

Offenes Experimentieren als Lernform

Ein wichtiger Gegenstand chemie- und physikdidaktischer Forschung sind zweifelsohne die Formen, wie Physik- oder Chemielernen stattfindet und die Bedingungen solcher Lernprozesse. Es lassen sich innere und äußere Formen oder Bedingungen unterscheiden. Bei den inneren Formen geht es um Lernmethoden in engeren Sinne sowie um kognitive und metakognitive Strategien. Dazu zählen Verstehens- oder Abstraktionsprozesse beim Elaborieren eines Inhalts, der Transfer bzw. die Transformation auf neue Bereiche, die Steuerung des eigenen Lernprozesses und schließlich auch Motivation und Interesse für das Lernen. Zu den äußeren Formen von Lernprozessen gehören neben den Lehrmethoden die Lernumgebung oder -situation, einschließlich der Medien und Sozialformen, die solche Lernprozesse stützen.

Zur Untersuchung von Lernformen

Allgemein gesehen ist die Untersuchung der Bedingungen von Lernen als relativ dauerhafte Verhaltensänderung oder Umstrukturierung des Erlebnissfeldes (Wertheimer 1957) Gegenstand der Psychologie, etwa der pädagogischen Psychologie, der Kognitions- oder Problemlösepsychologie. Unsere fachdidaktischen Arbeiten beruhen in der Regel auf Ansätzen und Resultaten solcher Untersuchungen; zum Teil beteiligen wir uns auch in interdisziplinären Projekten an dieser Forschung.

Entscheidend sind darüber hinaus, wenn man das Lernen untersucht, pädagogische und didaktische Gesichtspunkte. Wie wollen wir Lernprozesse gestalten, was sind sinnvolle Inhalte und Ziele und wie können wir sie möglichst optimal umsetzen? So gefragt, kann es nicht allein um den Lernenden gehen, sondern auch der Lehrenden muß mit einbezogen werden. Es ist der *Lehr-Lern-Prozeß*, den es zu untersuchen gilt. Pädagogisch gesehen lassen sich Lernformen nicht isoliert thematisieren, sondern nur als Lehr-Lernformen, also in Verbindung mit den zugehörigen Lehrformen. Lehrformen sind mehr, als daß man sie als eine Variable neben vielen anderen im Geflecht der Bedingungen von Lernen abhandeln könnte.

Genauso wie beispielsweise Lehr-Lern-Forschung als Paradigma für die Erziehungswissenschaft diskutiert wird (Nenninger 1990, van Buer 1990), sind Lehr-Lern-Prozesse auch für die fachdidaktische Forschung die tragfähigere Analyseeinheit. Das Hauptargument ist, daß die Beschreibung von Lernprozessen noch keine unmittelbaren Schlüsse auf ihre Gestaltung und eine angemessene Lehrmethode zulassen. Im Extrem kann man dies bei vielen Schülervorstellungsuntersuchungen sehen. Sie haben - sehr verdienstvoll - über *eine* Bedingung von Lernen aufgeklärt. Sucht man in diesen Untersuchungen nach Empfehlungen für den Unterricht, so finden sich dort jedoch bislang nur vergleichsweise sehr allgemeine Rezepte wie z.B. das Thematisieren der Schülervorstellungen im Unterricht, das Uminterpretieren oder die Suche nach überbrückenden Analogien (Bridging) genannt. Angemessener scheinen mir da Forschungsansätze (Duit, Kattmann

1997), die die Untersuchung von Schülervorstellungen mit der didaktischen Analyse des jeweiligen Inhaltsbereichs kombinieren und mit den Vorstellungen auch die Lehr- und Lernbarkeit fachlicher Konzepte oder Theorien untersuchen. Eine ähnliche Zielsetzung verfolgen auch die Akzeptanzbefragungen (Jung 1992).

Dies führt direkt zu einer zweiten Erweiterung des Themas Lernformen. Formen - auch und gerade die Lernformen - sind nicht ohne Inhalte sinnvoll zu diskutieren. Und spätestens hier ist genuin fachdidaktische Forschung gefragt. Die Untersuchung fachspezifischer Lehr-Lernformen geht deutlich darüber hinaus, was in der pädagogischen Psychologie oder der Unterrichtswissenschaft derzeit bearbeitet wird. An der dortigen Lehr-Lernforschung wird entsprechend auch von mehreren Vertretern ein Mangel an Inhaltlichkeit kritisiert (Terhart 1986, Nenninger 1990, v. Buer 1990). Terhart wirft solchen Untersuchungen vor, daß die „Inhaltlichkeit des Lehrstoffs (...) seltsam blaß“ bleibt (Terhart, 1986, 67) und Nenninger spricht von einem „Mangel an integrativen Konzepten mit fachdidaktischer Orientierung und lerntheoretischer Prozeßanalyse“ (Nenninger 1990, 46).

Von daher sollte der Untersuchungsgegenstand Lernformen weitergefaßt werden, nämlich als „fach- oder inhaltsgebundene“ Lehr-Lernformen, die nicht inhaltsneutral sind und die sich an bestimmten Inhalten in je spezifischer Weise manifestieren. Solche Lehr-Lernformen hängen, das kann hier nur am Rande erwähnt werden, natürlich auch von der Wahl der Unterrichts- oder Bildungsziele ab. Damit ist der Rahmen, in den sich die Lehr-Lernform einordnen läßt, über die folgenden berichtet werden soll, nämlich das Offene Experimentieren, hinreichend abgesteckt.

Offenes Experimentieren

Zu den zentralen Lehr-Lernformen des naturwissenschaftlichen Unterrichts zählt seit nahezu einem Jahrhundert das Experiment. In den neueren didaktischen Arbeiten finden wir dagegen immer deutlichere Hinweise, daß sich hier fachdidaktische Absicht nicht mit der schulischen Wirklichkeit deckt. Was wird denn von Experimenten im Schulunterricht alles erwartet? Sie sollen motivieren, theoretische Kenntnisse und praktische Fähigkeiten vermitteln. Außerdem sollen sie einen Einblick in naturwissenschaftliche Arbeitsweisen geben. Die Untersuchungen zu Schülervorstellungen und Interessen stellen diese Funktionen eindeutig in Frage (eine ausführliche Diskussion der entsprechenden Literatur liegt in Reinhold (1996b) vor; im Überblick in Reinhold 1996a). Freise (1983) fordert deshalb schon seit langem eine grundlegende Neubestimmung der Rolle des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht. Auch die Beiträge auf der Podiumsdiskussion der GDCP Jahrestagung 1992 in Würzburg zur Situation des Experimentalunterrichts in den Naturwissenschaften weisen in diese Richtung. Im angelsächsischen Raum gibt es ebenfalls seit anfang der 80ziger Jahre eine entsprechende Diskussion (Hoffstein/Lunetta 1982, Hodson 1992). In dieser Diskussion geht es um die folgende Fragestellung:

Wie können Lernende experimentieren und sich dadurch einerseits physikalisches Wissen und andererseits ein adäquates Wissen über dieses Wissen so konkret aneignen,

- daß sie mit dem Wissen auch operieren können,
- daß es bildend ist und daß es
- in einem motivierten, sinnstiftenden Lernprozeß geschieht?

Die Fragestellung ist eine didaktische. Sie zielt gleichermaßen auf Materialentwicklung und auf Theoriebildung und sie fragt auch nach einer angemessenen Lehr-Lernmethode. Wissen über Physik meint in diesem Zusammenhang methodisches und erkenntnistheoretisches Wissen. Es soll neben physikalischen Konzepten und Theorien auch Inhalt experimenteller Lehr-Lern-Prozesse sein: d.h. Experimente werden nicht nur als ein lernpsychologisches oder unterrichtsmethodisches Mittel zum Zweck begriffen, sondern das Experimentieren selbst soll als Erkenntnismethode auch zum Thema werden.

In der Fragestellung heißt es weiter, daß der Lernprozeß bildend sein solle. Nach Theodor Litt (1963) liegt das bildende Moment der Naturwissenschaften in ihrer spezifischen Methode. Diese Methode - so Litt - forme den Gegenstand (die Natur) wie auch das erkennende Subjekt in ganz spezifischer Weise. Und genau dies müsse anhand einer methodologischen Reflexion experimentellen Vorgehens auch Thema im Unterricht sein. Anders formuliert: Um bildend zu sein, muß das Experimentieren selbst als Erkenntnismethode thematisiert werden.

Als Lehr-Lernform steht das Experimentieren daher in folgendem Spannungsfeld:

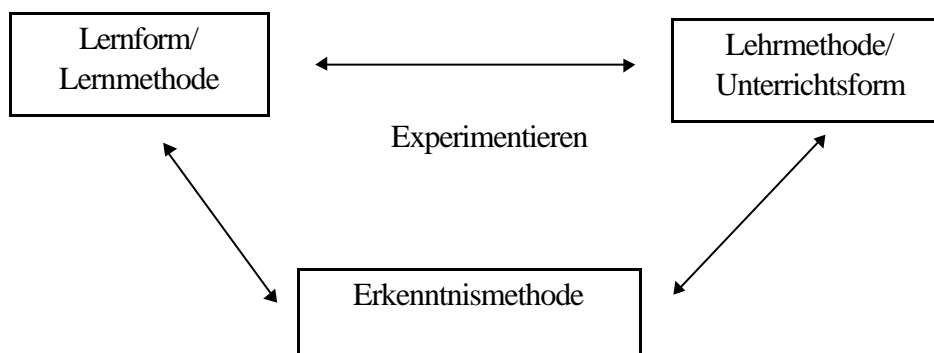


Abb. 1 Spannungsfeld des Experimentierens als Lehr-Lernform

Es ist Lehrmethode wie z.B. im didaktischen Normalverfahren (Mothes 1968, 1973), es ist Lernmethode, z.B. beim handlungsorientierten oder entdeckenden Lernen (Neber 1981), und es ist neben dem Theoretisieren die zentrale Erkenntnismethode der Naturwissenschaften. Die These wird im folgenden sein, daß Offenes Experimentieren eine Lehr-Lernform ist, die in diesem Spannungsfeld vermittelt. Und: Durch diese Lehr-Lernform können sich Lernende relativ selbständig Physik und Wissen über Physik aneignen.

Wenn hier in Verbindung mit dem Experimentieren von „offenen“ gesprochen wird, so weckt dies vermutlich zwei Assoziationen:

Offenes *Experimentieren*? Experimente sind doch eigentlich immer zu einem gewissen Grad offen. Der Ausgang ist nicht gewiß. Dies ist bei Forschungsexperimenten wohl wahr. Es ist aber bei den Praktikumsversuchen oder Schülerexperimenten nicht der Fall und darin liegt ein Problem. Im

Praktikum wie auch im Unterricht sind die Ergebnisse in der Regel bekannt. Der Versuch gilt von den Teilnehmern als richtig durchgeführt, wenn er die 'richtigen' Meßwerte reproduziert. Die Frage der Interpretation der eigenen Messungen im Lichte der Fragestellung spielt eher eine untergeordnete Rolle. Man beobachtet gelegentlich sogar, daß bei fehlerhaften Messungen zurückgerechnet und das Protokoll entsprechend frisiert wird. Auf diese Weise kommt die methodologische Funktion des Experimentierens nur schwer in den Blick.

Die zweite Assoziation betrifft, daß bei „offen“ gelegentlich an planlos, d.h. ohne jede Anleitung gedacht wird. Etwa: Den Studenten steht die Praktikumssammlung offen und sie sollen sich überlegen, wie sie alles über Induktion herausfinden. Dies ist nach allem, was wir wissen, nicht sehr produktiv. Zwar ist Lernen etwas, das man in letzter Konsequenz nur selbst tun kann. Es ist ein aktiver oder konstruktiver Prozeß, der auf der Basis des jeweils verfügbaren Wissens geschieht und dieses Wissen als Mittel für die Bearbeitung neuer Informationen nutzt. Der Prozeß bedarf aber notwendigerweise der Anregung von außen, wenn er zu fachlichem Wissen führen soll. Er bedarf solcher Anleitungen, die die Weiterentwicklung des eigenen Wissens herausfordern und unterstützen. Dies legen auch Ergebnisse der Unterrichtsforschung nahe, die die erhofften Vorteile entdeckenden Lernens nicht bestätigen konnten (Neber 1981, 1987). Neber spricht in diesem Zusammenhang von „gelenkter Entdeckung“ (Neber 1987, 513). Lenkung und Entdeckung sind für ihn zwei unabhängige, aber interagierende Dimensionen des Lehrens und Lernens.

Wenn Offenes Experimentieren also nicht planloses „Herumexperimentieren“ sein soll, wie lassen sich dann beim Experimentieren selbständige Aktivitäten der Lernenden und Anleitung durch den Lehrer sinnvoll verbinden? Dies möchte ich nun anhand eigener Fallstudien (Reinhold 1996) verdeutlichen. Die Fallstudien beziehen sich auf didaktische Seminare für Studenten mittleren Semesters im Rahmen der Lehrerbildung.

Fallstudien zum Offenen Experimentieren

Wie liefen diese Seminare ab? Nach einer kurzen Einführung habe ich den Teilnehmern ein überraschendes physikalisches Phänomen präsentiert. Die Aufgabe für die Studenten bestand darin, sich dieses Phänomen zu erklären. Ich habe sie aufgefordert, selbst Fragestellungen zu entwickeln und zur Klärung entsprechende Experimente durchzuführen. Die Schwierigkeiten, die dabei auftraten, lieferten Anlässe, daß die Studenten über ihre eigenen Erkenntnisprozesse inhaltlich wie auch methodisch nachdachten. Hierzu habe ich Formen der Unterstützung entwickelt. Am Ende der Seminare haben die Studenten entweder die einschlägige fachdidaktische Literatur aus der Perspektive ihrer eigenen Erfahrungen diskutiert oder kurze Unterrichtssequenzen Offenen Experimentierens entwickelt, mit Schülern ausprobiert und nachher im Seminar analysiert.

Insgesamt habe ich vier solcher Seminare videodokumentiert, transkribiert und dann als Fallstudien analysiert. Grundlage waren zum einen die didaktische Tätigkeitstheorie, dann eine Rekonstruktion von Lehr-Lern-Methoden und des Experimentierens, beides aus tätigkeitstheoretischer Sicht, und eine vergleichende Analyse didaktischer Ansätze zum Experimentieren (vgl. Reinhold 1996b).

Ein Beispiel: Das optische Würfelphänomen

Auf eines der Seminare möchte ich nun näher eingehen und daran das Typische des Offenen Experimentierens erläutern. Das Seminar begann mit folgendem Phänomen:

Mit einem Diaprojektor und einer davor senkrecht angeordneten Spaltblende läßt sich sehr einfach eine linienhafte Lichtquelle herstellen, die divergentes Licht erzeugt. Bringt man in ihren Strahlengang eine auf die Spitze gestellte quadratische Lochblende ein, so wird man auf einer einige Meter entfernten Leinwand ein zweidimensionales Gebilde aus Halb- und Kernschatten erwarten. Überraschenderweise erkennt man auf der Leinwand einen plastischen Würfel. Bei ruhiger Betrachtung erscheinen die Würfelkanten außerdem als helle Linien besonders hervorgehoben.

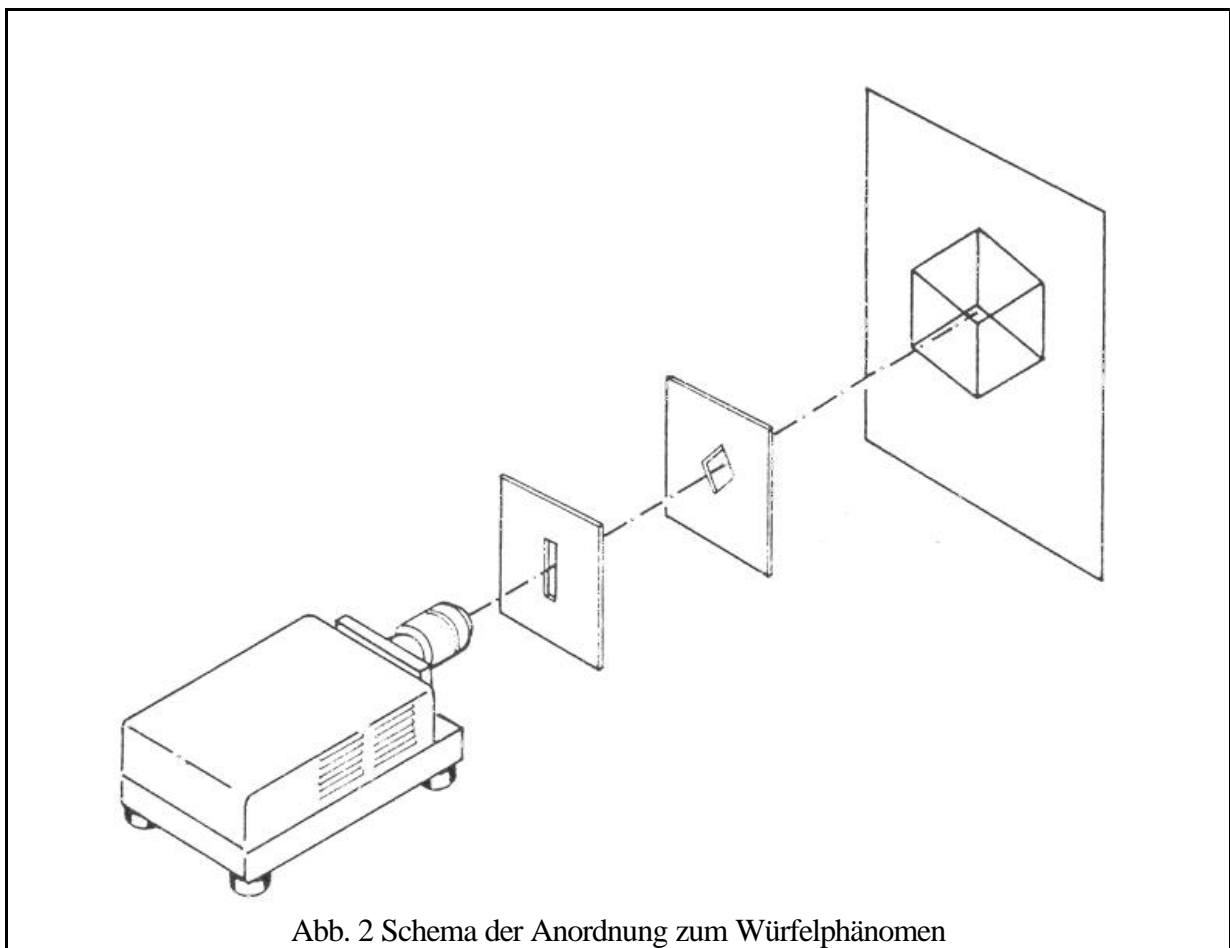


Abb. 2 Schema der Anordnung zum Würfelphänomen

Erklärungsbedürftige Situation. Offenes Experimentieren beginnt in der Regel mit der Demonstration eines solchen Phänomens und versucht auf diese Weise eine erklärungsbedürftige Situation zu erzeugen. Dazu gehört ein gewisses Überraschungsmoment, ein Staunen. Warum ist der Würfel plastisch? Woher kommen die hellen Linien?

Die Studenten konnten das Phänomen nicht so einfach in die bisherigen Erfahrungen einordnen und auf der Basis ihres jeweiligen Vorwissens erklären. Das kann so weit gehen, daß kognitive Konflikte auftreten. Beispielsweise: Schattengebilde sind normalerweise zweidimensional. Wieso wirkt dieses

Gebilde hier dreidimensional? Hier Antworten zu finden, die Widersprüche aufzulösen, darin liegt ein Motiv für die weitere Untersuchung des Phänomens.

Probieren und Spekulieren. Es folgt, wenn man als Seminarleiter nicht eingreift, eine Phase des Probierens und Spekulierens. Erste Vermutungen und Ad-hoc-Hypothesen werden geäußert und es wird probiert, ob sie zutreffen. Drehen oder Kippen der Lochblende, auch Verändern des Abstandes verändert zwar die Figur, nicht aber ihre Plastizität und die hellen Linien. Verkürzt man den Spalt vor dem Projektor, schrumpft der Würfel zur quadratischen Fläche.

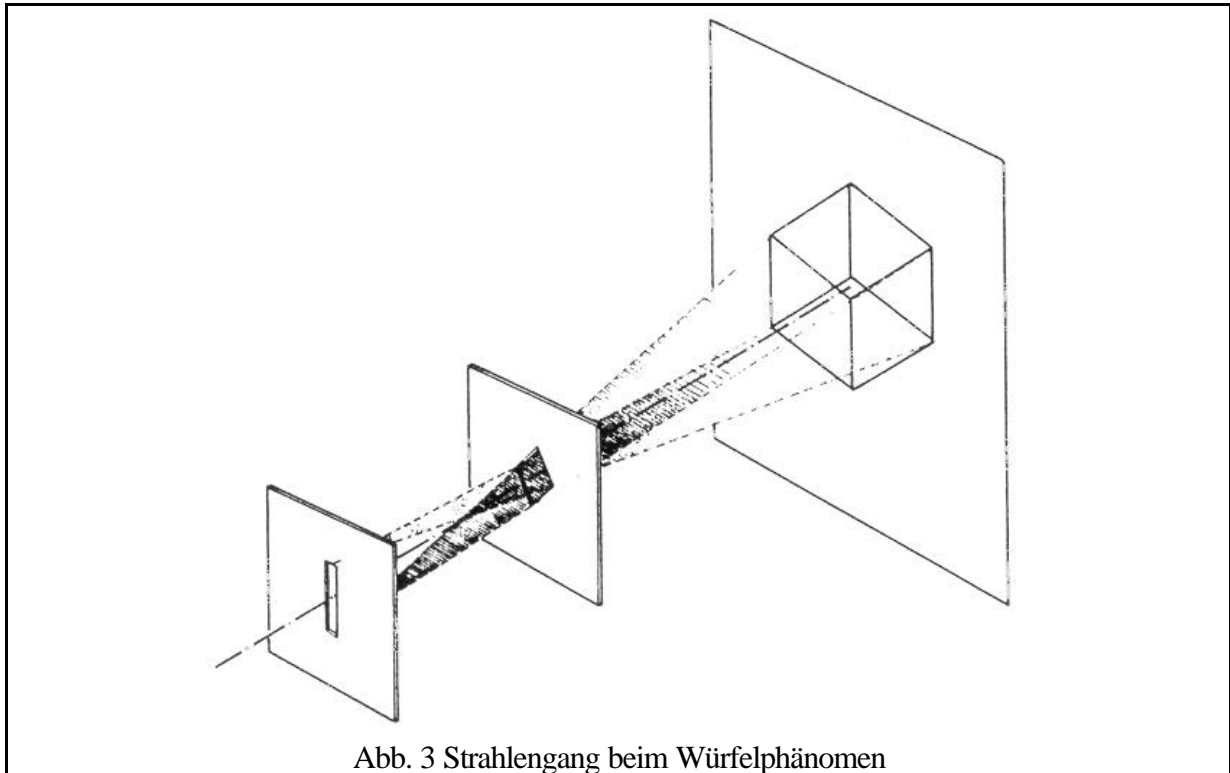


Abb. 3 Strahlengang beim Würfelphänomen

Man kann sich demnach die linienhafte Lichtquelle aus unendlich vielen, übereinander angeordneten Punktlichtquellen zusammengesetzt denken. Jede dieser Punktlichtquellen erzeugt auf der Leinwand ein helles, auf der Spitze stehendes Quadrat auf dunklem Grund. Das beobachtete Schattengebilde kann dann als Überlagerung solcher infinitesimal versetzter Quadrate verstanden werden. Woher aber kommen die hellen Linien? Sind es vielleicht Beugungstreifen oder „nur“ eine optische Täuschung?

Während dieser Phase des Probierens und Spekulierens sammeln die Studenten Erfahrungen mit dem Phänomen und beginnen gezieltere Fragen zu stellen. Sie erkennen Schritt für Schritt die Komplexität des Phänomens und entwickeln eine eigene Vorstellung davon, was sie im weiteren untersuchen wollen. Hierzu brauchen sie sehr viel Offenheit, und die Verantwortung, was geschieht, muß in dieser Phase ganz bei ihnen liegen.

Reflexion der gebildeten Systeme. Es ist leicht einzusehen, daß das Probieren und Spekulieren nach einer gewissen Zeit unproduktiv wird. Die Ideen für konkretere Hypothesen und weitere Experimente sind erschöpft und die soweit entwickelte Komplexität verlangt nach einer Systema-

tisierung. Einen solchen Standpunktwechsel und entsprechendes Nachdenken versuche ich zu unterstützen, indem ich anrege, das Phänomen einmal als ein System zu betrachten. Ein Beispiel für ein System - so wie ich den Begriff hier verwenden möchte - ist eine Fußballmannschaft. Viele gute Spieler sind noch keine gute Mannschaft. Es kommt auf das Zusammenspiel an. Ein Phänomen als System zu betrachten, impliziert also die Frage nach den Elementen, den Eigenschaften und Beziehungen im System und es tritt ein neues Problem auf, nämlich die Frage, was man dabei als zentral, als sogenannte Systemidee, zugrundelegt. Beim Fußball geht es um eine gute Mannschaft und natürlich um Tore. Nach welchen Kriterien soll man aber bei unserem Phänomen entscheiden, was zu diesem System dazu gehört und was nicht?

Ist der Beobachter hier ein wesentliches Element des Systems? Versucht man den Beobachter, wie beim Experimentieren in der Regel üblich, aus dem System herauszuhalten, so müßten die hellen Linien unabhängig vom Beobachter vorhanden, d.h. physikalisch meßbar sein.

Das Nachdenken an dieser Stelle führt am Ende auf ein Untersuchungsprogramm, dem verglichen mit den anfänglichen Spekulationen, differenziertere Hypothesen zugrunde liegen.

Normalwissenschaftliches Experimentieren. Dieses Programm hat im Sinne T.S. Kuhns normalwissenschaftlichen Charakter. Es wird im Rahmen der bis dahin entwickelten Beschreibung des Phänomens systematisch experimentiert.

Mißt man mit einfachen Mitteln, z.B. einem Photomultiplier für verschiedene Wege durch das Schattengebilde den Intensitätsverlauf, so passen die Ergebnisse zu der oben erwähnten geometrisch-optischen Beschreibung.

Die hellen Linien, wie man sie als Beobachter wahrnimmt, lassen sich dagegen nicht nachweisen. Es treten an den entsprechenden Stellen keine Intensitätsmaxima auf. Liegt dies daran, daß die Meßapparatur nicht empfindlich genug war? Oder: Existieren sie nicht? Sind sie eine optische Täuschung, eine Konstruktion unseres Wahrnehmungsapparates? Bleiben wir bei unserer bisherigen Beschreibung des Phänomens, so führt uns dieser Befund über den Rahmen der geometrischen Optik hinaus: der Beobachter, zumindest sein Wahrnehmungsapparat, ist zur Erklärung in das System mit einzubeziehen.

Reflexion der Systembildung. Bedenkt man aber, daß man beim Experimentieren aus Gründen der Objektivität bestrebt ist, den Beobachter nach Möglichkeit aus dem System herauszuhalten, so zeichnet sich hier ein methodologisches Problem ab, auf das die Untersuchung dieses Würfelphänomens nahezu zwangsläufig führt.

Es gibt noch ein weiteres Problem: Reichen die bisherigen Versuche und Überlegungen, um sicher zu sein, daß die hellen Linien prinzipiell nicht meßbar sind?

Wie Studenten hier argumentieren, hängt von ihren methodologischen Vorstellungen über das Experimentieren ab. Diese Vorstellungen werden auf diese Weise nahezu zwangsläufig zum Thema. Sie werden in einer weiteren Reflexionsphase bearbeitet und weiterentwickelt. Eine solche Reflexionsphase ist beim offenen Experimentieren nicht nur Anhängsel, sondern notwendig auf dem Weg zu einer Erklärung des Phänomens.

Die Erklärung der hellen Würfelkanten führt in der Tat in die physiologische Optik. Dort ist dieses Phänomen als "Machsche Streifen" bekannt. Sie kommen durch den sogenannten Simultankontrast zustande, einen Mechanismus, der die Abbildungsfehler unseres Auges korrigiert. Er beruht auf einer

wechselseitigen Beeinflussung benachbarter Netzhautelemente. Fällt weißes Licht auf ein bestimmtes Netzhautelement, so setzt diese Erregung die Empfindlichkeit der benachbarten Elemente herab. An das Gehirn wird von dort als Information eine geringere Beleuchtungsstärke übermittelt als tatsächlich vorhanden. Auf diese Weise wird die Helligkeitsempfindung von Flächen mit räumlich konstanter Beleuchtungsstärke gleichmäßig herabgesetzt. Dieser Sachverhalt ändert sich allerdings an solchen Stellen, an denen der Gradient der Beleuchtungsstärke variiert, also in unserem Fall an den Würfelkanten. Dort wird die Helligkeitsempfindung nicht so stark herabgesetzt und wir sehen dort die hellen Linien.

Neben dem Würfelphänomen habe ich noch drei weitere Experimentierbeispiele (Lasergranulation, Schwingende Teekessel, Springender Ball) entwickelt und erprobt. Ihre Beschreibung und die zugehörigen Fallstudien finden sich in Reinhold (1996b). Auf eines davon, nämlich auf das Phänomen der Schwingenden Teekessel soll hier noch kurz eingegangen werden.

Ein weiteres Beispiel: Die schwingenden Teekessel

Die Grundlage für dieses Experimentierbeispiel liefert folgendes komplexes und verblüffendes Phänomen (vgl. Abb. 4):

Man hat einerseits ein mit kaltem Wasser gefülltes U-Rohr, dessen Wassersäule - wegen der inneren Reibung - zu stark gedämpften Schwingungen angeregt werden kann, und andererseits zwei mit siedend heißem Wasser gefüllte Teekessel. Was geschieht, wenn man die Kessel nach dem Entfernen der Heizung in der abgebildeten Weise mit dem U-Rohr verbindet?

Man beobachtet, daß die Wassersäule sich zu Anfang zufällig mal etwas in die eine, mal etwas in die andere Richtung bewegt, überlagert von sehr kleinen Schwankungen. Plötzlich entsteht daraus eine periodische Bewegung. Die Amplitude der Schwingung wächst, bis die Wassersäule schließlich über einen längeren Zeitraum mit relativ stabiler Frequenz und relativ konstanter Amplitude ohne irgendeine Beeinflussung von außen schwingt.

Erklärung. Durch einen Anstoß oder eine Unsymmetrie steigt zum Beispiel die Wassersäule im U-Rohr auf der Seite des Kessels 1; sie sinkt dann auf der Seite des Kessels 2 und gibt dort ein Rohrstück frei, das vorher mit kaltem Wasser gefüllt war und deshalb kalt ist. In diesem Stück kondensiert, deutlich erkennbar an einer Nebelbildung, Wasserdampf aus dem Kessel 2.

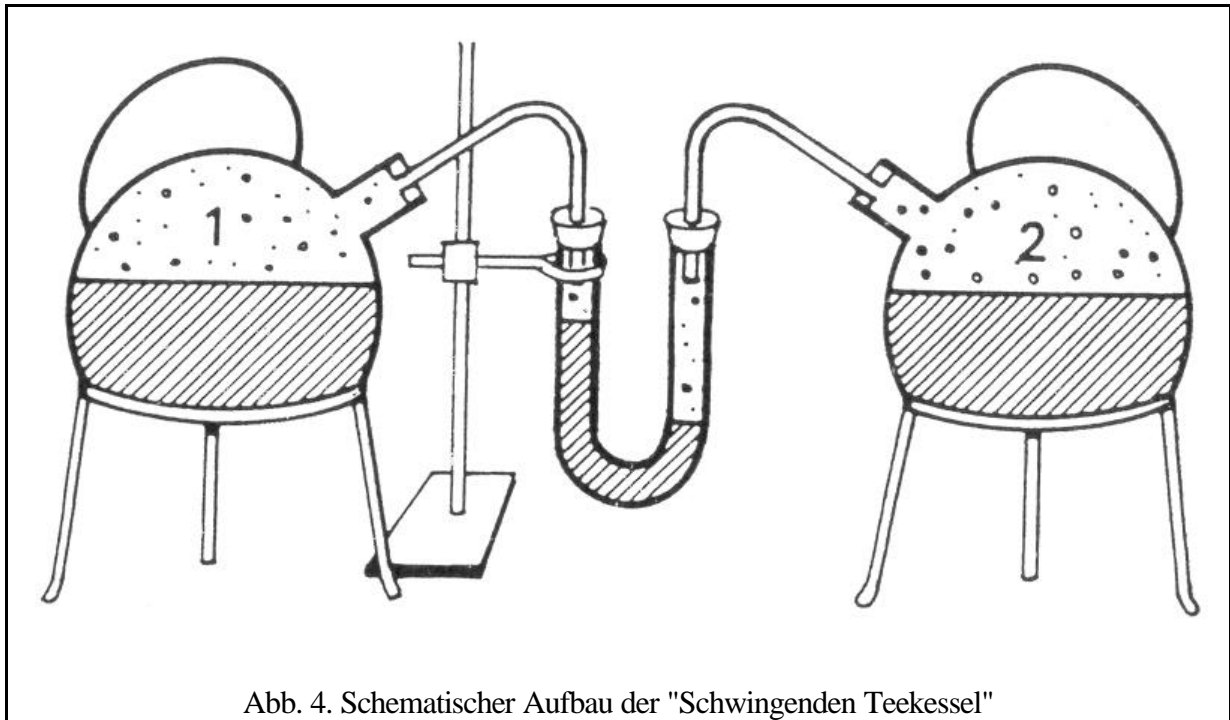


Abb. 4. Schematischer Aufbau der "Schwingenden Teekessel"

Dadurch wird der Druck im Dampfvolmen 2 kleiner, so daß die Wassersäule vom Dampf des Kessels 1 zurückgedrückt wird und dabei ein gekühltes Rohrstück freisetzt, in dem Wasserdampf aus dem Kessel 1 kondensiert. Folglich wird der Druck im Dampfvolmen 1 kleiner, und die Wassersäule wird wieder zum Kessel 1 gedrückt. Da von dem heißen Wasser in den Kesseln laufend Dampf nachgeliefert wird, kann die Wassersäule solange schwingen, bis sich das Wasser im U-Rohr durch Kondensationswärme erwärmt und das Kesselwasser sich soweit abgekühlt hat, daß die Temperaturdifferenz zu klein wird.

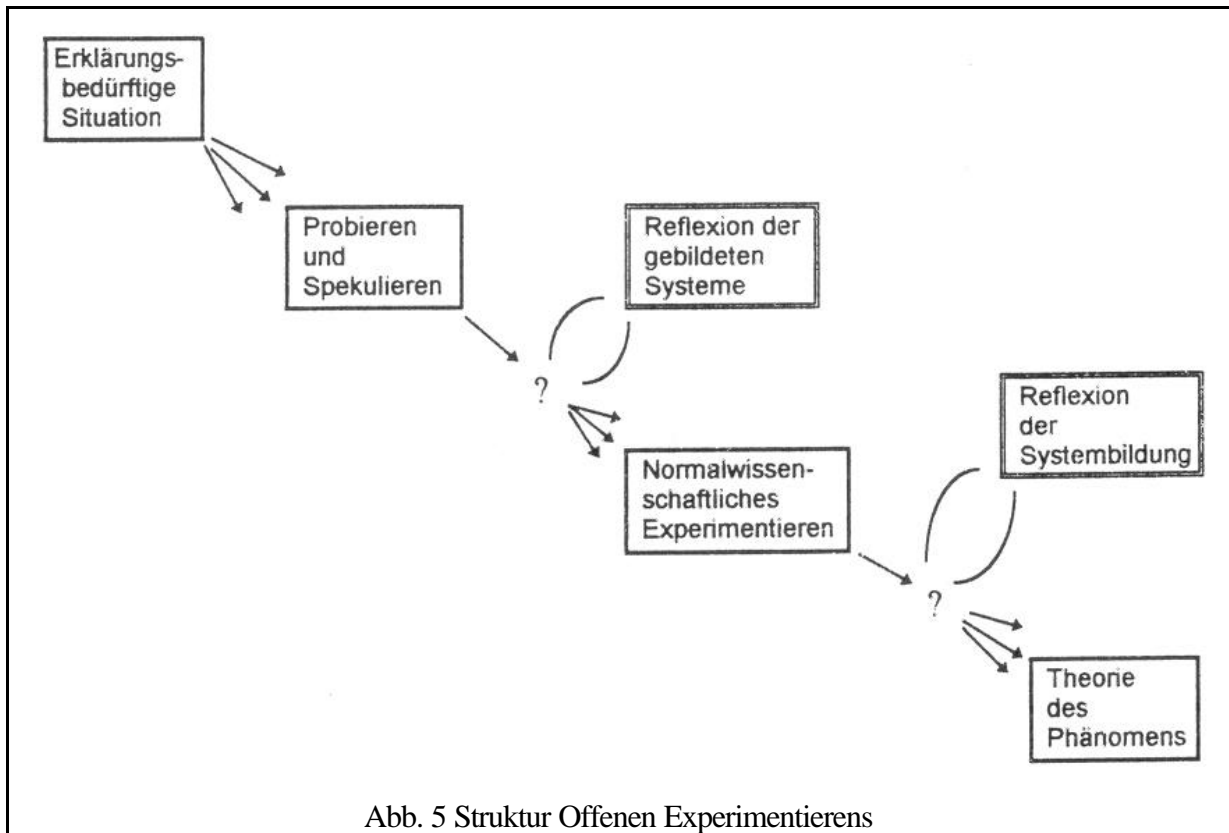
Die Struktur Offenen Experimentierens

In den Fallstudien konnte ich zeigen, daß auch die Seminare zu diesen Experimentierbeispielen in der folgenden, bereits beschriebenen Struktur (vgl. Abb. 5) abliefen.

Die These ist nun, daß es gerade diese Struktur ist, die das leistet, was eingangs behauptet wurde. Zum einen stellt diese Struktur eine Lehr-Lernform dar, die zwischen dem Experimentieren als Lehr-, als Lern- und als Erkenntnismethode vermittelt.

Zum anderen wird in einem so strukturierten Lehr-Lernprozeß auf ganz konkrete Weise sowohl Physik als auch etwas über Physik gelernt. Darüber hinaus ist ein solcher Lehr-Lernprozeß bildend und motivierend.

Um diese These zu belegen, möchte ich zwei Fragestellungen herausgreifen und mit der Frage nach der Lehr-Lernform beginnen:



Wie wird im Rahmen dieser Struktur gelernt? Die Struktur Offenen Experimentierens beinhaltet eine bestimmte Lehr-Lern-Methodik. Sie verknüpft Wissensentwicklung, Tätigkeit und Reflexion und vermittelt dabei zwischen der Selbsttätigkeit der Lernenden und der Anleitung durch den Lehrer. Um was es mir dabei geht, habe ich mit dem Begriff „produktive Störungen“ zu beschreiben versucht. Die Störungen beziehen sich auf den Erkenntnisprozeß. Sie variieren zwischen diffusen Ungereimtheiten und explizit formulierten kognitiven Konflikten. Offenes Experimentieren erzeugt - d.h. es „produziert“ - solche Störungen. Für den Lernenden werden solche Störungen immer dann „produktiv“, wenn sie für ihn gleichzeitig Mittel zur selbständigen Bearbeitung dieser Störungen enthalten.

Eine solche „produktive Störungen“ ist beispielsweise die „Systemfrage“. Mit der Anregung, das Phänomen als ein System zu betrachten und seine Elemente zu bestimmen, wird einerseits ein neuer Denkraum und eine höhere Abstraktionsebene angeboten und andererseits die Selbsttätigkeit der Lernenden herausgefordert. Die Lernenden müssen sich an dieser Stelle überlegen, unter welchen Gesichtspunkten sie das Phänomen als System sehen wollen.

Die Fallstudien belegen, daß produktiven Störungen auch für die Motivation entscheidend sind. So finden die Lernenden in der Phase des Probierens und Spekulierens bezogen auf ihre Sicht des Phänomens eigene Untersuchungsziele. Dafür ist die Offenheit an dieser Stelle entscheidend.

Entscheidend ist aber eben auch die vorangegangene Herausforderung durch eine erklärungsbedürftige Situation.

Wenden wir uns nun dem zweiten Teil der These zu. Dahinter steht die Frage:

Was wird beim Offenen Experimentieren gelernt? Offenes Experimentieren trägt sicher zur Bildung physikalischer Begriffe bei. Dies bezieht sich nicht primär auf die Einführung neuer Begriffe, sondern auf die Klärung und Ausweitung des Anwendungsbereichs schon ansatzweise vorhandener. Beim offenen Experimentieren geht es um die Anwendung dieser Begriffe oder Theorien in neuen Situationen. Die erklärungsbedürftige Situation stellt für die Lernenden ein schlecht strukturiertes Problem dar, für das sie in der Phase des Probierens und Spekulierens nach einer angemessenen begrifflichen Repräsentation suchen müssen. Dieser Prozeß wird - auch nach Einschätzung der Teilnehmer - durch die „Systemfrage“ unterstützt. Beim Würfelphänomen z.B. ging es um die Frage Schattenprojektion vs. Beugung. Einige Studenten assoziierten durch den Spalt in der Anordnung ein Beugungsphänomen und es dauerte lange, bis ihre Kommilitonen sie durch entsprechende Experimente vom Gegenteil überzeugen konnten. Die Analyse der Transkripte zeigt, daß diese Diskussion zu einer Ausschärfung des Beugungsbegriffs bei allen Beteiligten beitrug. Das Offene Experimentieren unterstützt also die Begriffsentwicklung durch eine Verknüpfung mit besonderen Situationen.

Offenes Experimentieren trägt außerdem zur Entwicklung methodischen Wissens bei. Es war in allen Seminaren für die Studenten immer wieder eine mühsame Erfahrung, daß man beim systematischen Experimentieren nach Möglichkeit nur einen Parameter zur Zeit variiert, weil sonst kaum Rückschlüsse auf die Hypothese möglich sind. Sie haben auch immer wieder erfahren, wie schwierig es ist, Anordnungen zu finden, die reproduzierbare Messungen ermöglichen. Für die Entwicklung solchen methodischen Wissens schafft Offenes Experimentieren authentischere Situationen als die herkömmlichen Schüler- oder Praktikumsversuche.

Bei den Schwingenden Teekesseln, beispielsweise, gingen die Studenten anfangs wie naive Empiristen vor. Nachdem die Meßreihen vorlagen, wurde im trial-and-error Verfahren nach funktionalen Beziehungen zwischen den Parametern Schwingungsdauer, Masse und Durchmesser der Wassersäule gesucht. (Sie reproduzieren hier, was sie im Rahmen ihrer Ausbildung über das Experimentieren gelernt haben.) Dieses Vorgehen scheiterte und gab Anlaß, über die bisherige Tätigkeit nachzudenken. Die Studenten erklärten ihr Scheitern damit, daß sie wohl noch nicht alle relevanten Parameter in ihre Untersuchung einbezogen hatten. Aber, wie findet man denn alle relevanten Parameter? Dazu müßte man die Theorie des Phänomens kennen. Gerade die wollten die Studenten aber mit ihrem induktiven Vorgehen erst herausfinden.

Meine Orientierung in dieser Situation bestand im Angebot eines Elementarparadigmas für das Experimentieren, das von einer Wechselwirkung und einem iterativen Prozeß von theoretischer und gegenständlicher Systembildung ausgeht. Gegenständliche Systembildung beginnt mit einem Phänomen innerhalb einer erklärungsbedürftigen Situation und ist auf die Produktion von Empirischem, von singulären Aussagen oder (theoretisch) antizipierten Sachverhalten gerichtet. Durch Reproduzieren, Variieren, Exhaustieren (Herausfiltern des Wesentlichen) sollen hierbei "reine" Phänomene als Grundlage für Verallgemeinerungen herauspräpariert werden. Theoretische Systembildung zielt auf die systematische Beschreibung solcher "reinen" Phänomene, ihre Erklärung und die Prognose möglicher Entwicklungen. Dazu zählen z.B. das Bilden und Modifizieren von Hypothesen

und Erkenntniszielen, das Mathematisieren, die Deutung der Resultate in bezug auf das jeweilige Erkenntnisssystem. Eingebunden sind theoretische und gegenständliche Systembildung in die Bildung von scientific communities. Die Entwicklung solchen wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Wissens ist beim Offenen Experimentieren nicht Beiwerk, sondern funktional für die Erklärung des Phänomens.

Dadurch das Offenes Experimentieren zur methodologischen Reflexion des Experimentierens beiträgt, vermittelt es im Littschen Sinne auch Bildung. Man könnte diese Form von Bildung auch als reflexive Handlungskompetenz charakterisieren oder, wie ich es in meiner Arbeit getan habe, als System-Bildung, nämlich als die Entwicklung des Systemebildens als theoriegeleitete, konstruktive und integrative Tätigkeit.

Betrachtet man insgesamt, wie und was gelernt wird, so wird deutlich, daß die Studenten durch Offenes Experimentieren einerseits Physik und andererseits etwas über Physik lernen. Sie differenzieren und reflektieren ihr Wissen, sind motiviert und ein solcher Lernprozeß ist, wie erwähnt, bildend.

Konsequenzen und Perspektiven

Hier sollen drei verschiedene Perspektiven für das Offene Experimentieren skizziert werden. Sie beziehen sich auf die Lehrerausbildung, den Unterricht und auf Offenes Experimentieren als Forschungsgegenstand.

Offenes Experimentieren in der Lehrer(-aus-)bildung. Es wurde eingangs erwähnt, daß es sich bei den hier beschriebenen Seminaren um didaktische Veranstaltungen handelte. Soweit diese Seminare zum Offenen Experimentieren bisher dargestellt wurden, haben die Studenten darin noch nichts *Didaktisches* gelernt. Dazu müßten sie auch über das Experimentieren *lehren* nachdenken. Und genau das habe ich in den Veranstaltung ebenfalls getan. Ich habe mit den Studenten über unseren gemeinsamen Lehr-Lernprozeß nachgedacht. Ziel dieser Reflexion war, daß die Studenten aus der eigenen Erfahrung eines Lehr-Lern-Prozesses Konsequenzen für ihr späteres Unterrichten ziehen. Diese Reflexionen zielten auf eine konkrete Aneignung didaktischen Wissens über die Gestaltung des Experimentierens im Unterricht. Aus empirischen Untersuchungen (Fischler 1988) wissen wir, daß hier ein Problem liegt. Das, was wir unseren Studenten in unseren Seminaren zu vermitteln suchen, wird von ihnen in der zweiten Phase der Ausbildung und am Anfang ihrer beruflichen Laufbahn als Lehrer kaum zur Planung oder Begründung ihres Unterrichts herangezogen wird. Dort greifen sie auf ein didaktisches Alltagswissen und ihre früheren Schulerfahrungen zurück.

Offenes Experimentieren verbindet dagegen methodische mit fachlich-inhaltlichen und daran gekoppelten didaktischen Reflexionen auf eine ganz praktische und konkrete Weise. Der angemessene Ort dafür ist sicher die Schnittstelle zwischen fachlicher und fachdidaktischer Ausbildung der Lehramtsstudenten, z.B. in den auf das schulische Experimentieren zugeschnittenen Experimentierpraktika. Offenes Experimentieren kann dort eine wichtige Ergänzung darstellen. Es ist nicht als eine Alternative zu den bestehenden Praktika gemeint. Für die Lehramtsstudenten sind die Praktika der zentrale Ort (sieht man einmal von einer u.U. experimentellen Staatsexamensarbeit ab), an dem sie das Experimentieren als wichtigen Bestandteil der Physik kennenlernen. Auf ihre dortigen Erfahrungen gründen sie, was sie später im Unterricht vermitteln. Und diese Erfahrungen sind nach allem, was wir wissen, aus Sicht unseres Fachs bisher nicht ausreichend bzw. adäquat. Offenes

Experimentieren wäre hier eine sinnvolle Ergänzung. Es hätte natürlich eine Reihe von Konsequenzen, auf hier nicht näher eingehen werden kann.

Offenes Experimentieren und (Physik-)Unterricht. Wenn man die erklärungsbedürftigen Situationen entsprechend wählt, ließe sich Offenes Experimentieren mit Sicherheit auch im (Physik-)Unterricht realisieren. Dabei würde es neben der Anwendung bereits eingeführter Konzepte in neuen Kontexten um eine systematische Förderung erkenntnismethodischer Aspekte gehen. Die Schülerinnen und Schüler lernen ihrem Alter entsprechend und aufgabenspezifisch zunächst das Probieren und Spekulieren, einfache Untersuchungen, das Prüfen von Vermutungen und darauf aufbauend das systematischere Experimentieren kennen. Um in der Anwendung solcher Methoden zunehmend selbständiger und flexibler zu werden, könnten in einem zweiten Schritt dann jeweils die Regeln dieser Methoden bewußt gemacht und ihre Funktion für die Erkenntnisgewinnung angesprochen.

Darüber hinaus könnte Offenes Experimentieren ein Vorschlag darstellen für den neuerdings in einigen Bundesländern verbindlichen methodisch vertiefenden Unterricht der Sekundarstufe II.

Offenes Experimentieren als Gegenstand weiterer Untersuchungen. Offenes Experimentieren könnte auch einen Gegenstand darstellen, der die Lehr-Lern-Forschung auf der einen und eine pädagogisch begründete, fachdidaktische Forschung auf der anderen näher zusammenbringt. Dies soll abschließend durch einige fachdidaktisch wie erziehungswissenschaftlich interessante Forschungsfragen verdeutlicht werden:

Ein Desiderat der Problemlöseforschung ist der Umgang mit unstrukturierten Problemen. Aufgrund des Vorwurfs, daß Schule zu „trägem Wissen“ („inert knowledge“ Bransford, Goldmann, Vye, 1991) führe, wird hier verstärkt die Anwendung von Wissen und das Transferproblem untersucht. Aus der Expertiseforschung (vgl. Ericsson, Smith 1991) ist bekannt, daß gut strukturiertes Wissen, ein scheller Zugriff darauf und bereichsspezifische Methoden und Strategien den kompetenten Problemlöser auszeichnen. Welcher Typ von Strategien führt zu einer erfolgreichen Bearbeitung von erklärungsbedürftigen Situationen im Rahmen des Offenen Experimentierens? Sind diese Strategien bereichsspezifisch oder generellerer Art, sind sie aufgaben- oder personenspezifisch. Eine Möglichkeit zur Untersuchung dieser Fragen wäre, Probanden mit unterschiedlicher physikalischer Expertise (z.B. Leistungskursschüler, Physikolympioniken und Diplomanden) in Laborsituationen mit einer Reihe erklärungsbedürftiger Situationen zu konfrontieren und ihr Vorgehen beispielsweise durch lautes Denken zu rekonstruieren.

Im Rahmen von Grundbildungskonzeptionen gewinnt in Verbindung mit der exemplarischen Wissensvermittlung die Selbststeuerung des Lernens an Bedeutung. Fördert Offenes Experimentieren den kompetenten Lerner, der sich „proaktiv, planvoll, reflexiv und dem eigenen Lernen gegenüber verantwortungsbewußt“ (Baumert, 1993) verhält? Dies ließe sich in Form einer Längsschnittstudie im integrierten Unterricht nach PING (Praxis Integrierte Naturwissenschaftliche Grundbildung (vgl. PING 1996)) untersuchen. PING verfolgt mit der systematischen Förderung lern- und erkenntnismethodischer Aspekte eine dem Offenen Experimentieren sehr ähnliche Intention. Dort geht es um *Nachforschen*, als Umgang mit Texten oder anderen Informationen, um *Entdecken* als Beobachten, Sammeln, Ordnen und Musterbilden, um das *Untersuchen* einfacher Vermutungen

oder Fragen, um das *Berechnen*, das *Diskutieren* und um das *Herstellen* als Test der Machbarkeit eigener Ideen. Diese Methoden lassen sich ohne Probleme als methodische Elemente des Offenen Experimentierens interpretieren.

Literatur

- Baumert, J. (1993). Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen im Kontext schulischen Lernens. *Unterrichtswissenschaft*, 21,(4), 327-354.
- Bransford, J.D., Goldmann, S.R., Vye, N.J. (1991). Making a difference in people's ability to think: Reflections on a decade of work and some hopes for the future. In R.J. Sternberg, L. Okagaki (Eds.), *Influences on children*. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 147-180.
- Buer, J. van (1990). Lehr-Lern-Forschung der 80er Jahre - nur ein anderes Etikett für psychologische Unterrichtsforschung? Lehr-Lern-Forschung der 90er Jahre Chance für eine erziehungswissenschaftliche Analyse von Unterricht. *Unterrichtswissenschaft*, 18, (1), 16-22.
- Duit, R., Kattmann, U. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion. In H. Behrend *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven*. Alsbach/Bergstraße, Leuchtturm (in diesem Band).
- Ericsson, K.A., Smith, J. (1991). Prospects and limits of the empirical study of expertise: an introduction. In K.A. Ericsson, J. Smith (Eds.) *Toward a general theory of expertise*. Cambridge, Cambridge University Press, 1-38.
- Fischler, H. (1988). Handlungsorientierung von Physiklehrern. In *physica didactica*, 15, (1), 43-63.
- Freise, G. (1983). Überlegungen zum Begriff und zur Funktion des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht. In *chimica didactica*, 9, 33-50.
- Hodson, D. (1992). Redefining and reorienting practical work in school science. In *School Science Review*, 264, (73), 65-78.
- Hofstein, A., Lunetta, V.N. (1982). The role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. In *Review of Educational Research*, 52, (2), 201-217.
- Jung, W. (1992). .Probing Acceptance: A Technique for Investigating Learning Difficulties. In: R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Hrsg.), *Research in Physics Learning. Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel, IPN, 278-295.
- Litt, T. (1963). *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg, Quelle & Meyer.
- Mothes, H. (1968). *Methodik und Didaktik der Physik und Chemie*. Köln, Aulis.
- Mothes, H. (1973). *Methodik und Didaktik der Naturlehre*. Köln, Aulis.
- Neber, H. (1987). Entdeckendes Lernen. In: G. Otto (Hrsg.) *Enzyklopädie Erziehungswissenschaft. Bd. 4: Methoden und Medien der Erziehung und des Unterrichts*. Stuttgart, Klett-Cotta, 512-514.
- Neber, H. (Hrsg.) (1981). *Entdeckendes Lernen* Weinheim und Basel, Beltz.

- Nenninger, P. (1990). Entwicklungsmöglichkeiten der Lehr-Lern-Forschung. In *Unterrichtswissenschaft*, 18, (1), 45-49.
- PING Projektkerngruppe (1996). *Was ist PING? Kurz-Information. Status - Konzeption - Entwicklung*. Kiel, IPN.
- Reinhold, P.J. (1996a). Offenes Experimentieren - Ein neuer Ansatz für den Physikunterricht? In: H.E. Fischer (Hrsg.) *Handlungsorientierter Physik-Unterricht Sekundarstufe II*. Bonn, Dümmler.
- Reinhold, P. J. (1996b). *Offenes Experimentieren und Physiklernen*. Kiel, IPN.
- Terhart, E. (1986). Der Stand der Lehr-Lern-Forschung. In: H.-D. Haller (Hrsg.) *Enzyklopädie Erziehungswissenschaft. Bd. 3: Ziele und Inhalte der Erziehung und des Unterrichts*. Stuttgart, Klett-Cotta, 63-79.
- Wertheimer, M. (1957): *Produktives Denken*. Frankfurt/M.