platziert. Damit ist ein Wandel weg vom traditionellen ‚Primat der Sache‘ hin zum ‚Primat des Kindes‘ gegeben.“ (Seitz 2004)

Eine phänomenologische Analyse der jeweiligen Lerngegenstände, die der Erforschung von Schülervorständnissen voraus gehen sollte, ist ebenfalls aufschlussreich im Hinblick auf die Lernbarkeit bzw. Nachvollziehbarkeit fachlicher Erklärungen (vgl. Murmann 2002). Eine phänomenologische Analyse befasst sich mit dem Lerngegenstand, indem sie das Verhältnis von erfahrbaren und die Erfahrung überschreitenden Aspekten der fachlichen Deutung erschließt. Dies erfordert, zunächst vom eigenen fachlichen Wissen über die Lerngegenstände abzusehen, sie also ohne Rückgriff auf fachliches Wissen zu erfassen und zu beschreiben, um die Erfahrbarkeit der fachlichen Deutung differenziert zu erschließen. Die phänomenologische Analyse ist Teil der fachlichen Klärung, gleichzeitig aber grundlegend für die Interpretation von Schüleräußerungen und -handlungen (vgl. Abschnitt 2.2).

Kattmann und Gropengießer sprechen vom „Erfassen von Schülervorstellungen“ bzw. „erhobenen Schülervorstellungen“ (Gropengießer 1997, 14) und beziehen sich damit auf die konstruktivistisch orientierten Arbeiten insbesondere der physikdidaktischen Lernforschung seit den 1980er Jahren, die sie für die Biologiedidaktik

¹ Didaktische Strukturierung meint die gezielte Auswahl und inhaltliche sowie sequenzielle Abstimmung der Angebote und Thematisierungen von Lernumgebungen. Damit ist weder der genaue Verlauf einzelner Unterrichtsstunden, noch der detaillierte Aufbau eines Lehrganges oder eine Grundsatzentscheidung über Methoden impliziert.

aufgreifen. Im Rahmen konstruktivistischer Lernforschung wurde um eine angemessene Bezeichnung für die Phänomendeutungen von SchülerInnen durchaus gerungen. Darin drückt sich nicht zuletzt die Schwierigkeit aus, solche Verständnisse theoretisch zu fassen. So ist z.B. die Rede von „alternative frameworks“ (z.B. Driver 1981), „Vorverständnissen“ (Schecker 1985), „Schülervorstellungen“ (z.B. Jung 1985, u.v.a.), „misconceptions“ (z.B. Brown 1992), „naive Physik“ (Wilkening & Lamsfuß 1993), „Fehlkonzepten“ (Treffer 1994), „Alltagsvorstellungen“ (Duit 2002), „preconceptions“ (Clement 1993), „Präkonzepten“ (Möller 1999) oder „Erlebensweisen“ (Murmans 2002). Die meiste Verbreitung hat die Bezeichnung „Schülervorstellungen“ bzw. „conceptions“ gefunden. Als Begrifflichkeit für unterrichtlich intendierte Lernprozesse, womit in diesem Zusammenhang für gewöhnlich die Überwindung der Diskrepanz zwischen gegebenen Schülervorstellungen und zu entwickelnden fachlichen Vorstellungen gemeint ist, wird häufig „conceptual change“ (z.B. Carey 1985) bzw. „Konzeptwechsel“ (z.B. Schmidt 1989) verwendet.

Ich werde die Bezeichnungen „Schülervorstellungen“ oder „Konzeptwechsel“ nicht aufgreifen. Sie mögen zwar den Forschungsgegenstand vieler konstruktivistisch orientierter FachdidaktikerInnen treffend bezeichnen, aber nicht nur die Begrifflichkeiten, sondern vor allem die dazu gehörigen lerntheoretischen Konzeptionen sind meines Erachtens fragwürdig.

Alternativ zur konstruktivistischen Orientierung können die Lernvoraussetzungen und erwartbare Deutungsmuster von Lernenden phänomenografisch untersucht und dann gemäß dem Modell der didaktischen Rekonstruktion für eine didaktische Strukturierung nutzbar gemacht werden. Einige Unterschiede zwischen phänomenografischer und konzeptorientierter Forschung werde ich im Folgenden herausarbeiten.

2.2 Schülervorstellungen oder Erlebensweisen? Lerntheoretische und forschungsmethodische Kritik

Wie sich zeigen lässt, wurden Schülervorstellungen als Ergebnisse physikdidaktischer Forschung häufig vor einem fachlichen Verstehensrahmen formuliert, d.h. die ForscherInnen interpretierten die Äußerungen und Handlungen von SchülerInnen von der Warte eines fachlich informierten Beobachters. Darin besteht ein forschungsmethodisches Problem. Mit Jung (1989) gehe ich darin konform, dass es eines Verstehensrahmens für Schüleräußerungen bedarf, denn Phänomendeutungen von Lernenden lassen sich nicht erheben, sondern sind zwangsläufig das Ergebnis einer Interpretation von erhobenen Äußerungen und Handlungen. Als solche reflektieren sie nicht nur die Phänomendeutung der Lernenden, sondern immer auch deren Rekonstruktion bzw. verstehende Interpretation seitens der Forschenden und damit deren Verstehensrahmen. Jung schlägt alternativ zu einem fachlichen Verstehensrahmen einen „phänomenologischen Verstehensrahmen“ (Jung 1989) vor. Die Herausforderung im Forschungsprozess besteht dann darin, bei der Rekonstruktion von Schülerverständnissen vom eigenen fachlich geprägten Erfahrungshintergrund zunächst zu abstrahieren, d.h. ihn vorübergehend auszuklamern und die Interpretation der Daten stattdessen vor dem Hintergrund erfährbarer Zusammenhänge des Phänomens zu vollziehen.

Dass dies in der Forschungspraxis selten geschehen ist, wird unter anderem daran deutlich, dass sich aus den entsprechenden Veröffentlichungen wenig Informationen darüber beziehen lassen, welche erfahrungsbasierten Deutungen von SchülerInnen fachlich anschlussfähig sind oder mit fachlichen Deutungen in Einklang stehen, während stattdessen die Diskrepanzen zur Physik stets klar hervortreten. Dies legitimiert sich durch die Denkfigur, dass die Lernherausforderung in der kognitiven Überwindung der Diskrepanz zu fachlichen Erklärungen besteht und angemessene unterrichtliche Überzeugungsstrategien gefragt sind, um diese Lernprozesse zu bewirken. In anderen Worten: es sollen Lernumgebungen geschaffen werden, die den SchülerInnen ausgehend von ihren eigenen, zu überwindenden Vorstellungen die Konstruktion der fachlich anerkannten Erklärung ermöglichen und sie von deren Richtigkeit überzeugen. Zu diesem Zwecke erscheint es sinnvoll auf Differenzen zu fokussieren. Auf die bildungstheoretisch und gesellschaftspolitisch fragwürdigen Implikationen dieser Denkfigur will ich an dieser Stelle nicht eingehen. Auch nicht darauf, dass ihr eine erkenntnistheoretische Trennung von Subjekt und Objekt zugrunde liegt, die als unthematische Selbstverständlichkeit fungiert, was für konsequente KonstruktivistInnen zumindest merkwürdig sein müsste. Stattdessen beziehe ich mich positiv auf den Ansatz, dass fachdidaktische Lernforschung dazu beitragen kann, verstehendes Lernen zu unterstützen.

Meine forschungsmethodische Kritik ist dann, dass die unterschiedlichen Deutungen von SchülerInnen und WissenschaftlerInnen in der konstruktivistisch orientierten didaktischen Forschung primär, wenn nicht ausschließlich auf der Ebene von *Erklärungen* jeweiliger Phänomene in Beziehung gesetzt werden.

Meine These ist, dass die Unterschiede zwischen fachlichen und nicht fachlichen Deutungen tiefer liegen. Denn zum einen sind manche Phänomenaspekte zwar für fachliche Deutungen relevant oder sogar konstitutiv, können den Phänomenen selbst aber schlicht nicht „angesehen“ werden, d.h. sie sind nicht erfahrbar oder werden in der Regel nicht bewusst erfahren. Gleichzeitig liegen auch den nicht fachlich geprägten Deutungen eigene (Relevanz-)Strukturen und angenommene Selbstverständlichkeiten zugrunde, die plausibel sind, aber mit der fachlichen Strukturierung nicht übereinstimmen müssen bzw. für diese irrelevant sein können. Unterschiede bestehen also bereits in den Gegenstandskonzeptionen von SchülerInnen bzw. fachlich vorgebildeten Personen, d.h. auf der Ebene derjenigen Voraussetzungen von Theorien, die jeweils als fraglos bzw. selbstverständlich erlebt werden.

Phänomendeutungen, seien sie wissenschaftlich bewährt oder auch nicht, beziehen sich immer auf bestimmte Merkmale des Phänomens und stellen Zusammenhänge zwischen verschiedenen wahrgenommenen Aspekten her. Diese Zusammenhänge sind nicht unbedingt das Resultat von Überlegungen, sondern in vielen Fällen der Wahrnehmung immanent, denn Wahrnehmung ist immer strukturierte Wahrnehmung. Unter anderem aus diesem Grunde halte ich die Phänomenologie (und die Phänomenografie als forschungsmethodischen Zugang) zur Aufklärung von Verstehensprozessen für ergiebiger als konstruktivistische Ansätze. Beide konzeptualisieren menschliches Erleben umfassender, gegenstandsverankert und begrifflich differenzierter als konstruktivistische Zugänge.

Neben Figur-Hintergrund-Unterscheidungen, die das erlebte Phänomen als solches von einem nicht dem Phänomen zugerechneten Hintergrund lösen, wird auch ein jeweiliges Phänomen selbst, in einer mehr oder weniger differenzierten Strukturierung wahrgenommen. Dadurch wird das Phänomen zum Phänomen. Teile dieser Struktur werden außerdem nicht sinnlich erfasst, sondern appräsentiert, d.h. sie werden aufgrund von Vorerfahrungen als gegeben erlebt. Beispielsweise würde niemand vermuten, dass die Tischnachbarin, deren Hocker und Beine durch eine Tischplatte verdeckt sind, sodass nur ihre obere Körperhälfte zu sehen ist, geschrumpft oder halbiert ist, sondern dass sie sitzt.

Geht man davon aus, dass bereits auf der Wahrnehmungsebene Unterschiede zwischen fachlich und nicht-fachlich geprägten Phänomenstrukturierungen bestehen, dann ist erstens plausibel, dass unterschiedliche Deutungen generiert werden und zweitens plausibel und lerntheoretisch relevant, dass sich die Deutungen nicht unabhängig von der Entwicklung der erlebten Strukturierung entwickeln werden. Für einen Unterricht, der Konzeptwechsel anstrebt, wären hieraus Konsequenzen zu ziehen.

Die Feststellung, dass Schülervorstellungen wahrnehmungsnahe Konstruktionen seien, ist unter PhysikdidaktikerInnen unstrittig. Sie bleibt aber für die Theoriebildung konstruktivistisch orientierter PhysikdidaktikerInnen zum Lernen ohne Konsequenzen. Teilweise wird unter konsequent-konstruktivistischem Paradigma zur Fundierung lerntheoretischer Überlegungen allerdings auf neurobiologische Forschungen zur Verarbeitung von Sinnesreizen Bezug genommen. Eine Theorie zur Erlebensdimension von Wahrnehmungen und deren Rolle für Physikkernen können sie nicht ersetzen.

Sehr wenige PhysikdidaktikerInnen beziehen sich zur Grundlegung von Lerntheorien explizit auf die Phänomenologie (z.B. di Sessa 1983, 1993, Jung 1989, Redeker 1981, Selley 1996).

2.3 Empirische phänomenografische Lernforschung

Die Phänomenografie nach Ference Marton steht erkenntnistheoretisch in der Tradition der Husserlschen Phänomenologie als einer Theorie menschlichen Erlebens. Sie wurde im Rahmen empirischer Lernforschung seit den 1970er Jahren vorrangig an schwedischen Universitäten entwickelt. Die zugrunde liegende Lerntheorie ebenso wie die Phänomenografie selbst wird entlang vieler erläuternder Beispiele aus der inhaltsbezogenen Lernforschung in „Learning and Awareness“ (Marton & Booth 1997) entfaltet. Ich werde hier nur auf zwei charakteristische Merkmale der Phänomenografie eingehen, die sowohl die Nähe als auch die Unterschiede zu konstruktivistischer Lernforschung verdeutlichen sollen. Dabei handelt es sich zum einen um die Konstitution des Forschungsgegenstandes und zum anderen um die Merkmale der angestrebten Forschungsergebnisse.

Perspektive 2. Ordnung

Wesentliches Merkmal phänomenografischer Analysen ist es, bei der Interpretation von Daten eine Perspektive zweiter Ordnung auf den Lerngegenstand einzunehmen. Das Augenmerk richtet sich also nicht auf die befragte Person, sondern auf den Gegenstand ihrer Auseinandersetzung. Bildlich gesprochen werden nicht Ü-

berlegungen und Interpretationen über die Lernenden angestellt, sondern die Lernenden geben Auskunft über etwas Drittes, das mittels einer Perspektive zweiter Ordnung erschlossen wird.

Im Unterschied zur Perspektive zweiter Ordnung auf den Gegenstand, der für die Lernenden der Gegenstand ist, nehmen Perspektiven erster Ordnung die Lernenden oder die Gegenstände ihrer Auseinandersetzungen direkt aus Beobachtersicht in den Blick. Auch Schülervorstellungen können aus einer Perspektive erster Ordnung beschrieben werden, nämlich wenn sich die Aufmerksamkeit der ForscherInnen auf als existent angenommene und zu erschließende Schülervorstellungen als Forschungsgegenstand richtet. Vielleicht erscheint der Unterschied zwischen der Rekonstruktion des Lerngegenstandes und der Beschreibung von Schülervorstellungen marginal. Wesentlich ist aber die immer gegebene Gebundenheit von Erlebensweisen an die Gegenstände des Erlebens. Diese wird in der phänomenografischen Beschreibung berücksichtigt, weil sie schon lerntheoretisch zugrunde gelegt wird.

In der konstruktivistischen Lernforschung hingegen wurde die „Kontextabhängigkeit“ von Vorstellungen als problematisch festgestellt, als sich herausstellte, dass SchülerInnen Vorstellungen, die ihnen in bestimmten Kontexten zugeschrieben wurden, nicht wie erwartet auf andere fachlich vergleichbare Phänomene übertragen, sondern sich (aus Forschersicht) inkonsistent äußern.

Die Rekonstruktion von Lerngegenständen aus einer Perspektive zweiter Ordnung besteht also zunächst in einer empathischen Interpretation von Äußerungen und Handlungen Lernender, die in einem Spektrum unterschiedlicher Beschreibungen bezogen auf denselben Lerngegenstand resultiert. Diese Beschreibungen reflektieren, was und in welcher Strukturierung für die Lernenden der Gegenstand ist. Es ist nun möglich, aus einer Vielzahl erhobener Äußerungen eine begrenzte Anzahl von Beschreibungskategorien zu entwickeln zwischen denen unterrichtlich relevante Unterschiede bestehen. Dazu ist ein rekursives Verfahren nötig, das Hypothesen über relevante Unterschiede zwischen Erlebensweisen wiederholt auf die erhobenen Daten bezieht, ausschärft und darauf abzielt, Erlebensweisen möglichst knapp und kontrastierend zu beschreiben. Auf diesem Wege kann die Anzahl verschiedener Beschreibungen systematisch auf ein aussagekräftiges Minimum reduziert werden, das als Satz phänomenografischer Kategorien bezeichnet wird.

Phänomenografische Kategorien

Das Ergebnis einer phänomenografischen Untersuchung sind die Beschreibungskategorien, die Auskunft über erwartbare Erlebensweisen zu gegebenen Lerngegenständen geben. Ein solcher Kategoriensatz ist in dem Sinne vollständig, als alle (!) erhobenen Äußerungen und Handlungen durch die Kategorien reflektiert werden. Die Unterschiede zwischen phänomenografischen Kategorien desselben Kategoriensatzes sind in der Verschiedenheit der Aspekte zu suchen, die die jeweiligen Phänomenstrukturierungen konstituieren. Sie unterscheiden sich auch von fachlichen Theorien insbesondere im Hinblick auf die jeweils thematischen und als relevant erlebten Aspekte. Daher ist es durchaus möglich, dass inhaltlich unterschiedliche und auch widersprüchliche Aussagen der Lernenden auf dieselbe Erlebensweise zurückgeführt werden, nämlich dann, wenn sie sich auf dieselben Phänomenaspekte beziehen. Welche Phänomenaspekte als konstitutiv für das Erleben bezeichnet werden können, ist daran zu erkennen, dass die Lernenden sprechend oder handelnd Bezug auf sie nehmen und dass ihre Deutungen sich mittels dieser Aspekte begründen lassen.

Der Nutzen phänomenografischer Kategorien im Modell der didaktischen Rekonstruktion ist es, erwartbare (und plausible) Verständnisse von SchülerInnen zu kennen, die zusammen mit der fachlichen Klärung eine didaktische Strukturierung begründen können. Darüber hinaus lassen sich phänomenografische Kategorien als diagnostisches Instrument zur Einschätzung von Schüleräußerungen im Unterricht nutzen.

3. Didaktische Rekonstruktion am Beispiel Licht und Schatten

Die im Folgenden skizzierte didaktische Rekonstruktion bezieht sich nur auf die Unterstützung von Verstehensprozessen zu Licht und Schatten. Erklärungsorientierte Zugänge zu Schatten möchte ich daher zunächst von anderen legitimen Beschäftigungen mit Schatten im Sachunterricht unterscheiden. Dazu gehören mythologische, psychologische und affektive Aspekte von Schatten, deren Thematisierung im Unterricht sich zum Beispiel pädagogisch oder im Hinblick auf ästhetische Bildung begründen lässt. Die spielerische Beschäftigung mit Schatten beim Schattentheater, Schattenfangen oder Ähnlichem ist außerdem geeignet, Erfahrungen mit Schatten zu vertiefen und jenseits von Erklärungsabsichten Regelmäßigkeiten zu entdecken.

Regelhaftigkeiten von Schatten sind zum Beispiel: zu jedem Schatten gehört eine Lichtquelle und ein Objekt (eine Person oder ein Gegenstand); Schatten sind von der Lichtquelle aus gesehen immer hinter dem Schatten werfenden Objekt; Schatten bilden ihre Gegenstände oder Personen ab; Schatten lassen sich mit Lichtquellen steuern und man kann Schattenorientierungen, -formen und -größen vorhersagen. Die Entdeckung von Regelhaftigkeiten wiederum ist Voraussetzung dafür, dass Erklärungen gesucht werden und sinnstiftend werden können. Wer (noch) nicht bemerkt hat, dass Schatten immer „hinter“ dem Objekt sind, kann überhaupt nicht wissen wollen, warum es so ist.

Auf Verstehen ausgerichteter Unterricht zu Schattenphänomenen nimmt insbesondere Ursachen für beobachtetes regelhaftes Verhalten von Schatten in den Blick. Konkrete Fragen könnten sein, warum sich Schatten mit Personen mitbewegen, ob es auch im Dunkeln Schatten gibt, warum Schatten Gegenstände und Personen abbilden, mal groß und mal klein sind, wie dunkel (schwarz?) sie eigentlich sind und was der sichtbare Schatten mit dem räumlichen Schatten zu tun hat, „in den man geht um sich abzukühlen“ usw. Sämtliche dieser Problemstellungen, können nicht ohne die Thematisierung von strömendem Licht, d.h. nicht ohne die gedankliche Konstruktion von Lichtwegen geklärt werden. Wer nun versucht, die Aufmerksamkeit von SchülerInnen auf das Licht zu lenken, merkt in der Regel nicht, dass Kinder Licht als das identifizieren, was sie wahrnehmen und was in der Alltagssprache als Licht bezeichnet wird, nämlich Helligkeit, beleuchtete Flächen und die Lichtquellen selbst (Guesne 1985, Jung 1989, Murmann 2002). Leicht zu bemerken ist, dass die SchülerInnen sich im Zusammenhang mit Schatten zunächst nicht für das Licht interessieren.

Helligkeit und sichtbar beleuchtete Flächen sind für die Physik Effekte des Lichts und Licht ist ein Fachbegriff, der etwas Unsichtbares, Strömendes bezeichnet. Die Frage, „ob und inwiefern, d.h. vor allem in welchem Bezug zu unmittelbar sinnlich wahrnehmbaren Phänomenen, sie [Fachbegriffe] für den Schüler als Fachbegriffe kenntlich sind“ ist eine didaktisch relevante Frage, denn „wer Fachbegriffe letztlich als Bezeichner phänomenaler Gegebenheiten ‚lernt‘, der wird [...] mit Blick auf die Interpretation wissenschaftlicher Aussagen für einen naiven Realismus anfällig sein“ (Wagner 2004, 193).

Dass die Unterschiedlichkeit und Unschärfe der Lichtbegriffe von Erwachsenen und Kindern im Unterrichtsgeschehen kaum auffällt, liegt daran, dass Kinder durchaus von Licht sprechen,² durchaus kausale Beziehungen zwischen Ursachen und Effekten herstellen und aufgrund von zunehmender Erfahrung auch in der Lage sind, zutreffende Schattenvorhersagen zu machen und bestimmte Schatten kausal auf bestimmte Lichtquellen zurückzuführen. SchülerInnen gewinnen im Rahmen des Themas „Licht und Schatten“ im Sachunterricht in der Regel Erfahrungswissen und erkennen kausale Zusammenhänge zwischen Lichtquellen und Schatten. Formulierungen wie „das Licht macht den Schatten“ oder „wo der Schatten ist kann das Licht nicht hin scheinen“ oder „die Lampe kann den Schatten nicht sehen“ drücken das aus.

Die meisten Erwachsenen in unserem Kulturkreis verfügen über einen Begriff von Licht, der strömendes Licht meint. Es erscheint vielen so selbstverständlich, Beleuchtungseffekte auf Lichtwege von der Quelle zum Effekt zurückzuführen und Schatten als unbeleuchtete Flächen zu erklären, dass ihnen kaum bewusst wird, dass sie einen naturwissenschaftlich geprägten Lichtbegriff dazu heranziehen. SchülerInnen der Primarstufe entwickeln und nutzen die Idee von schnell strömendem unsichtbarem Licht, das die Physiker erfunden haben allerdings nicht von sich aus, obwohl viele Kinder wissen, dass „Lichtgeschwindigkeit“ oder „schnell wie der Blitz“ „unheimlich schnell“ bedeutet (Murmann 2002).

3.1 Fachliche Klärung des Verhältnisses von Licht und Schatten

Schatten sind aus physikalischer Perspektive Räume, die von einer bestimmten Lichtquelle nicht beleuchtet werden, weil sich ein Hindernis im Lichtweg befindet. Beleuchtete Flächen, Helligkeit und die Helligkeit von Lichtquellen, die in der Alltagssprache allesamt als Licht bezeichnet werden, sind für die Physik wahrnehmbare *Effekte* von Licht. Das „Licht“ der Physik hingegen strömt mit Lichtgeschwindigkeit von Lichtquellen weg und es kann nur gedanklich konstruiert, aber nicht als solches beobachtet werden.

Allerdings, und dies ist ein Ergebnis der phänomenologischen Analyse von Lichtphänomenen, kann durchaus sinnlich festgestellt werden, dass zwischen einer Lichtquelle und einer sichtbar „beschiedenen“ Fläche kein Licht zu sehen ist. Diese Feststellung ist für verstehendes Lernen relevant, denn viele Erwachsene (und auch Kinder) erwarten trotz ihrer Alltagserfahrungen, dass sie in diesem Bereich Licht sehen werden, wenn eine noch

² „das Licht scheint auf den Gegenstand“, „hier ist ja Licht drauf“, „das Licht macht, dass es hell ist“ usw.

ausgeschaltete Lichtquelle eingeschaltet wird. Diese Interpolation entspricht den Lichtkegeln von Lampen, die in Comics häufig eingezeichnet sind.

Eine phänomenologische Analyse klärt die Erfahrbarkeit von Phänomenaspekten im Hinblick auf eine fachwissenschaftliche (hier die physikalische) Deutung eines Phänomens.

Ergebnisse der phänomenologischen Analyse von Schatten sind insbesondere:

- Schatten sind flächige, dunkle Figuren in einer helleren Umgebung.
- Schatten sind Räume, deren Grenzen in der Luft geradlinig verlaufen und nicht ohne weiteres sichtbar sind, die aber durch Hände, Dampf oder Staub sichtbar gemacht werden können.
- Schatten bewegen und verformen sich in Abhängigkeit von den Schatten werfenden Objekten und von Lichtquellen, die diese Objekte beleuchten.
- Die Figürlichkeit von Schatten verweist auf ein Schatten werfendes Objekt; ebenso verweist die räumliche Nähe eines diffusen Schattens auf das Objekt in seiner Nähe.
- Schattenwerfende Objekte können gleichzeitig mehrere Schatten haben, wenn mehrere Lichtquellen vorhanden sind.
- Schattenkonturen können scharf oder verschwommen sein, dies hängt von der Lichtquelle ab.
- Ort und Form von Schatten verweisen auf eine bestimmte Lichtquelle.
- Beleuchtungseffekte auf den Schatten werfenden Objekten selbst sowie die beleuchtete Umgebung von Schatten verweisen ebenfalls auf Lichtquellen.

Dass die genannten Aspekte von Schatten prinzipiell erfahrbar sind, bedeutet nicht, dass sie von beliebigen Personen tatsächlich auch bewusst wahrgenommen werden.

3.2 Phänomenografische Beschreibung von Erlebensweisen zum Verhältnis von Licht und Schatten

Aus der phänomenografischen Analyse von Schatten (vgl. Murmann 2002) resultierten drei phänomenografische Kategorien, die sich nach ihrer Differenziertheit und Inklusivität hierarchisieren lassen. Die letzte Kategorie ist die komplexeste und entspricht der physikalisch geprägten Erlebensweise, die erste Kategorie ist die am wenigsten differenzierte Erlebensweise. Die Datenbasis des folgenden Kategoriensatzes zu Schatten umfasst Videoaufzeichnungen von 50 Lerngesprächen und elf Unterrichtsstunden sowie Schülerarbeiten aus dem Unterricht, an dem insgesamt 19 SchülerInnen eines vierten Schuljahres teilnahmen, sowie Vorerhebungen in einem zweiten Schuljahr.

Phänomenografische Kategorien zu Schatten

- 1) Schatten gehören zu *Gegenständen* oder *Personen* (Schatten als Abbild).
- 2) Schatten werden durch eine *Lichtquelle* und einen *Gegenstand*, der von ihr beleuchtet wird, verursacht (Schatten als Effekt).
 - Variante a: Schatten wird mit *Lichtwegen zum Gegenstand* in Beziehung gesetzt.
 - Variante b: Schatten wird einer Lichtquelle und einem Gegenstand zugeordnet.
- 3) Der Gegenstand wirkt als Schablone für das Licht. Der Schatten ist identisch mit fehlendem Licht (Schatten als Lichtlücke).

Diskussion der phänomenografischen Beschreibungskategorien

Kategorie 1:

SchülerInnen, die Schatten entsprechend der ersten Kategorie ausschließlich in Beziehung zu den Schatten werfenden Objekten setzen, erleben Sonnenlicht oder Helligkeit gegebenenfalls als Begleitumstände von Schatten nicht jedoch als Ursache. Das Erleben des Abbildcharakters von Schatten und damit ihre Abhängigkeit und Zugehörigkeit zu Personen oder Gegenständen ist zentral. Selbst wenn die SchülerInnen erwarten, dass das Einschalten einer Lichtquelle einen Schatten hervorrufen wird, kann dies für ihr Schattenverständnis irrelevant sein. Wenn sie Schattenvorhersagen (Ort, Größe, Form) nur an Merkmalen des Gegenstandes orientieren, dann hat für sie die Lichtquelle oder das Einschalten einer Lampe ungefähr soviel mit dem Schatten zu tun, wie das Aufklappen eines Buches mit der Geschichte, die daraus vorgelesen wird.

Wie jede andere phänomenografische Kategorie kann die beschriebene Erlebensweise inhaltlich verschiedene und zwar auch widersprüchliche generalisierende Aussagen fundieren. Mit anderen Worten: So verschiedene Aussagen wie „Schatten sind ja nun mal größer als der Gegenstand“ oder „mein Schatten ist immer ganz nah bei

mir“ oder „Schatten gibt es auch im Dunkeln, nur dann kann man sie nicht sehen“ usw. ließen sich auf der Aussageebene als unterschiedliche Vorstellungen klassifizieren (vgl. Blumör 1993) oder als Ausdruck unterschiedlicher Wissensfaszeten (vgl. Galili & Hazan 2000). Sie sind aber gegebenenfalls³ im Erleben des Abbildcharakters und der Zugehörigkeit von Schatten zu Objekten aufgehoben.

Ein solches Erleben von Schattenphänomenen lässt sich deutlich von einem Erleben unterscheiden, in dem zwischen Schatten und Lichtquellen eine kausale Beziehung hergestellt wird, wie es die zweite Kategorie beschreibt.

Kategorie 2:

Im zweiten Schuljahr ist der kausale Zusammenhang zwischen Schatten und Lichtquelle für viele SchülerInnen eine spannende Entdeckung, im vierten Schuljahr ist er für die meisten SchülerInnen selbstverständlich. Wenn SchülerInnen damit anfangen Schatten kausal mit Lichtquellen in Verbindung zu bringen, lässt sich häufig eine kreative Phase beobachten, in der sie alle möglichen Theorien über den Kausalzusammenhang entwickeln.

Damit ist nicht gesagt, dass sie ihre Theorien von sich aus überprüfen oder dass sie zutreffend wären. Es ist zum Beispiel nicht selten, dass Kinder vermuten, Schatten seien stets gerade dort, wo besonders viel Helligkeit ist (z.B. im Sonnenlicht, vgl. Blumör 1993, 75) oder genau an der Stelle, auf die eine Lampe gerichtet ist oder entweder vor oder hinter dem Objekt, jedenfalls auf einer Linie mit der Lichtquelle und dem Gegenstand. Für diese Kinder ist also eine Lichtquelle thematischer Aspekt der Gesamtanordnung und sie thematisieren Zusammenhänge zwischen Schatten, Gegenstand und Lichtquelle, die für sie das Phänomen konstituieren. Ihre Äußerungen und Vorhersagen entwickeln sich mit zunehmender Erfahrung und sie lernen dabei viel über die regelhafte Beziehung zwischen Lichtquellen und Schatten. Die Umgebung des Schattens ist im Rahmen dieses kausalen Effekterlebens bemerkenswerter Weise kein Teil des Phänomens geschweige denn Bezugspunkt für Erklärungen.

Die SchülerInnen, die Schatten als Effekt bzw. Wirkung erleben, sehen die Helligkeit um den Schatten herum natürlich, aber darüber zu sprechen bedeutet für sie das Thema zu wechseln. Stattdessen thematisieren die SchülerInnen in der Regel zunächst die beleuchtete und unbeleuchtete Seite des Schatten werfenden Objektes, d.h. sie entfalten die Zusammenhänge zwischen Schatten und Lichtquelle sowie zwischen Gegenstand und Lichtquelle zusätzlich zu der in Kategorie 1 thematischen Beziehung zwischen Schatten und Gegenstand. Der Zusammenhang zwischen der Lichtquelle und der beleuchteten Umgebung des Schattens gehört nicht dazu. Die beleuchtete Umgebung des Schattens ist unthematischer Teil dieses Erlebens.

Die bisher beschriebenen Erlebensweisen sind abhängig vom Grad der Erfahrung und bewussten Beschäftigung mit Schattenphänomenen. Ein erfahrungsgesättigtes Schattenerleben, in dem Schatten als vollkommen regelhaft und bezogen auf die Lichtverhältnisse und die Gegenstände reproduzierbar erlebt werden, führt durch Erfahrung allein nicht zu einem Erleben wie es die erste Kategorie beschreibt.

Ohne eine Idee von strömendem Licht können sich Lernende zwar nicht erklären, warum Schatten sich überaus regelhaft verhalten, wissen aber dass es so ist, dass es mit der Lichtquelle zusammenhängt und können erfahrungsbasiert sehr gute Vorhersagen treffen. Typische Äußerungen sind dann, dass Schatten klein sind, wenn die Sonne hoch steht bzw. die Lampe über dem Gegenstand hängt, dass Schatten immer hinter dem Gegenstand sind, dass Schatten dem Licht ausweichen, sich sozusagen verstecken, dass die Lampe den Schatten nicht sehen kann usw.

Kategorie 3:

Es ist ein merkbarer qualitativer Sprung, wenn Lernende Schatten als unbeleuchtete Flächen oder Räume identifizieren. Der Übergang von einem Erleben gemäß der Beschreibung der zweiten Kategorie zu einem Erleben, wie es die dritte Kategorie beschreibt, erfolgt teilweise deutlich als Doppelung: In diesem Erleben gibt es erstens einen Bereich hinter einem Schatten werfenden Objekt, wo das Licht nicht hin scheinen kann und zweitens taucht dort der Schatten auf. Der Schatten ist aber nicht damit identisch, dass das Licht dort nicht hin kann. D.h. der Schattenbereich ist in diesem Erleben zwar unbeleuchtet, aber der Schatten ist zusätzlich vorhanden.

SchülerInnen, die in der Lage sind, Schatten als unbeleuchtete Bereiche zu erleben oder als Lichtlücke zu identifizieren, können eine Thematisierung der beleuchteten Umgebung von Schatten aufgreifen und eigene Bei-

³ Von einzelnen Aussagen kann in der Regel nicht auf ein fundierendes Erleben geschlossen werden. Die zitierten Äußerungen allein geben allerdings keine Hinweise auf Erlebensweisen wie sie die zweite oder dritte Kategorie beschreiben.

träge daran anknüpfen. Sie nehmen Schatten als Kontrastphänomen wahr und sehen einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Schatten und deren beleuchteter Umgebung. Ihre Aufmerksamkeit richtet sich dann auch auf die Lichtwege, die am Schatten werfenden Objekt vorbei führen und nicht nur auf die Lichtwege, die zum Schatten werfenden Objekt hin führen.

Qualitativ unterscheidbare Erlebensweisen sagen wenig über die fachliche Haltbarkeit damit verbundener Aussagen aus, allerdings sagen sie viel über die Verstehensmöglichkeiten aus, die die jeweilige Phänomenstrukturierung bietet. Lernen findet selbstverständlich nicht nur im Übergang zwischen den verschiedenen Erlebensweisen statt, sondern in vielfältigen Varianten innerhalb der Erlebensstufen. Innerhalb einer Erlebensstufe werden insbesondere Zusammenhänge zwischen den Aspekten hergestellt, verworfen oder verändert und geschärft, die das jeweilige Erleben des Phänomens konstituieren.

3.3 Didaktische Strukturierung

Schattenphänomene sind weniger als andere Lichtphänomene geeignet, erschließendes Wissen zu erarbeiten, denn zum einen lenken Schatten vom Licht ab und ziehen die Aufmerksamkeit auf sich und zum anderen ist es schwierig, von etwas Figürlichem und „schwarz auf weiß“ Vorhandenem (Schatten) auf die Behinderung von etwas zu schließen, dass man nicht sehen kann (Licht). Es ist deutlich einfacher, Wissen über Licht anhand von Beleuchtungseffekten und Lichtumlenkungen durch Spiegel und Licht streuende Gegenstände zu erschließen und dieses Wissen dann zur Erklärung von Schatten zu nutzen.

Zur verstehenden Erschließung von Schatten trägt dann eine handlungsorientierte Thematisierung der Räumlichkeit von Schatten wesentlich bei. Außerdem sind farbige Schatten, die mit zwei farbigen Lichtquellen erzeugt werden, nicht nur höchst attraktiv, sondern auch hilfreiche Gesprächsanlässe, die die Thematisierung von möglichen und unmöglichen Lichtwegen nahe legen. Dies trägt dann zur Klärung bei, wenn die SchülerInnen ein Schattenerleben wie es Kategorie 2 beschreibt, bereits relativ differenziert erschlossen haben, d.h. wenn sie Richtungsbeziehungen zwischen Schatten, Gegenstand und Lichtquelle sicher vorhersagen können.

Das gedachte Licht, dem die Kinder nicht begegnen, wenn es nicht explizit zum Thema gemacht wird, ist die zentrale Idee der Physik in der Optik. Sollte man Kindern vorenthalten, dass WissenschaftlerInnen und andere Erwachsene einhellig der Meinung sind, dass es ein unsichtbares strömendes Licht gibt, obwohl noch niemand gesehen hat, dass es wirklich durch die Gegend flitzt? In Unterrichtsmaterialien für den Sachunterricht taucht das unsichtbar strömende Licht so gut wie gar nicht oder als etwas quasi Selbstverständliches implizit auf. Das lässt sich mit Kindorientierung kaum begründen, sondern ist eine Folge mangelnden Wissens über inhaltsbezogene Lernprozesse. Zu glauben, Kinder könnten Schatten auch ohne die Erarbeitung dieser Idee verstehen, ist illusorisch. Das können Erwachsene auch nicht.

Möglichkeiten zur Thematisierung von Licht

1. Lichtfiguren

Figürlichkeit bindet Aufmerksamkeit. Daher ist es hilfreich zur Thematisierung von Licht mit Schablonen zu arbeiten bzw. Lichtquellen in Kartons zu platzieren und Öffnungen für das Licht auszuschneiden. Die für SchülerInnen offensichtliche Beziehung zwischen der Form des „Lichtdurchganges“ und der Lichtfigur kann zum Anlass genommen werden über die Sichtbarkeit bzw. Unsichtbarkeit von Licht zwischen beiden zu sprechen, die Geradlinigkeit der Lichtwege zu untersuchen, Darstellungen sichtbarer Lichtkegel in Comics zu thematisieren, Lichtbündel mittels Staub oder Dampf sichtbar zu machen und über die Qualität dieses Lichtes, das man nicht sieht, zu philosophieren. Daran können Vorhersagen oder Begründungen für die entstehenden Lichtfiguren anknüpfen. Auch Findungsprozesse oder Aushandlungen darüber, mit welchen Wörtern man Helligkeit, beleuchtete Flächen, Lichtquellen und das unsichtbare Licht bezeichnen will, und sie dadurch im Gespräch unterscheiden kann, haben in der Auseinandersetzung mit Lichtwegen eine gute Basis.

2. Lichtwege

Über Lichtwege nachzudenken setzt nicht voraus, Licht als strömende Entität zu begreifen. Auf der Phänomenebene ist die Beziehung zwischen Beleuchtungseffekten und Lichtquellen kausal leicht zugänglich um nicht zu sagen selbstverständlich. Sie entspricht ungefähr der dritten phänomenografischen Kategorie zu Schatten, denn ebenso wie ein figürlicher Schatten auf einen Schatten werfenden Gegenstand verweist, verweisen Beleuchtungseffekte auf Lichtquellen. Die Beschäftigung mit Lichtwegen, ist durch diesen Verweisungsbezug und all-

tagssprachliche Selbstverständlichkeiten, wie „hin scheinen“ „hell machen“ usw. auf der Erfahrungsebene gut vorbereitet, wenn man sie nicht ausgerechnet an Schatten koppelt.

Die Thematisierung von strömendem Licht und seiner „Unsichtbarkeit in der Luft“ liegt bei der Beschäftigung mit Lichtwegen didaktisch nahe. Dazu eignen sich nicht nur direkte Lichtwege (s.o.), sondern besonders Lichtumlenkungen mit Spiegeln oder mit hellen farbigen Gegenständen. Wer versucht, mit Spiegeln ausgestattet Beleuchtung auf indirektem Wege herzustellen, merkt deutlich, dass das Licht in der Luft nicht sichtbar ist und andere Anhaltspunkte gesucht werden müssen, um eine Lichtumleitung zu realisieren.

Die direkte Beleuchtung weißer oder farbiger Gegenstände in einem abgedunkelten Raum erzeugt (farbige) Beleuchtung auf einer benachbarten Fläche. Diese Färbung wird von Kindern ebenfalls problemlos auf die Beleuchtung des Gegenstandes zurückgeführt, wenn sie die Beleuchtung selbst kontrollieren. Dass es sich bei der Färbung um „farbiges Licht“ und nicht um „Abfärben“ handelt, ist nicht offensichtlich, aber für Kinder leicht akzeptabel. Es unterscheidet sich für sie nicht wesentlich von Licht, das durch farbiges Glas oder Prismen erzeugt werden kann. Auch das Mondlicht als Streulicht der Sonne, kann mit dem Streulicht von hellen Gegenständen in Beziehung gesetzt werden (Shapiro 1994).

Didaktisch ungeschickt, weil sehr voraussetzungsvoll und dem Sachunterricht meines Erachtens nicht angemessen ist es allerdings, das farbige Streulicht gleich als Anlass zur Thematisierung des Sehvorgangs zu nutzen. Das liegt nur physikalisch nicht aber phänomenologisch nahe.

3. Schatten

Das spielerische Erschließen erfahrbarer Regelmäßigkeiten von Schatten und auch die Vorhersage von Schatten in tatsächlichen Probiersituationen usw. bilden eine wichtige Erfahrungsbasis, wenn Schatten verstanden werden sollen.

Schattenraum: Erschließendes Wissen für die Erklärung von Schatten kann darüber hinaus nicht durch die Beschäftigung mit flächigen Schatten erarbeitet werden, sondern nur durch die Beschäftigung mit Licht und der Räumlichkeit von Schatten. Die Räumlichkeit von Schatten lässt sich visualisieren, indem man solange Gegenstände oder Personen in einen Schattenraum stellt, bis dieser ganz oder fast ausgefüllt ist, wobei nichts und niemand im Schattenraum direkt beleuchtet wird. Schattenraumgrenzen in der Luft können aus dem Schattenraum heraus mit den Händen erkundet werden und erschließen sich von außen als Begrenzung der Schattenfüllung.

Farbige Schatten: Farbige Schatten, die mit zwei farbigen Lichtquellen erzeugt werden, haben einen großen didaktischen Vorteil gegenüber Mehrfachschaten, die mit weißem Licht erzeugt werden. Denn es wird aufgrund der Farbe sowohl ein Zusammenhang zwischen einer Lichtquelle und dem gleichfarbigen Schatten erlebt als auch über die vertraute Richtungsbeziehung ein Zusammenhang zwischen der Lichtquelle und dem andersfarbigen Schatten.

SchülerInnen, die mit Schatten Erfahrungen haben, finden farbige Schatten auf den ersten Blick nicht verwunderlich, weil schließlich farbiges Licht verwendet wird. Sie stellen dann allerdings schnell fest, dass „die Farben vertauscht sind“.

Da sich bei Bewegung einer Lichtquelle der andersfarbige Schatten mitbewegt, bzw. beim Ausschalten einer Lichtquelle der andersfarbige Schatten verschwindet, bieten sich hier weiterführende Anlässe zum Nachdenken über die Beziehung zwischen Licht und Schatten als bei gleichfarbigen bzw. weißen Lichtquellen.

Die Verwendung von drei farbigen Lichtquellen, die in Science Centern häufiger anzufinden ist (z.B. Phänomena Bremerhaven, Explo Heidelberg u.a.) ist zur Erkundung von Farbmischungen sehr attraktiv, für das Erschließen der Zusammenhänge zwischen Schatten und Licht allerdings zu komplex, insbesondere wenn die Lichtquellen selbst nicht bewegt werden können.

Ich möchte zwei, meinen nicht repräsentativen Beobachtungen zufolge, im Sachunterricht häufig eingesetzte Aufgaben kritisch hinterfragen:

- Aufgabe 1: Unterscheide transparente/lichtdurchlässige und nicht-transparente/lichtundurchlässige Materialien.
- Aufgabe 2: Unterscheide künstliche und natürliche Lichtquellen.

Die Aufgaben beziehen sich in der Regel auf Abbildungen auf Arbeitsblättern.

Wenn Kinder keinen Begriff von Licht als einem unsichtbar strömenden Etwas haben, sondern unter „Licht“ Lichtquellen, Beleuchtungseffekte oder Helligkeit verstehen (Zustand, Quelle, Effekt), dann sind die Unterscheidungen zwischen künstlichen und natürlichen Lichtquellen sowie lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen

Materialien ungefähr so sinnstiftend, wie die Unterscheidung zwischen gepolsterten und nicht gepolsterten Sitzmöbeln. Die Kinder können hier lernen, dass (un)durchsichtig auch licht(un)durchlässig genannt wird. Es wird zudem nicht nur für Kinder, sondern auch für Sachunterrichtsstudierende Verwirrung gestiftet, indem sie anfangen von künstlichem und natürlichem Licht statt künstlichen und natürlichen Lichtquellen zu sprechen. Diese Unterscheidung ist naturwissenschaftlich weder weiterführend noch ergiebig.

Wenn die SchülerInnen allerdings einen Begriff von Licht als unsichtbar strömender Entität haben, dann ist die Betrachtung von lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen Medien durchaus von Interesse. Sicherlich aber nicht im Hinblick auf die Charakterisierung von Materialien, sondern im Hinblick auf die Untersuchung von möglichen und unmöglichen Lichtwegen.

4. Schluss

Die ausführliche Thematisierung von physikbezogenen Aspekten des Lernens über Licht und Schatten in diesem Artikel hatte zum Ziel, Möglichkeiten fachdidaktischer Lernforschung für den Sachunterricht an einem inhaltlichen Beispiel aufzuzeigen. Die Thematisierung von Licht und Schatten im Sachunterricht kann und soll damit nicht umfassend begründet werden.

Aktuell liegt die Aufwertung von Naturwissenschaften im Sachunterricht im Gefolge der internationalen Vergleichsstudien zu Schülerleistungen im Trend. Wenn dadurch der fachdidaktisch kaum fundierte Transport von abstraktem Wissen, scheinbar kindgerechten Elementarisierungen oder inhaltlich beliebiger Interessenförderung mittels Experimentieren im Sachunterricht gestärkt wird, ist für die SchülerInnen wenig gewonnen. Wenn sich allerdings die Sachunterrichtsdidaktik und andere Fachdidaktiken zu eigenständigen Bezugswissenschaften der Lehrkräfte entwickeln, kann Lernforschung zum naturwissenschaftlichen Lernen für die Welterschließung von SchülerInnen Potenzial entfalten.

Die bildungstheoretisch wohlbegründete normative Forderung, dass der Sachunterricht mehrperspektivisch und nicht fach- sondern sachbezogener Unterricht sein soll, erfordert eine Integrationsleistung seitens der wissenschaftlichen Sachunterrichtsdidaktik. Diese Integrationsleistung für den Unterricht ist in der dargestellten didaktischen Rekonstruktion zu Licht und Schatten nur angedeutet. Die Darstellung beschränkt sich weitgehend auf physikalische Zugänge zu Licht und Schatten. Der Beschränkung der Perspektive im Forschungsprozess liegt eine Entscheidung zugrunde, die forschungsmethodisch begründet ist. Die Beschränkung auf eine fachliche Perspektive erlaubt es, intensiver als bei einer vorgeschalteten Integration verschiedener Perspektiven auf Licht (z.B. der Kunst, der Fotografie, der Psychologie, der Biologie oder der Technik) den Eigensinn des physikalischen Zugangs und diesbezüglicher Lernprozesse zu untersuchen. Sowohl das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als auch die phänomenografische Lernforschung sind jedoch offen für verschiedene bzw. unterschiedlich weit gefasste fachliche Bezüge. Simone Seitz beispielsweise nutzt das Modell der Didaktischen Rekonstruktion in überzeugender Weise überfachlich zur didaktischen Strukturierung des Themas Zeit für den inklusiven Sachunterricht (vgl. Seitz 2004). Im Bereich der Lernforschung sind ausschnittshafte Perspektiven und Rekonstruktionen als (zweckmäßige) Schritte auf dem Weg zu einer umfassenderen unterrichtlichen Umsetzung zu verstehen.

Literatur

- Blumör, Rüdiger (1993): Schülerverständnisse und Lernprozesse in der elementaren Optik. Magdeburg, Essen: Westarp Wissenschaften
- Brickhouse, Nancy (1994): Children's Observations, Ideas, and the Development of Classroom Theories about Light. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 639-656
- Brown, David E. (1992): Using Examples and Analogies to Remediate Misconceptions in Physics: Factors Influencing Conceptual Change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 17-34
- Carey, Susan (1985): *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, Mass.: MIT Press
- di Sessa, Andrea A. (1983): Phenomenology and the evolution of intuition. In: Gentner, D./Stevens, A. L. (Eds.) (1983): *Mental models*. Hillsdale and London: Lawrence Erlbaum, 15-33
- di Sessa, Andrea A. (1993): Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105-226
- Driver, Rosalind (1981): Pupils' Alternative Frameworks in Science. *European Journal of Science Education*, 3(1), 93-101
- Duit, Reinders (2002): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Kircher, E./Schneider, W. (Hrsg.) (2002): *Physikdidaktik in der Praxis*. Berlin: Springer, 1-26

- Galili, Igal/Hazan, Amnon (2000): Learners' Knowledge in Optics: Interpretation, Structure and Analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88
- Gropengießer, Harald/Kattmann, Ulrich (1993): Didaktische Rekonstruktion zentraler biologischer Begriffe am Beispiel „Sehen“. In: Kühnemund, H./Frey, H. D. (Hrsg.) (1993): *Arbeitsberichte Naturwissenschaften 15 – Lebenswirklichkeit und Wissenschaft*. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien, 60-65
- Gropengießer, Harald (1997): Didaktische Rekonstruktion des „Sehens“. *Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung*. Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität
- Guesne, Edith (1985): Light. In: Driver, R./Guesne, E./Tiberghien, A. (Eds.) (1985): *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press, 10-33
- Jung, Walter (1985): Schülervorstellungen im Physikunterricht – ein didaktisches Problem. *physica didactica* 12(4)
- Jung, Walter (1989): Phänomenologisches versus physikalisches optisches Schema als Interpretationsinstrumente bei Interviews. *physica didactica*, 16(4), 35-46
- Lauterbach, Roland (1997): Einführung: Fachdidaktische Forschung für den Sachunterricht. In: Köhnlein, W./Marquardt-Mau, B./Lauterbach, R. (Hrsg.) (1997): *Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts – Bd. 7*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Marton, Ference (1993): Our Experience of the Physical World. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 227-32
- Marton, Ference/Booth, Shirley (1997): *Learning and Awareness*. Mahwah, N. J.: Erlbaum
- Möller, Kornelia (1999): Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: Köhnlein, W./Marquardt-Mau, B./Schreier, H. (Hrsg.) (1999): *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 125-191
- Möller, Kornelia (2000): Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: R. Duit, C. v. Rhöneck (Hrsg.) (2000): *Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung*. Kiel: IPN, 131-156
- Murmann, Lydia (2002): *Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen – eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe*. Berlin: Logos
- Redeker, Bruno (1981): Phänomenologie und Fachdidaktik. *physica didactica*, 8(1), 29-40
- Schecker, Horst (1985): *Das Schülerverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*. Dissertation. Universität Bremen
- Schmidt, Dieter (1989): *Zum Konzeptwechsel – Eine Untersuchung über den Konzeptwechsel am elektrischen Stromkreis*. Frankfurt a. M.: Lang
- Seitz, Simone (2003): Wege zu einer inklusiven Didaktik des Sachunterrichts – das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. In: Feuser, G. (Hrsg.) (2003): *Integration heute – Perspektiven ihrer Weiterentwicklung in Theorie und Praxis*. Frankfurt a. M.: Lang, 91-104
- Seitz, Simone (2004): Was Kinder an Zeit berührt. In: *Einblicke* (Sept. 2004). *Forschungsmagazin der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*
- Selley, Nicholas J. (1996): Towards a Phenomenography of Light and Vision. *International Journal of Science Education*, 18(7), 837-846
- Shapiro, Bonnie L. (1994): *What Children Bring to Light*. New York: Teachers College
- Tenberge, Claudia (2002): *Persönlichkeitsentwicklung und Sachunterricht*. Dissertation. Universität Münster
- Treffler, R. (1990): Fehlkonzepte erkennen durch Faktoranalyse von Multiple-Choice-Fragen – eine schnelle Möglichkeit zur Kontrolle von Lernerfolgen. In: Wiebel, K. H. (Hrsg.) (1990). *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven*. Alsbach: Leuchtturm, 314-316
- Wagner, Elke (2004): Naturwissenschaftliche Fachbegriffe im Sachunterricht: Zeichen für Sprachlosigkeit oder Schlüssel zu notwendiger Propädeutik? In: Rauterberg, M./Scholz, G. (Hrsg.) (2004): *Die Dinge haben Namen*. Baltmannsweiler: Schneider, 171-196
- Wilkening, Friedrich/Lamsfuss, Sabina. (1993): (Miß-)konzepte der naiven Physik im Entwicklungsverlauf. In: Hell, W. (Hrsg.) (1993): *Kognitive Täuschungen, Fehl-Leistungen und Mechanismen des Urteilens, Denkens, Erinnerns*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, 271-290