

Lesen im Buch der Natur – Zur Entwicklung einer phänomenologischen Lesekompetenz

Johannes Grebe-Ellis

Institut für Physik, Didaktik der Physik, Humboldt-Universität zu Berlin,
grebe@physik.hu-berlin.de

Kurzfassung

Die für die Entwicklung der neuzeitlichen Naturwissenschaft vielleicht folgenreichste Antwort auf die alte Frage «Was ist und wie vollzieht sich Naturerkenntnis?» stammt von GALILEI und ist verbunden mit der Metapher vom «Lesen im Buch der Natur». Wer in diesem Buch lesen will, so GALILEI, der muss die Sprache der Mathematik erlernen, denn Mathematik ist die Schrift, in welcher das Buch der Natur geschrieben ist. Es soll zunächst der Stil naturwissenschaftlicher Erkenntnis charakterisiert werden, für die das genannte Diktum GALILEIS zum Paradigma wurde. Besondere Berücksichtigung findet dabei die Frage nach der Rolle des physikalischen Experiments. Die Metapher vom «Lesen im Buch der Natur» hat in der Geschichte der Naturwissenschaft noch andere Deutungen erfahren. Eine dieser Deutungen, die sich von derjenigen GALILEIS wesentlich unterscheidet, findet man in der naturwissenschaftlichen Methode GOETHES. Die Bedeutung der Mathematik und damit der Charakter der Naturerkenntnis und die Rolle des Experiments ist hier indessen eine andere. Diese andere Art des «Lesens von Phänomenen» wird dem Paradigma GALILEIS gegenüber gestellt und es wird anfänglich diskutiert, inwiefern das «Lesen im Buch der Natur» nach GOETHE für den Kontext von Physikunterricht eine methodische Alternative darstellen kann.

1. Einleitung: Das Thesenpapier der DPG

Das Thesenpapier der DPG «für ein modernes Lehramtsstudiums im Fach Physik» ist inzwischen anderthalb Jahre alt [1]. Es hat jedoch in wesentlichen Punkten nichts von seiner Aktualität eingebüßt. Das liegt m. E. vor allem an der erfrischenden Klarheit und Radikalität, mit der einerseits Mängel bestehender Auffassungen und daraus hervorgegangener Strukturen gekennzeichnet werden, andererseits Gesichtspunkte zum Umdenken und Impulse zur Umgestaltung bestehender Verhältnisse gegeben werden.

Sieht man sich das Papier genauer hinsichtlich der Gesichtspunkte an, die nach der Auffassung der Autoren in zukünftigen Konzeptionen von Physikunterricht eine stärkere Rolle spielen sollen und deren Berücksichtigung deshalb bei einer Neugestaltung der Lehramtsbildung als *Studium sui generis* gefordert wird, so erlebt man – als Physiker – eine Überraschung: Einer der folgenreichsten Mängel der bisherigen Ausbildungsform und in der Folge auch des Physikunterrichts im Allgemeinen wird darin gesehen, dass die Curricula in Hochschule und Schule letztlich immer noch die fachinhaltliche und methodologische Struktur der Physik als Wissenschaft abbilden und sich fachdidaktische Konzeptionen darauf beschränken, zwischen der Physik und dem Alltag der Schüler Brücken zu bauen.

Ja was denn sonst? möchte man fragen und fühlt sich vielleicht an die Kritik erinnert, die sich WAGENSCHNEIN gefallen lassen musste, nachdem deutlich geworden war, dass die Beschwörung der «pädagogischen Dimension der Physik» nicht den erhofften Erfolg gebracht hatte ([2], S. 89). WAGENSCHNEIN hat sich – so könnte man aus der Sicht der Thesen-Autoren paraphrasierend sagen – um die pädagogische Dimension der Physik bemüht; er hat dabei aber ihre «unpädagogische Dimension» übersehen oder zumindest unterschätzt. Worin besteht sie?

1.1 Die «unpädagogische Dimension» der Physik

Dass mit eklatantem Interessenverlust und sprichwörtlicher Unbeliebtheit nicht nur schlechter Unterricht und unausgereifte didaktische Konzepte abgestraft werden, sondern dass es möglicherweise der Physik als exakter Naturwissenschaft konzeptionell immanente, paradigmatische Momente sind, die den Einbruch an Interesse im Physikunterricht nicht nur nicht verhindern, sondern hervorrufen, ist verschiedentlich bemerkt und u.a. als «Reduktionismusproblem» bezeichnet worden ([2], S. 110,148ff; [3], S. 23f). Den Kern dieses Problems könnte man als didaktischen Vorwurf folgendermaßen zuspitzen: Weshalb sollten sich Schülerinnen und Schüler für einen (physikalischen) Weltzugang interessieren,

wenn die Sicherheit und Tragfähigkeit der (physikalischen) Erkenntnisse, die diesen Zugang bilden, darauf beruht, dass sie, diese Schülerinnen und Schüler, als erkennende und erlebende Subjekte *in dieser Welt nicht vorkommen?*¹ Zuspitzungen solcher Art sind mit Bedacht einzusetzen, wenn der Vorwurf des Reduktionismus nicht auf sie zurückfallen soll. Sie können aber verdeutlichen, dass grundsätzlicher darüber nachgedacht werden muss, wodurch ein erkennender, erlebender und handelnder Zugang zu Natur für die Entwicklung von Heranwachsenden einen bildenden Wert haben könnte. Auf Überlegungen solcher Art – so lese ich das Thesenpapier der DPG – kommt es den Autoren des Papiers aber gerade an, wenn sie eine «ganzheitlich-phänomenorientierte» Vorgehensweise im Unterricht fordern (These 2), weil diese gestattet, stärker an den Erfahrungskontext der Schüler anzuschließen und isolierte physikalische Effekte ausgehend von Phänomenkomplexen zu erarbeiten, die typischerweise die traditionellen Grenzen einzelner Fachbereiche übergreifen. Damit wird letztlich nach einem Typus von Naturzugang gefragt, der nicht wie bisher aus einer didaktisch apostrophierten Reduzierung fachsystematisch strukturierter Inhalte und forschungsorientierter Methoden hervorgeht, sondern der an den altersspezifischen Lern- und Wissensvoraussetzungen von Schülern anknüpft und einem übergeordneten Verständnis von der allgemeinbildenden Bedeutung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung Rechnung tragen soll. Was heißt das?

1.2 Phänomenologische Naturwissenschaft

Die Phänomene der Natur wären sozusagen von Grund auf aus Perspektiven und in Urteilsformen zu erschließen, die deshalb das Verstehen von Phänomenen fördern, weil sie die Diversität personaler Erlebnis- und Wissensformen, d.h. die individuelle Perspektive des Fragenden und damit seine sinnliche und vernünftige Begabung nicht unterdrücken, wie es das reduktionistische Paradigma verlangt, sondern gerade voraussetzen. Damit ist nicht gemeint, ein unreflektiert bleibendes Naturerleben zu steigern; es geht vielmehr darum, Denkformen und Darstellungsweisen für Phänomenzusammenhänge zu entwickeln, die pädagogisch relevant und begründet sind und im Sinne BUCKS und VON MACKENSENS phänomenologisch genannt werden können [5] Als Repräsentant eines solchen Typus' nicht-re-

¹ Dass die so genannte *Entanthropomorphisierung* der naturwissenschaftlichen Beschreibung und Urteilsbildung nicht ungewollte Begleiterscheinung, sondern erklärtes Ziel der nach Vereinheitlichung strebenden exakten Naturwissenschaft war, kann man den philosophischen Reflexionen entnehmen, mit denen die Physiker des 20. Jahrhunderts Rechenschaft über die Einseitigkeit ihres Erkenntnistrebens ablegten, vgl. z.B. ([4], S. 51ff).

duktionistischer, antimetaphysischer bzw. «phänomenologischer» Naturwissenschaft ist immer wieder GOETHE bezeichnet worden und es gibt durchaus bewährte Versuche im Kontext der Physikdidaktik, mit der Methodologie GOETHES neben der Farbenlehre auch andere Phänomenbereiche der Optik bzw. der Physik zu erschließen ([6],[3]). Die Erfahrung zeigt, dass es gerade von Lehramtsstudierenden als besonders wertvoll weil praxisrelevant erlebt wird, wenn die Farbenphysik einmal im Sinne GOETHES vom Phänomen her und mit praktischen Experimentierübungen begonnen wird, anstatt das Interesse an Farbe als einem universellen Phänomen von vornherein auf das dürre Modell der Lichtzerlegung am Prisma konvergieren zu lassen.

1.3 Ist «Goethephysik» objektiv?

Die Sorge des Physikers, die sich gegenüber der Frage nach einer «den Menschen einbeziehenden Physik» hinsichtlich der Objektivität des Wissens und der Anschlussfähigkeit der Erkenntnisse geltend macht, ist verständlich, sie hat prominente Vorbilder, beispielsweise in den Vorbehalten PLANCKS gegenüber dem Positivismus MACHS ([7]; S. 126; [4], S. 51ff), sie kann aber, wie in grundlegenden Darstellungen zu phänomenologischen Wissenschaftsansätzen umfänglich geschehen, entkräftet werden (s. z.B. [8], S. 123ff). Eine Vertiefung phänomenologischer Betrachtung ist eben doch weit mehr als nur «subjektive Wertschätzung schöner Phänomene». BUCK und VON MACKENSEN nennen als Kompetenzen phänomenologischer Erkenntnisgewinnung z.B. Gliedern, Vergleichen, Entsprechungen klären, Anordnen, Beziehungen finden, Phänomene reihen, Experimente abwandeln, Entwicklungen erfassen, Abhängigkeiten, Bedingungen und Funktionszusammenhänge allgemein aussprechen ([5], S. 23).

Der um Objektivität besorgte Physiker muss vielmehr gefragt werden dürfen, ob seine Vorbehalte nicht viel eher die oftmals über die Grenze der fachlichen Richtigkeit hinaus «zugrundeelementarisierten» Darstellungen von Physik betrifft, die sich in vielen Schulbüchern finden? – die genannte Lichtzerlegung am Prisma ist dafür ein gutes Beispiel.

Physiklehrer sollten sich fragen können, von was für einer Physik sie im Unterricht erzählen wollen. Es sollte ihnen gestattet sein, die Schönheit und Verletzlichkeit der Natur, die Eigenart und Rätselhaftigkeit ihrer Gesten, das Ehrfurchtgebietende des Beständigen im Wechsel von Phänomenen im Unterricht exemplarisch aufleben zu lassen – und dies nicht etwa nur wieder als «Schonprogramm für Zartbesaitete», sondern weil in den genannten Eigenschaften pädagogisch zentrale Aspekte menschlicher Identitätsbildung identifiziert werden können. Naturwissenschaft besteht nicht per se aus Unterwerfungsroutinen. Sie kann Begegnung des Menschen mit sich selbst sein. Die so oft gestellte und zu

Unrecht leicht übergangene Frage «was hat das mit mir zu tun?» könnte sich erübrigen, wenn Schülerinnen und Schüler – wohlgerne in einem pädagogisch vertieften, differenzierten Sinne – nach sich selbst fragen können, indem sie nach Phänomenen und Naturzusammenhängen fragen.

Die Voraussetzungen für die Gestaltung eines so oder ähnlich orientierten Physikunterrichts sind aus den genannten Gründen allerdings nicht vorhanden; der Anstoß für ihre Entwicklung durch eine entsprechende Neugestaltung der Lehramtsausbildung scheint mir aber mit den Thesen der DPG zumindest ansatzweise gegeben zu sein. Das, was an dem dort geforderten Lehramtsstudium «*sui generis*» bzw. «modern» sein soll, wird m. E. nur verständlich, wenn man einen ursprünglich menschlichen und das heißt einen in altersspezifischen Urteils- und Erlebnisformen sich entwickelnden «phänomenologischen» Erkenntniszugang zur Natur für möglich hält.

Die Idee des Projekts, das hier im Weiteren exemplarisch skizziert werden soll, besteht darin, die GOETHESCHE Deutung der Metapher vom «Lesen im Buch der Natur» als konzeptionelle Grundlage einer «phänomenologischen» bzw. einer «den Menschen einbeziehenden und voraussetzenden Physik» zur Diskussion zu stellen.

2. «Lesen im Buch der Natur» bei GALILEI

Fragt man nach der Herkunft der Metapher vom «Lesen im Buch der Natur», so gelangt man zu AUGUSTINUS, der die natürliche Welt als eine «zweite Schrift» bezeichnet, durch die sich Gott neben der Heiligen Schrift den Menschen offenbart. Die vielfältige Deutungsgeschichte der Metapher seit AUGUSTINUS kann hier nicht nachgezeichnet werden (vgl. z.B. [9], S. 478ff).

Die für die Entwicklung der neuzeitlichen Naturwissenschaft folgenreichste Deutung hat diese Metapher durch GALILEI erfahren. Im Folgenden soll deshalb zunächst knapp skizziert werden, was gemeint ist, wenn im Sinne GALILEIS vom «Lesen im Buch der Natur» die Rede ist und welche Funktion sich daraus für das physikalische Experiment ergibt.

2.1 Naturerkenntnis: Mathematik und experimenteller Beweis

Im Jahre 1623 schrieb GALILEI: «Die Philosophie steht in jenem ganz großen Buch geschrieben, das beständig offen vor unseren Augen liegt, ich meine das All; aber dieses Buch ist nur zu verstehen, wenn man zuvor seine Sprache lernt und die Buchstaben kennt, in denen es geschrieben ist. Es ist in mathematischer Sprache geschrieben, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren. Ohne diese Mittel ist es unmöglich, auf menschliche Weise ein Wort davon zu verstehen; ohne diese irren wir vergeblich wie in einem dunklen Labyrinth umher» (nach [10], S. 59). Die den Sinnen erscheinende Welt auf eine selbst nicht er-

scheinende, sondern nur denkbare Welt geistiger Urbilder zu beziehen, ist eine der zentralen Denkfiguren in der Ideenlehre PLATONS. Der Bezug auf PLATON durchzieht das Werk GALILEIS bis hinein in die dialogische Form seiner wissenschaftlichen Abhandlungen. HEISENBERG, der bekanntermaßen seine erkenntnistheoretische Deutung der Quantentheorie auf die Ideenlehre Platon abzustützen versuchte und sich selbst in der Tradition «platonischer Naturwissenschaft» sah, hat darüber hinaus darauf aufmerksam gemacht, dass GALILEI, auch wenn man ihn immer wieder als den Erfinder des physikalischen Experiments bezeichnete, eigentlich Theoretiker war [11]. Sein Ansatz, so HEISENBERG, war insofern ein abstrakter, als er die Natur genau genommen nicht anschaute, wie sie im Phänomen erscheint, sondern wie sie erscheinen müsste, wenn sie die in ihr liegenden Gesetze rein und unverfälscht durch störende Einflüsse zum Ausdruck bringen würde. Wo ARISTOTELES die wirklichen Bewegungen der Körper in der Natur beschrieb und z. B. feststellte, dass die leichten Körper im allgemeinen langsamer fallen als die schweren, stellte GALILEI die Frage, wie die Körper denn fallen würden, wenn es keinen Luftwiderstand gäbe. Er richtete seinen Denkblick gewissermaßen auf einen von allem Unwesentlichen befreiten, theoretischen Vorgang und es gelang ihm, die Gesetze dieses Vorgangs mathematisch zu formulieren. «An die Stelle des unmittelbaren Eingehens auf die Vorgänge der Natur, die uns umgibt, tritt die mathematische Formulierung eines Grenzgesetzes, das nur unter extremen Bedingungen nachgeprüft werden kann. Die Möglichkeit, aus den Naturvorgängen auf einfache, präzise formulierbare Gesetze zu schließen, wird erkaufte durch den Verzicht darauf, diese Gesetze unmittelbar auf das Geschehen in der Natur anzuwenden» [11].

Das folgende, ebenfalls gut bekannte Zitat GALILEIS illustriert einen Aspekt der exakten Naturwissenschaften, der dazu führte, dass man das Paradigma dieser Wissenschaften auch als «Reduktionismus» bezeichnet hat: «Wer naturwissenschaftliche Fragen ohne Hilfe der Mathematik lösen will, unternimmt Undurchführbares. *Man muss messen, was messbar ist, und messbar machen, was es nicht ist*» (nach [12], Hervorhebung von mir, G.-E.). Damit wird die auch von HUME und DESCARTES ausgesprochene Grundforderung der quantifizierenden Naturwissenschaft wiederholt, für die nur diejenigen Ausschnitte aus dem Gesamtgefüge der wahrnehmbaren Welt wissenschaftliche Bedeutung haben sollen, die sich auf die *primären Qualitäten* Ausdehnung, Lage und Bewegungsmodus, d.h. auf mechanische Kategorien reduzieren lassen. Aus der Unterdrückung der *sekundären Qualitäten*, d.h. der für den Menschen wahrnehmbaren Seite der Natur, folgte aber notwendig auch der Selbstausschluss des Forschers aus dem physikalischen Weltbild.

Vor dem Hintergrund dieses Selbstverständnisses naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im

Sinne der GALILEISCHEN Deutung vom «Lesen im Buch der Natur» wird das physikalische Experiment Mittel der Beweisführung. Seine Funktion besteht darin, mathematisch-geometrische Hypothesen über die Gesetzmäßigkeit physikalischer Zusammenhänge zu überprüfen, d.h. die vereinheitlichende die Beschreibbarkeit möglichst zahlreicher Phänomenbereiche zu verifizieren ([3], S. 18f; [13]).

2.2 Beispiel: Schattenkonstruktion

Das folgende Beispiel stammt nicht von GALILEI, und dies mit Bedacht: mit dem im Folgenden dargestellten, allgemein bekannten Vorgehen bei der geometrischen Schattenkonstruktion, das einem bekannten Lehrbuch ([14], S. 40f) entnommen ist, soll vielmehr die im Vorangegangenen skizzierte Deutung vom «Lesen im Buch der Natur» nach GALILEI illustriert werden.

Die in Abbildung 1 vereinfacht dargestellte Blendenfolge dient dem *Nachweis der Geradlinigkeit der Lichtausbreitung* in Experimenten zum Schattenwurf, d.h. unter räumlichen Bedingungen, bei denen noch nicht mit Beugung zu rechnen ist. Unter «Nachweis» wird dabei Folgendes verstanden: Nur wenn alle drei Lochblenden auf einer Gerade liegen, ist hinter den drei Blenden Strahlung beobachtbar.

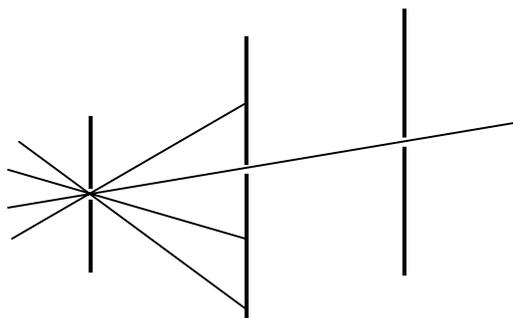


Abb. 1: Überprüfung des geradlinigen Strahlverlaufs mit Hilfe mehrerer Lochblenden in merklichem Abstand voneinander, nach [14].

Auf die Schwierigkeiten, die mit stark idealisierten «experimentellen Beweisen» solcher Art bei genauem Hinsehen verbunden sind, möchte ich hier nicht ausführlicher eingehen. Lediglich zwei typische Problemfelder sollen angerissen werden:

1. Die Nachweisfunktion des Experiments soll sich ausdrücklich auf die geometrische Eigenschaft eines Vorgangs: die Licht- bzw. Strahlausbreitung beziehen. Diese wird als *Ursache* des Verlaufs beobachtbarer Schattengrenzen vorgestellt und es ist verständlich, wie man über Analogieschlüsse zur Mechanik zu dieser Vorstellung kommen kann. Streng genommen ist «Lichtausbreitung als Transportvorgang» im Zusammenhang des vorliegenden Experiments aber nicht beobachtbar. Insofern ist der geschilderte Fall u.a. ein Beispiel dafür, wie experimentelle Anordnungen dazu verwendet werden, die Richtigkeit von Vorstellungen über hinter den Ob-

servablen liegende Ursachen – im Sinne GALILEIS: geometrische Urbilder – zu «bestätigen».

2. Wie weist man «Geradlinigkeit» nach, ohne sie implizit vorauszusetzen? Ob sich die drei Blendenöffnungen auf einer Geraden befinden, wird im vorliegenden Fall doch auch wieder nur optisch beurteilt. Denkbar wäre z.B., die Erhaltung der Helligkeit hinter der dritten Blende unter Ausführung einer Rotation des gesamten Blendensystems um die durch die Öffnungen vorgegebene Achse zu fordern. «Geradlinigkeit» wäre im Zusammenhang einer solchen operationalen Definition kein Attribut eines bloß hypothetischen Vorgangs, sondern würde einfach die räumliche Beziehung zwischen den Blendenöffnungen kennzeichnen.

Gegen Vorbehalte solcher Art und alle anderen, die sich auf die Realisierbarkeit des Blendenexperiments beziehen, könnte man mit GALILEI antworten: Wie gut sich dieser Nachweis erbringen lässt, hängt letztlich immer von den experimentellen Gegebenheiten ab und die sind naturgemäß stets fehlerbehaftet. Die Sicherheit darüber, dass sich der in Rede stehende Nachweis *im Prinzip* erbringen lässt, folgt aber auch nicht erst aus mehr oder weniger geglückten Experimenten, sondern bereits aus geometrischer Intuition. Streng genommen benötigt man gar kein Experiment. GALILEI: «Ich bin ohne Versuch gewiss, dass das Ergebnis so ausfällt, wie ich Euch sage, denn es muss so ausfallen» (nach [10], S. 62).

Unter der Voraussetzung, dass sich der Nachweis für den geradlinigen Strahlverlauf erbringen lässt, so die weitere Argumentation laut Lehrbuch, ist man berechtigt, die Verhältnisse der Schattenentstehung hinter ausgedehnten Hindernissen so darzustellen, wie es Abbildung 2 zeigt.

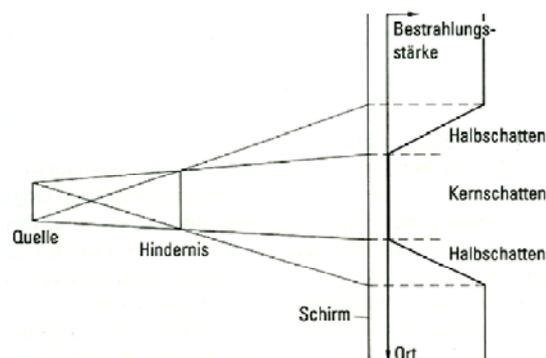


Abb. 2: Schattenwurf durch ein ausgedehntes Hindernis auf einem Schirm bei ausgedehnter strahlender Quelle, aus [14]. Rechts ist die Bestrahlungsstärke über dem Ort aufgetragen.

Abbildung 2 enthält alle für das übliche Verständnis der Schattenentstehung erforderlichen Elemente. Ungenau ist lediglich die Bezeichnung «Halbschatten». Bezeichnet wird damit derjenige Bereich, von dem aus – bedingt durch das Hindernis – nur Teile der Leuchte zu sehen sind. Wie der Abbildung

zu entnehmen ist, hängt aber die Größe des jeweils sichtbaren Teils der Leuchte davon ab, wo man sich innerhalb des gemeinten Bereichs befindet. Insofern spricht man besser von *Teilschatten*. Halbschatten ist genau dort, von wo aus gerade noch die Hälfte der Leuchte neben dem Hindernis zu sehen ist. Wie man an dem Verlauf der Bestrahlungsstärke sieht, ist die Zu- bzw. Abnahme der Helligkeit im Teilschattenbereich kontinuierlich. Die Helligkeit jedes Punktes in diesem Bereich ist ein exaktes Maß dafür, wie viel von diesem Punkt aus von der Leuchte zu sehen ist (bzw. wie viel der Gesamtstrahlungsleistung der Leuchte dort «ankommt»); insofern kann sie auch als Information über die räumlich-geometrischen Eigenschaften der jeweils zugehörigen Verdeckungsituation verstanden werden.

Damit, dass in der obigen Argumentation nicht mehr quer zur Beleuchtungsrichtung geblickt wurde, wie es Abbildung 2 nahe legt und wie man es aus den üblichen Darstellungen zur Optik gewohnt ist, sondern strukturelle Eigenschaften der Situation aus der *subjektiven* Perspektive, d.h. in oder gegen die Beleuchtungsrichtung blickend erschlossen wurden, ist aber bereits ein *Perspektivwechsel* vollzogen, der aus dem paradigmatischen Kontext des «Lesens im Buch der Natur» nach GALILEI herausführt, weil er die konkrete Einschaltung des Beobachters in den experimentellen Zusammenhang enthält. Dies kennzeichnet aber gerade eine der wesentlichen methodologischen Prämissen GOETHES.

3. «Lesen im Buch der Natur» bei GOETHE

Ob VON HELMHOLTZ, PLANCK, BOHR, HEISENBERG oder C.F. VON WEIZSÄCKER – die Liste namhafter Physiker, die sich bei ihren Versuchen, in philosophischer Selbstverständigung die Grenzen des physikalischen Weltbildes zu bestimmen, stets auf GOETHE und seine Zurückweisung der naturwissenschaftlichen Methode NEWTONS bezogen, ist lang. Die Würdigungen, die GOETHE dabei zuteil werden, gehen weit über GOETHE als Autor der Farbenlehre hinaus; sie beziehen sich auf GOETHE als Repräsentanten einer Weltauffassung, die auf eingeständenermaßen nicht weniger wissenschaftlichen, methodologisch aber genau entgegengesetzten Grundüberzeugungen ruhte. Die Bedeutung, die vor diesem Hintergrund der Polemik des Geheimrats gegen die Optik NEWTONS zuerkannt wurde, reichte weit über sachliche Differenzen auf dem Felde der Farbenlehre hinaus: In ihr wurde die Zurückweisung des in letzter Konsequenz natur- und menschenverachtenden Erkenntnisideals der exakten Naturwissenschaften gesehen, zu dessen Entwicklung NEWTON maßgeblich beigetragen hatte.

In der Einleitung zu seiner Darstellung von EINSTEINS Relativitätstheorie schreibt Max BORN zunächst: «Die *Wichtigkeit des Ich* im Weltbilde deutet mir ein Maßstab, an dem man Glaubenslehren, philosophische Systeme, künstlerische und wissenschaftliche Weltauffassungen aufreihen kann,

wie Perlen auf einer Schnur. [...] Das naturwissenschaftliche Denken steht an dem Ende der Reihe, dort, wo das Ich [...] nur noch eine unbedeutende Rolle spielt, und jeder Fortschritt in den Begriffsbildungen der Physik, Astronomie, Chemie bedeutet eine Annäherung an das Ziel der *Ausschaltung des Ich*.» Und weiter mit Bezug auf den *casus Goethe-Newton*: «Unhörbare Töne, unsichtbares Licht, un-fühlbare Wärme: das ist die Welt der Physik, kalt und tot für den, der die lebendige Natur empfinden, ihre Zusammenhänge als Harmonie begreifen, ihre Größe anbetend bewundern will. GOETHE hat diese starre Welt verabscheut; seine grimmige Polemik gegen NEWTON, in dem er die Verkörperung der feindlichen Naturauffassung sah, beweist, dass es sich hier um mehr handelt, als um den sachlichen Streit zweier Forscher über Einzelfragen der Farbenlehre. GOETHE ist der Repräsentant einer Weltauffassung, die in der oben entworfenen Skala nach der Bedeutung des Ich ziemlich am entgegengesetzten Ende steht wie das Weltbild der exakten Naturwissenschaften» ([15], S. 1ff).

Würdigungen dieser Art² lassen sich viele anführen; Hinweise darauf, wie man sich eine Naturwissenschaft in der Nachfolge GOETHES vorstellen soll, d. h. wie die in der Farbenlehre vorgeführte Methodologie GOETHES erkenntnistheoretisch fundiert und auf andere Gegenstandsbereiche übertragen werden sollte etc. geben die genannten Autoren indessen kaum. Maßgeblich für den «Goetheanismus» genannten, phänomenologischen Wissenschaftsansatz in der Nachfolge GOETHES sind die entsprechenden erkenntnistheoretischen Schriften des GOETHE-Herausgebers Rudolf STEINER geworden. Dieser hat allerdings stets hervorgehoben, dass Goetheanismus jenseits von Naturromantik und nicht unter Ausschluss, sondern ausdrücklich unter Voraussetzung einer profunden Kenntnis der neuesten Ergebnisse und Methoden auf physikalischem bzw. naturwissenschaftlichem Gebiet zu entwickeln sei – womit allerdings ein Anspruch formuliert ist, der m. E. bisher nur von wenigen in seiner Tragweite erfasst und auch nur annähernd ernsthaft eingelöst wurde. Dementsprechend sind die Versuche, an STEINERS «Erkenntnistheorie der Goetheschen Weltanschauung» und an die von ihm gegebenen Forschungshinweise im Sinne einer Naturwissenschaft GOETHES anzuknüpfen, sehr vielfältig und von sehr unterschiedlicher Qualität [17]. Ein herausragendes Beispiel für qualitative Naturwissenschaft im Sinne GOETHES gibt der frühere Neutronenphysiker Georg

² Nur am Rande sei auf die «Wiederentdeckung» GOETHES durch Historiker bzw. Wissenschaftstheoretiker wie STEINLE [13] und MÜLLER [16] hingewiesen, deren Arbeiten zum «Explorativen Experimentieren» bzw. zur Methodologie der Farbenlehre offenkundig Anlass zu Neubewertungen von GOETHES naturwissenschaftlichen Ambitionen geben.

MAIER mit seinen an BERKELEY, GOETHE und STEINER anknüpfenden Studien zur Optik und Mechanik ([18], [19], s. auch [3], S. 29ff).

3.1 Naturerkenntnis: Anschauende Urteilskraft

Sein wissenschaftsmethodisches Bekenntnis hat GOETHE in wenigen kurzen Aufsätzen niedergelegt; der wohl bekannteste unter ihnen wurde von GOETHE 1792 «Kautelen des Beobachters» überschrieben und 1823 unter dem Titel «Der Versuch als Vermittler von Objekt und Subjekt» erstmals veröffentlicht. Darin fordert er vom Naturforscher, er «soll die Gegenstände der Natur an sich selbst und in ihren Verhältnissen untereinander zu betrachten streben. Er soll den Maßstab zu seiner Erkenntnis, die Data der Beurteilung nicht aus sich, sondern aus dem Kreis der Dinge nehmen, die er beobachtet» ([20], S. 10). Der damit formulierte Anspruch ist sehr hoch, verlangt er doch, die herkömmlichen Vorurteile, Vorstellungsarten und Unterwerfungsroutinen zurückzuhalten und stattdessen abzuwarten, welche Ordnungs- und Strukturmerkmale, welche Verwandtschaftsverhältnisse sich durch die systematische Variation der im vorliegenden Phänomenzusammenhang selbst jeweils wirksamen Bedingungen ergeben. Die Situation, in der GOETHE den Phänomenen gegenübertritt, hat nichts gemein mit «Nötigung der Natur im Zeugenstand» (KANT). GOETHE tritt als Anwalt der Natur und damit auch als Anwalt der sinnlichen Natur des Menschen auf.

«Lesen im Buch der Natur» heißt hier demnach nicht, die sinnlichen Erscheinungen dadurch wissenschaftstauglich bzw. mathematisch beherrschbar zu machen, dass man aus Prinzip über sie hinausgeht indem man sie auf die primären Qualitäten Ausdehnung Lage und Bewegungsmodus abbildet. Die Grundeinstellung GOETHES gegenüber den Phänomenen ist eine ganz andere. Für ihn liegt das aufzudeckende Rätsel ihrer inneren Gesetzmäßigkeit nicht *hinter* ihnen, in einem Jenseits vorgestellter Ursachen, sondern *in* ihnen. «Man suche nur nichts hinter den Phänomenen, sie selbst sind die Lehre» heißt es in seinen Maximen und Reflexionen. Es hat aus seiner Sicht keinen Sinn, Erscheinungen auf selbst nicht Erscheinendes zurückzuführen und damit ihren Charakter als sinnliche Erscheinungen um einer vereinheitlichenden Beschreibung Willen gewissermaßen transzendieren zu wollen (BORN: «Unhörbare Töne, unsichtbares Licht, unfühlbare Wärme: das ist die Welt der Physik, kalt und tot für den, der die lebendige Natur empfinden [...] will.»). Aufschluss über die Art, wie sich einzelne Phänomene zueinander verhalten, wie sie zusammenhängen und welche dabei die entscheidenden Faktoren sind, kann nur ihr möglichst genaues und getreuliches Studium geben. Die Schriftzeichen der Natur sind für GOETHE nicht geometrische Urbilder, sondern die angeschauten Phänomene selbst. Er liest in Phänomenen wie in einer Schrift, d. h. so, wie man beim Lesen eines Wortes die einzelnen Buchstaben aufeinander be-

zieht, ohne sie dabei außerdem noch als Wirkung hinter ihnen liegender Ursachen vorzustellen. Worauf es beim Lesen ankommt, ist der Zusammenhang. Im gegenseitigen Zusammenhang sprechen sich für GOETHE die Phänomene aus.

Daraus zu schlussfolgern, dass Mathematik für GOETHE keine Rolle gespielt habe, ist voreilig und gehört zu den immer wieder kolportierten Vorurteilen gegenüber GOETHE. Welche Bedeutung er der Mathematik *als Denkweise* bei seinem wissenschaftlichen Vorgehen beimaß, geht z. B. aus dem folgenden Passus hervor ([20], S. 18f): «Ich habe in den ersten zwei Stücken meiner optischen Beiträge eine solche Reihe von Versuchen aufzustellen gesucht, die zunächst aneinander grenzen und sich unmittelbar berühren, ja, wenn man sie alle genau kennt und übersieht, gleichsam nur Einen Versuch ausmachen, nur Eine Erfahrung unter den mannigfaltigsten Ansichten darstellen.

Eine solche Erfahrung, die aus mehreren andern besteht, ist offenbar von einer höhern Art. Sie stellt die Formel vor, unter welcher unzählige Rechenexempel ausgedrückt werden. Auf solche Erfahrungen der höheren Art loszuarbeiten halt´ ich für die Pflicht des Naturforschers, und dahin weist uns das Exempel der vorzüglichsten Männer, die in diesem Fach gearbeitet haben, und die Bedächtlichkeit, nur das Nächste ans Nächste zu reihen, oder vielmehr das Nächste aus dem Nächsten zu folgern, haben wir von den Mathematikern zu lernen, und selbst da, wo wir uns an keine Rechnung wagen, müssen wir immer so zu Werke gehen, als wenn wir dem strengsten Geometer Rechenschaft zu geben schuldig wären.

Denn eigentlich ist es die mathematische Methode, welche wegen ihrer Bedächtlichkeit und Reinheit gleich jeden Sprung in die Assertion offenbart, und ihre Beweise sind eigentlich nur umständliche Ausführungen, dass dasjenige, was in Verbindung vorgebracht wird, schon in seinen einfachen Teilen und in seiner ganzen Folge dagewesen, in seinem ganzen Umfange übersehen und unter allen Bedingungen richtig und unumstößlich erfunden worden. Und so sind ihre Demonstrationen immer mehr Darlegungen, Rekapitulationen als Argumente».

Vor diesem Hintergrund ergibt es für GOETHE keinen Sinn, einzelnen Experimenten den Nachweis von Hypothesen abzuverlangen, zeigen die betreffenden Experimente doch stets nur schmale Ausschnitte aus einem in der Regel vielfältigen und mehrdimensionalen Gefüge von Bedingungen und Prinzipien, dessen Eigenschaften sich erst in z.T. umfänglichen Versuchreihen entfalten.

Dabei unterscheidet GOETHE drei Typen von Phänomenen bzw. drei experimentelle Modi:

- «das *empirische Phänomen*, das jeder Mensch in der Natur gewahr wird, und das nachher
- zum *wissenschaftlichen Phänomen* durch Versuche erhoben wird, indem man es unter andern Umständen und Bedingungen, als es zu-

erst bekannt gewesen, und in einer mehr oder weniger glücklichen Folge darstellt.

- Das *reine Phänomen* steht nun zuletzt als Resultat aller Erfahrungen und Versuche da. Es kann niemals isoliert sein, sondern es zeigt sich in einer stetigen Folge der Erscheinungen. Um es darzustellen, bestimmt der menschliche Geist das empirisch Wankende, schließt das Zufällige aus, sondert das Unreine, entwickelt das Verworrene, ja entdeckt das Unbekannte.» ([21], S. 25).

Die im Folgenden skizzierte Behandlung von Schattenbildern nach der Technik des «Lesens von Phänomenen» hält sich nicht streng an diese Stufenfolge. Vielmehr wird auf der Stufe des *wissenschaftlichen Phänomens* eine systematische Untersuchung angedeutet und die dort erworbene «Lesekompetenz» dann auf der Stufe des *empirischen Phänomens* angewendet.

4. Beispiel: Lesen in Schattenbildern

4.1 Vorbemerkung

In der Erschließung von Phänomenen nach der Methodologie GOETHES für den Physikunterricht liegt eine *doppelte* Aufgabe: die erste betrifft die phänomenologische Erschließung und Darstellung von Phänomenbereichen, d. h. Forschung im Sinne des GOETHESchen Wissenschaftsansatzes. Die zweite Aufgabe besteht darin, vor dem Hintergrund dieses Wissenschaftsansatzes zu pädagogisch begründeten Konzeptionen von Physikunterricht zu kommen. Die Tatsache, dass phänomenologische Erschließungen *per se* einen gewissen didaktischen Grundzug aufweisen, enthebt einen nicht der Aufgabe, Unterrichtsformen zu entwickeln, die dasjenige, was an der phänomenologischen Herangehensweise pädagogisch und didaktisch sinnvoll ist, zur Geltung bringen. Die Anforderungen, die damit verbunden sind, können in diesem Zusammenhang nicht vertieft werden; es soll aber zumindest angemerkt werden, dass es natürlich ein Missverständnis wäre, zu meinen, dass sich am Physikunterricht wesentlich etwas ändern würde, wenn man einfach das eine Schema durch ein anderes ersetzt.

Die Art und Weise, wie Lehrer ihre Schüler anschauen und aus dieser konkreten Anschauung heraus die Gesichtspunkte für ihr pädagogisches Handeln gewinnen, ergibt sich gewissermaßen aus der in die Physikdidaktik gewendeten phänomenologischen Methodologie. Dabei kann es durchaus sein, dass man als Lehrer zu der Überzeugung gelangt: für die Denk- und Urteilsentwicklung der Schüler in diesem oder jenem Alter ist gerade das Kennenlernen und die Einübung reduktionistischer Gedankenformen von besonderer Bedeutung. Das heißt: die Anwendung der phänomenologischen Anschauungsweise im pädagogisch-didaktischen Kontext hat nicht automatisch phänomenologischen Physikunterricht zur Folge. Es sind ohne weiteres pädagogische Situationen denkbar, in denen ein phänomenologisches Vor-

gehen fehl am Platz ist. Phänomenologische Didaktik kann beispielsweise zu der Einsicht führen, dass die gegenwärtig anstehenden Entwicklungsschritte der Schüler am besten durch eine von Distanziertheit, Machtausübung und intellektuelle Beherrschbarkeit geprägte, reduktionistische Erkenntnishaltung unterstützt werden.³ Ein Gegenstandsbereich, der sich für eine solche Erkenntnisatmosphäre eignet, ist z. B. die Mechanik. Ein- und zweiarmliger Hebel, Welle und Flaschenzüge stellen Anwendungen einfacher Prinzipien dar, die nicht nur die technisch raffinierte «Überlistung der Natur» gestatten («Der Kleinste hebt den Größten aus»), sondern auch die Gelegenheit für die formelmäßiger-rechnerische Beherrschung und Voraussage von Effekten bieten [5].

Das folgende Beispiel erfüllt keine der beiden oben genannten Aufgaben: es wird weder eine letztgültige phänomenologische Erschließung des Phänomenbereichs «Schattenbilder», noch ein didaktisch ausgereifter Unterrichtsvorschlag vorgelegt. Beides würde den Rahmen des Artikels sprengen. Es wird stattdessen exemplarisch gezeigt, welcher Art die Erkenntnisse sind, die gewonnen werden, welche Rolle die sinnliche Betätigung, d. h. die Ausbildung einer Art von «intelligentem Sehen» spielt und wie in phänomenalen Zusammenhängen gedacht werden kann, wenn die Begriffe, die entwickelt werden, beweglich bleiben sollen.

4.2 Schattenspiele

Die Herangehensweise ist von vornherein eine ganz andere als die im Abschnitt 2.2 Gezeigte: Betrachtet werden zunächst Schattenbilder desselben Gegenstands von unterschiedlichen Leuchten bei gleichbleibenden Abstandsverhältnissen. Überraschend ist dabei erfahrungsgemäß, wie stark sich die Schattenbilder im Stil unterscheiden, obwohl doch der Schattenwerfer stets derselbe ist und auch an seinem Abstand zum Schirm nichts geändert wird. Es besteht offensichtlich Veranlassung, mit dem Vorurteil aufzuräumen, im Schatten bilde sich lediglich der Schattenwerfer ab. Unter welchen Umständen dieser Grenzfall tatsächlich angenähert werden kann, geht aus dem zweiten Schritt der Untersuchung hervor (Definition der annähernd punktförmigen Lichtquelle).

³ Damit ist beiläufig auf eine wesentliche Asymmetrie im Verhältnis von Reduktionismus und Phänomenologie hingewiesen, die darin besteht, dass es für den Phänomenologen keinen prinzipiellen Hinderungsgrund gibt, den Reduktionismus als eine mögliche Ausprägungsform menschlicher Intellektualität zu würdigen und seine historische und pädagogische Berechtigung anzuerkennen. Verwerfen muss er den Reduktionismus nur, wenn dieser als wissenschaftliches Dogma auftritt und ihm das Existenzrecht abstreitet. Dies liegt aber gerade in der Unterwerfungslogik des Reduktionismus.

Die Aufnahmen in Abbildung 3, *a-f* zeigen Schattenbilder eines Stuhls, der selbst nicht mitabgebildet wird; die jeweils verwendete Leuchte ist *so, wie sie vom Schattenbild, d.h. vom Schirm aus gesehen wird*, in der oberen linken Bildhälfte schematisch dargestellt. Die Reihe *a-c* gestattet eine erste einfache Regel: *Je größer die vom Schirm aus gesehene Leuchte, desto unschärfer ist das Schattenbild*. Der Grund dafür ist sofort klar, wenn man sich selbst an den Ort des Schirms begibt und die verschiedenen Verdeckungsstadien zwischen Stuhl und Leuchte studiert: Je größer die Bereiche, von denen aus nur Teile der Leuchte gesehen werden können (Teilschattenbereiche), desto verschmierter bzw. unschärfer ist der Schatten. Vollschatten ist da, von wo aus die Leuchte durch den Stuhl voll verdeckt wird. Die Bilder *d-f* zeigen, dass die oben angegebene Regel gegenüber Leuchten, die nicht rotations-symmetrisch sind, einer Verfeinerung bedarf: offensichtlich kommt es darauf an, welche Ausdehnung die Leuchte in welche Richtung, d.h. welche *Form* sie hat und wie diese relativ zum Schattenwerfer orientiert ist. So erscheinen in Bild *d* die annähernd parallel zur Stablampe liegenden Stuhlkanten verhältnismäßig scharf, wogegen die quer dazu liegenden – entsprechend der oben angegebenen Regel – stark verschmiert sind. Die Verwandlung des Schattenbildes durch die Drehung der Stablampe um 90° zeigt der Übergang von Bild *d* zu *e*, wobei der Vorgang der Bildverwandlung das eigentlich Spektaku-

läre ist. Eine weitere Variation zeigt Bild *f*, das sich bei Beleuchtung mit einer ringförmigen Leuchte ergibt. – Wenn man an einfachen Beispielen erste Sicherheit erlangt hat bezüglich der Art, wie sich die Leuchtenform ins Schattenbild transformiert, kann man komplizierter geformte Leuchten wie z.B. die Ringleuchte einsetzen und die Schüler raten lassen, wie wohl die Leuchte geformt sein muss, damit das in Bild *f* sichtbare Schattenbild entsteht.

Bevor im Folgenden mit dem bisher konstant gehaltenen Abstand zwischen Leuchte und Schattenwerfer ein weiterer Parameter variiert wird, kann bereits auf dieser ersten Stufe festgehalten werden: *Im Schattenbild verbindet sich die Form des Schattenwerfers mit der vom Schirm aus gesehene Form der Leuchte*. Die Leuchtenform macht sich gewissermaßen im Stil des Schattenbildes bemerkbar und wenn man etwas Übung hat, kann man aufgrund des Schattenbildes auf die Form der Leuchte schließen. Hinsichtlich des Schattenumrisses kann man sich diesen offenbar mit einem Stift gezeichnet denken, dessen Spitze nicht punktförmig ist, sondern die Form der Leuchte hat. Zieht man mit einer z.B. als «Stab-leuchtenstift» ausgeführten stabförmigen Stiftspitze parallel zur Stabspitze verlaufende Gegenstandskanten nach, ergibt sich ein relativ schmaler (scharfer) Teilschattenbereich, wogegen quer zur Stabspitze verlaufenden Objektkanten deren volle Breite erhalten (vgl. z. B. die Stuhlbeine in Abb.3, *d* und *e*). In der Fortsetzung solcher Überlegungen liegt es

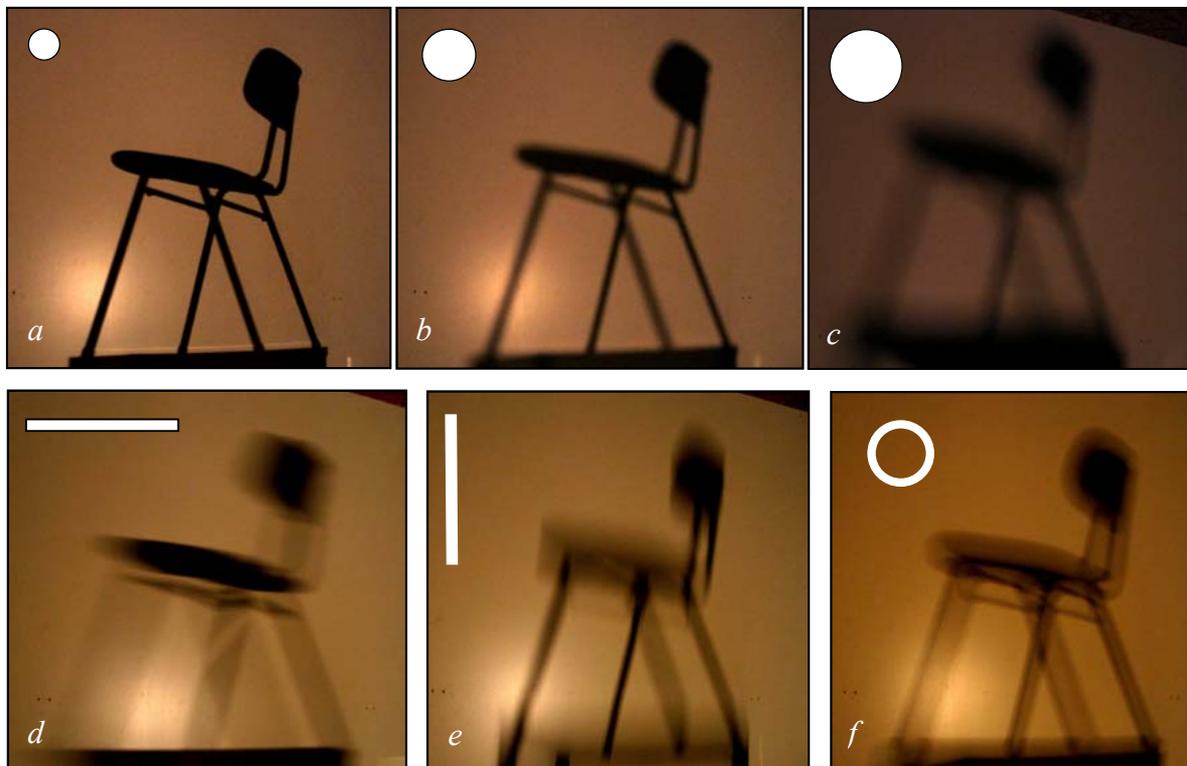


Abbildung 3, *a-f*: Schattenbilder desselben Stuhls von unterschiedlich geformten Leuchten bei gleichbleibenden Abstandsverhältnissen. Die jeweilige Leuchtenform ist oben links dargestellt. Der helle Fleck unten links ist der Widerschein der Leuchte an dem hochreflektierenden Schirm.

nahe, nach der mathematischen Form der Transformation zu fragen, aus der das Schattenbild als mit der Leuchtenform modifiziertes Bild des Schattenwerfers hervorgeht. Ohne im Rahmen dieses Artikels weiter darauf einzugehen sei zumindest angemerkt, dass es sich um ein Faltungsprodukt handelt:

$$Sk(x) = Gk(l-x) \otimes Lk(l).$$

Sk , Gk und Lk sind geeignete Integraldarstellungen der Schatten-, Gegenstands- und Leuchtenkontur. Wie die Modifikation der Versuche im Folgenden zeigen wird, ist die entscheidende Variable der relative Abstand x zwischen Schattenwerfer und Leuchte. In dem Fall, in dem dieser Abstand gleich dem Abstand l zwischen Leuchte und Schirm wird, geht das Schattenbild annähernd in das exakte Abbild des Schattenwerfers über – d.h. der Einfluss der Leuchtenform tritt zurück:

$$Sk(l) = Gk(0) \otimes Lk(l) = Gk(0).$$

Der andere Grenzfall ergibt sich, wenn der Abstand x zwischen Leuchte und Schattenwerfer annähernd verschwindet. In diesem Fall dominiert das Leuchtenbild und die Kontur des Schattenwerfers tritt zurück:

$$Sk(0) = Gk(l) \otimes Lk(l) = Lk(0).$$

Damit soll lediglich angedeutet sein, dass es durchaus möglich ist, auch innerhalb der subjektiven, d.h. den Beobachter einbindenden Perspektive zur Formulierung mathematischer Beziehungen zu kommen. Entscheidend ist dabei, dass diese Beziehungen nicht die Wirkungsweise hypothetischer Größen, sondern konkret die *Bildtransformationen* beschreiben, mit denen man es im Zusammenhang einfacher Beleuchtungssituationen bei der Entstehung von Schattenbildern zu tun bekommt.

Es sollte bereits auf dieser ersten Stufe «Schattenspiele» dreierlei deutlich geworden sein:

1. wie hoch der Grad der beobachtenden und handelnden Beteiligung bei eingebundenen Versuchen der geschilderten Art sein kann;

2. dass bereits solche einfachen Versuche eine große ästhetische Ausstrahlung entfalten können, so dass die verstandesmäßige Erarbeitung der maßgeblichen Bedingungen und Prinzipien von einem differenzierteren Erleben derselben begleitet sein kann;

3. dass dennoch und gewissermaßen über die unter 1. und 2. genannten Aspekte hinausgehend eine gedanklich anspruchsvolle, die maßgeblichen Bedingungen und Prinzipien exakt erschließende Erarbeitung bis zu einer mathematischen Beschreibung der Bildtransformationen angestrebt wird.

4.3 Verwandlungen des Schattenbildes

Im nächsten Versuch wird als Schattenwerfer eine Dreiecksblende gewählt: ein Stück schwarze Pappe, in die ein dreieckiges Loch geschnitten wurde (Abb. 4, a). In ca. 4 m Entfernung vom Schirm wird ferner eine horizontal orientierte Stableuchte aufgestellt. Abbildung 4 zeigt, wie mit zunehmendem Abstand der Blende vom Schirm das Schattenbild der Blende zu einem horizontalen länglichen Strich degeneriert, der keinerlei Ähnlichkeit mehr mit der Dreiecksform der Blende aufweist.

Dass es sich um das Lochkamerabild der Stableuchte handelt, kann man erraten; dies soll aber auch experimentell evident werden. Zum einen kann dies dadurch geschehen, dass man zeigt, wie der Erwartung entsprechend und dann dennoch überraschend das Bild des hellen Strichs unter Drehungen der Dreiecksblende um die Beleuchtungsrichtung *unverändert* bleibt (Abb. 5, a und b), wogegen sich der helle Strich mitdreht, sobald anstelle der Blende die Leuchte gedreht wird (Abb. 6, a – c). Durch Vorbeiführen eines Bleistiftes vor und hinter der Blende kann ferner auf die Bildumkehr aufmerksam



Abb. 4, a – c: Verwandlung des Schattenbildes einer mit einer horizontalen Stableuchte beleuchteten Dreiecksblende.

gemacht werden. Im Übrigen zeigen auch die Kanten der Blendenpappe wieder das nach Maßgabe der Leuchtenorientierung unterschiedlich breit verschmierte Bild der Stableuchte.

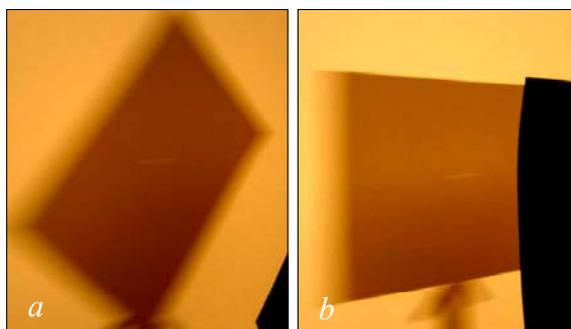


Abb.5, a und b: Invarianz des Schattenbildes unter Drehungen der Blende.

4.5 Komplementäre Blenden – komplementäre Schattenbilder

Ein weiterer und in diesem Zusammenhang letzter Versuch besteht darin, der sich für eine beliebig geformte Blende mit zunehmendem Abstand vom Schirm ergebenden Bildsequenz diejenige gegenüberzustellen, die sich für die komplementäre Blende ergibt. Abbildung 7 zeigt die Verwandlung des Schattenbildes einer annähernd kreisförmigen Blende in das umgekehrte Bild des beleuchtenden Glühfadens. Dass man das dunkle Komplement dieses Glühfadenbildes erwarten darf, wenn man die Lochblende durch eine etwa gleich große Perle ersetzt, leuchtet ein: an der Geometrie des Versuchs wird dadurch nichts verändert. Und doch ist man jedes Mal aufs Neue überrascht, wenn man mit zunehmendem Abstand der Perle vom Schirm den Perlen-schatten in ein schattiges Abbild des Glühfadens übergehen sieht, wie es die Übersicht in Abbildung 7 zeigt.

4.6 Die Sonne malt die Schatten mit ihrem Bild

Die in den vorangegangenen Abschnitten geschilderten Versuche lassen sich in vielfältiger Weise erweitern und variieren, dies ist auch vielerorts geschehen, im Einzelnen ist das Gezeigte nicht neu (vgl. z.B. [18]). Deutlich sollte aber geworden sein, auf welche Weise an den betrachteten Erscheinungen der Blick geschärft werden kann für die Art, wie sich Leuchtenbild und Gegenstands-bild im Schattenbild verbinden. Hat man auf diesem Wege «in Schattenbildern lesen» gelernt, wird man alsbald auf die vielfältigen Formen aufmerksam, in denen sich das Bild der Sonne in den von ihr hervorgerufenen Schattenbildern zur Geltung bringt. Der Spaziergang unter hohem Blätterdach kann so unversehens zu einem regelrecht beglückenden Erlebnis werden, wenn man zum erstenmal gewahrt, wie der Waldboden übersät ist mit Sonnenbildern. Damit ist wiederum kein oberflächliches Romantisieren gemeint; als beglückend kann an einer solchen Situation ein besonders



Abb. 6, a–c: Drehung des Schattenbildes bei Drehung der Stableuchte: Das Schattenbild ist das Lochkamerabild der Stableuchte.

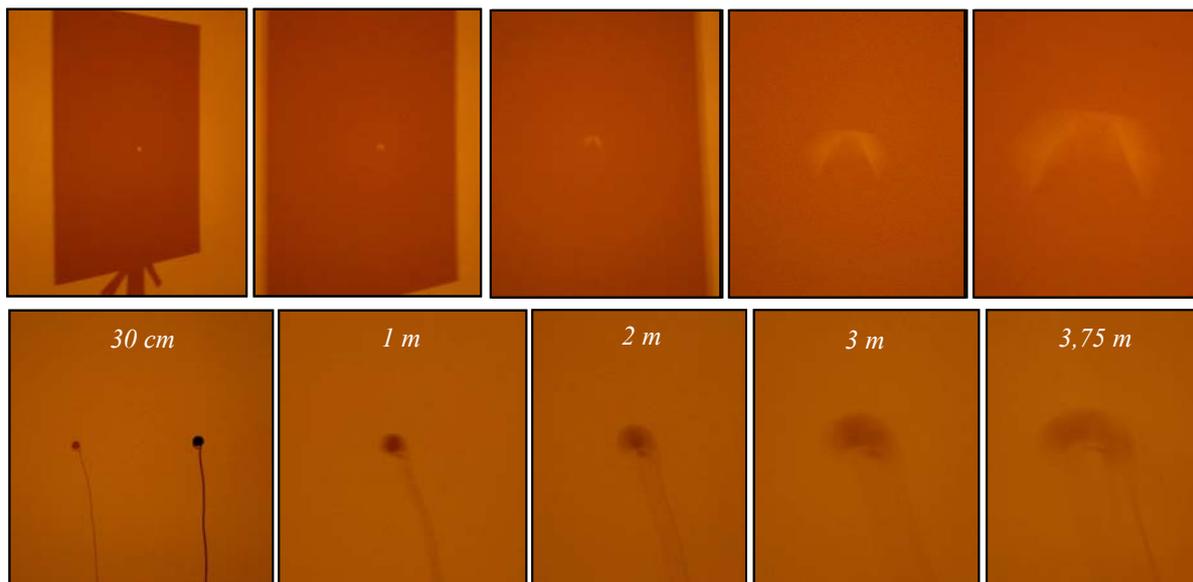


Abb. 7: Verwandlung des Blendenbildes in das Bild der Leuchte bei zunehmendem Abstand der Blende vom Schirm. Oben: Lochblende mit hellem Glühfadensbild; unten: Perle mit dunklem Glühfadensbild.

hoher Grad an Vertrautheit mit den Erscheinungen erlebt werden, eine erlebende und zugleich verstehende Verbundenheit, die ethische und ästhetische Dimensionen von Naturbegegnung mit einschließt.

Die Gesamtheit der angesprochenen Phänomene und damit ihr Zusammenhang zeigt sich im Schattenwurf jedes Baumes bei nicht zu hohem Sonnenstand; dies zeigt Abbildung 8. Das Schattenbild bodennaher Teile des Stamms ist verhältnismäßig scharf und nur durch das entlang der Schattengrenze verschmierte Bild der Sonne abgemildert. Dieses tritt umso deutlicher hervor, je höhere Baumteile ihren Schatten werfen, bis sich im Schatten der höchsten Teile der Baumkrone vollendete Sonnenbilder abzeichnen und einzeln hängende Blätter unförmig abgerundete Schattenbilder werfen.

5. Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der These, dass ein phänomenologischer Naturzugang die wesentlichen, im Grundsatzpapier der DPG für einen schülergemäßen Physikunterricht bzw. für ein modernes Lehramtsstudium geltend gemachten Anforderungen erfüllt, wurden die Deutungen skizziert, welche die Metapher vom «Lesen im Buch der Natur» bei GALILEI einerseits und bei GOETHE andererseits erfahren. Am einfachen Beispiel der Behandlung der Schattenentstehung wurden Eigenschaften der beiden Naturzugänge hinsichtlich des jeweiligen Erkenntnisziels und der Rolle des physikalischen Experiments herausgearbeitet. Das Hauptanliegen der vorgebrachten Erörterungen war, im didaktischen Kontext darauf aufmerksam zu machen, dass die bekannten Schwierigkeiten des Physikunterrichts m. E. erst dann angemessen beschrieben werden, wenn die «unpädagogische Dimension der Physik» in ihrer vollen Tragweite ins Auge gefasst wird.

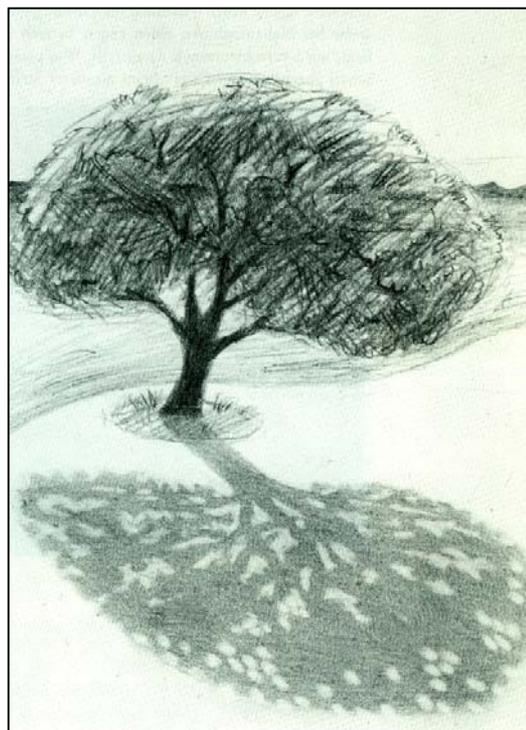


Abb. 8: Im Schattenwurf des Baumes sind alle Stadien der Bildverwandlung in ihren Übergängen realisiert. Das Bild ist dem Buch «Optik der Bilder» von G. Maier entnommen [18].

Daran zielt allerdings die Debatte um ein «mehr oder weniger Alltagsbezug bzw. Kontext im Physikunterricht» einerseits und die Angst vor dem «Untergang des mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildungsanspruchs» andererseits weitgehend vorbei ([22], S. 259). Worin die unpädagogische Dimension der Physik besteht und dass die «Ausschaltung des Menschen» aus dem naturwissenschaftlichen Welt-

bild nicht Begleiterscheinung, sondern erklärtes Ziel der Erbauer dieses Weltbildes war, wurde nicht erst von Physikdidaktikern entdeckt, sondern ist in den wissenschaftskonzeptionellen Reflexionen der Physiker des 20. Jahrhunderts nachlesbar.

Wenn aber – wie es manche dieser Reflexionen nahe legen – der Wissenschaftsansatz GOETHES gerade in Hinblick auf die als «unpädagogisch» apostrophierten Aspekte des fachphysikalischen Reduktionismus das genaue Gegenteil davon darstellt, dann bestünde begründeter Anlass zu der Vermutung, dass ein Physikunterricht, der an die Art der den sinnlich und vernünftig begabten Menschen nicht ausschließenden, sondern voraussetzenden Naturbetrachtung GOETHES anschließt, den Bedürfnissen und dem Interesse von Schülerinnen und Schülern angemessener ist. Meine und die Erfahrungen von Kollegen bestätigen diese Vermutung – zumindest in einem Maße, das es gerechtfertigt erscheinen lässt, in dieser Richtung weiter zu arbeiten.

6. Literatur

- [1] Deutsche Physikalische Gesellschaft (2006): *Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik*. Eine Studie der DPG e.V.
- [2] MUCKENFUß, Heinz (1995): *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsen
- [3] GREBE-ELLIS, Johannes (2005): *Grundzüge einer Phänomenologie der Polarisation*. Berlin: Logos
- [4] SCHEIBE, ERHARD (2006): *Die Philosophie der Physiker*. München: C.H.Beck
- [5] BUCK, Peter; VON MACKENSEN, Manfred (2006⁷): *Naturphänomene erlebend verstehen*. Köln: Aulis Verlag Deubner
- [6] MIKELSKIS, Helmut (1990): *Goethes Farbenlehre heute – Betrachtungen zur Zeitgemäßheit einer vermeintlich veralteten Naturauffassung*. Goethe Gesellschaft Kiel
- [7] PLANCK, Max (1990): *Positivismus und reale Außenwelt*. Vortrag am 12. November 1930. In: *Vom Wesen der Willensfreiheit* und andere Vorträge. Hrsg. von A. HERMANN. Frankfurt am Main: Fischer
- [8] BÖHME, Gernot (1993): *Alternativen der Wissenschaft*. Frankfurt am Main: Suhrkamp
- [9] JAEGER, F. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Neuzeit*. Stuttgart: Verlag J.B. Metzler, Artikel zu *Buch der Natur* S. 478ff
- [10] BASFELD, Martin (1992): *Erkenntnis des Geistes an der Materie. Der Entwicklungsurprung der Physik*. Stuttgart: Freies Geistesleben
- [11] HEISENBERG, Werner (1947⁷): *Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung*. In: *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*. Leipzig: S. Hirzel
- [12] SZCZESNY, Gerhard (1966): *Das Leben des Galilei und der Fall Bertolt Brecht*. Frankfurt am Main
- [13] STEINLE, Friedrich (2002): Das Nächste ans Nächste reihen: Goethe, Newton und das Experiment. *Philosophia Naturalis* **39**: 141-172.
- [14] BERGMANN, L.; SCHÄFER, C. (1993⁹): *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 3: *Optik*. Hrsg. von Heinz NIEDRIG. Berlin, New York: Walter de Gruyter
- [15] BORN, Max (1922): *Die Relativitätstheorie Einsteins*. Berlin: Springer
- [16] MÜLLER, Olaf (2007): *Das philosophische Unbehagen Goethes beim Blick durch das Prisma*. Frankfurt am Main: Suhrkamp
- [17] HAAS, Erwin: *Goetheanistische Naturwissenschaft*. Fortlaufend aktualisierte Bibliographie ab 1921: forschungsinstitut.ch/669.html
- [18] MAIER, Georg (2003⁵): *Optik der Bilder*. Dürna: Kooperative Dürna
- [19] MAIER, Georg (2004): *blicken – sehen – schauen. Beiträge zur Physik als Erscheinungswissenschaft*. Hrsg. von J. GREBE-ELLIS. Dürna: Kooperative Dürna
- [20] GOETHE, Johann Wolfgang von (1982): *Der Versuch als Vermittler von Objekt und Subjekt*. Hamburger Ausgabe, Bd.13, S. 10-20. München: H.C. Beck
- [21] GOETHE, Johann Wolfgang von (1982): *Erfahrung und Wissenschaft*. Ebd. S. 23-25
- [22] RALLE, Bernd (2007): Die Furcht vor dem Kontext. *MNU* 60/4: 259