

Von der Optik im Tastraum zu einer Optik des Sehens

Johannes Grebe-Ellis

Im Kontext der phänomenologischen Optik ist gelegentlich von Modellfreiheit die Rede. Dabei handelt es sich um einen Arbeitsbegriff, der eingeführt wurde, um darauf aufmerksam zu machen, dass die Beschreibung optischer Gesetzmäßigkeiten keiner quasimechanischer Lichtmodelle bedarf, auch wenn sie historisch mit mechanischen Analogien begründet wurde (Descartes, Huygens und Newton). Für eine weiter gehende Verständigung erweist sich der Begriff «modellfrei» indessen als ungeeignet, weil durch eine «Modelldebatte» das Problem, das zur Frage nach einer *phänomenologischen* Optik führt, verdeckt wird. Dieses Problem besteht darin, dass optische Phänomene in der Regel mit dem Verweis auf nichtobservable Größen und Vorgänge erklärt werden. Demgegenüber ist das Ziel einer *phänomenologischen* Optik im Sinne einer *Optik der Bilder* (Maier, Mackensen), die Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten optischer Phänomene als *Bedingungen ihres Erscheinens* aufzuweisen.

Einleitung

«Modellfreie Optik», d.h. Optik ohne Lichtmodelle – wie soll das gehen? Schlägt man das von Mackensen 1998 unter diesem Titel veröffentlichte Themenheft (Mackensen 1998) zur Optik der Oberstufe auf, so findet man dort im Anschluss an eine Einführung zum methodischen Ansatz Photometrie, Schattenlehre, Spiegeloptik und Optik durchsichtiger Medien: vom Einblick in den Wassertrog über das Stufenprisma bis zur Linse und zu optischen Instrumenten; man findet einen umfangreichen Experimentierkurs zum Prisma und ferner ein Kapitel zur Beobachtung von Kantenspektren. Den Abschluss bildet ein Essay von Georg Maier über «Das Licht im Gestrüpp von Missverständnissen». – Die genannten Themen sind nicht neu, photometrisches Entfernungs- und Winkelgesetz sowie Spiegel-, Brechungsgesetz und Fermat-Prinzip kommen vor – bei genauerem Hinsehen zeigt sich indessen, dass die Art, wie diese Prinzipien in den geschilderten Versuchen herausgearbeitet werden, eine ganz andere ist: sie kommt ohne Lichtmodelle aus. Genau genommen ist überhaupt nicht von Licht die Rede. Vielmehr wird in der Urteilsbildung konsequent darauf verzichtet, zur Erklärung ein «Licht» genanntes Objekt einzuführen, dem üblicherweise die Vermittlung der im Experiment gegebenen Erscheinungszusammenhänge zugeschrieben wird. Stattdessen wird von *Ansichten* gesprochen, die man als Beobachter von hier und da, d.h. unter diesen und jenen Bedingungen haben kann. Es ist von *Bildern* die Rede, von dem, was jeweils zu sehen ist. Und indem solche Bilder oder Ansichten unter Berücksichtigung ihrer räumlich-geometrischen Bedingungen in Beziehung zueinander gebracht werden, wird deutlich, worauf es für das jeweilige Phänomen ankommt: das lässt sich dann auch als Gesetzmäßigkeit aussprechen. So kann beispielsweise die Beleuchtungswirkung einer Lampe bezüglich einer gegebenen Fläche in Beziehung gebracht werden mit der von der beleuchteten Fläche aus sichtbaren Größe der Lampe: beide nehmen mit dem Quadrat des Abstands zwischen Leuchte und Fläche ab. – Bedingungen der Erscheinung werden so erschlossen über Bedingungen der Beobachtung. Dabei zeigt sich: Um den geometrischen Gehalt des photometrischen Gesetzes zu erfassen, kommt man offenbar auch ohne die Vorstellung eines von der Lampe expandierenden Partikelstroms aus – für eine Beschreibung von Beleuchtungsproblemen ist die Angabe räumlich-geometrischer und das heißt perspektivischer Verhältnisse mit Abständen und Winkeln völlig ausreichend (Maier 2003, Mackensen 1998).

Wem das einleuchtet, wer sich vielleicht sogar die Mühe macht, das an einem Beispiel selbst nachzuvollziehen und zu prüfen, für den erhebt sich aber um so mehr die Frage: wie kommt man überhaupt auf die Idee, so einen Ansatz für die Optik zu entwickeln? Welche Vorteile hat das gegenüber der konventionellen Beschreibung? Was ist das Ziel dieses Vorgehens? – die «Modellfreiheit» als solche kann es nicht sein. Diese scheint doch vielmehr Folge von Voraussetzungen zu sein, die bisher nicht zur Sprache kamen. Welche sind das?

Aspekte einer Erkenntnishaltung

Mit dem Verzicht auf Licht als hypothetisches Objekt gewinnt die eingebundene Perspektive gegenüber der «Optik von der Seite» des externen Beobachters an Bedeutung. Um sagen zu können: «die Beleuchtung einer Fläche nimmt mit der *von ihr aus sichtbaren* Größe der Leuchte ab», kommt es offenbar darauf an, sich in die gemeinte Situation tatsächlich hinein zu begeben und Beleuchtungsbeziehungen *als Sichtbeziehungen* zu realisieren: Wie sieht man die Lampe *von der beleuchteten Fläche aus*? Noch elementarer kommt diese Wendung in dem Grundsatz der phänomenologischen Beleuchtungslehre zum Ausdruck: *Hell ist es, von wo aus ich Helles sehen kann*. – Der Kunstgriff besteht darin, Urteilsformen zu bilden, die nicht vom Beobachter abstrahieren und auf hypothetische Größen verweisen, sondern die das Gesetzmäßige von Phänomenzusammenhängen als auf der beobachtenden und das Beobachtete durchdenkenden Teilnahme von Menschen Beruhendes aussprechbar werden lassen. Modellfreie Optik ist in diesem Sinne Optik des Sehens, *Optik der Bilder*, wie der Titel des 1986 von Georg Maier in erster Auflage veröffentlichten Buches lautet, das inzwischen zum Standardwerk geworden ist (Maier 2003).

Dies klingt zunächst ungewohnt, die gemeinte Art der Teilnahme verlangt Geduld, die Bereitschaft, vorschnelle Urteile zurückzuhalten, mit offenen Fragen an zunächst nicht Enträtselbares leben zu lernen. Sie verlangt, sich von den Erscheinungen gewissermaßen selbst auf die Spur bringen zu lassen, wie sie anzuschauen sind, damit die Bedingungen ihres Erscheinens in klaren Sätzen aussprechbar werden. Das Erarbeiten von Phänomenen in diesem Sinne verlangt Hingabe: ein immer erneutes Hinsehen unter immer neuen Bedingungen. Es hat nichts gemein mit der Nötigung der «Natur im Zeugenstand», es zielt nicht auf Beherrschung von Effekten, sondern auf Erkenntnis des Allgemeinen im Besonderen. Ein solches Vorgehen ist anstrengend und aufwendig, eine «Kultur der Naturbeobachtung» ist gefragt. Vorteile bringt diese nur für den, der in den Mühen solcher Anforderungen an seine sinnliche Präsenz und an seine Vorurteilsfreiheit keine Last, sondern Stufen eines Vertrautwerdens mit den Erscheinungen der Natur erkennen kann, das ihn als Wissenschaftler und als Mensch bereichert.

Dass es möglich ist, das gesetzmäßige Bedingungsgefüge eines optischen Phänomenzusammenhangs, für dessen Erklärung man üblicherweise in die Seitenansicht mit der bekannten Konstruktion von Strahlengängen übergeht, auch aus der eingebundenen Perspektive objektiv und sachgemäß zu beschreiben, ist zunächst durchaus überraschend und lässt sich theoretisch kaum vorwegnehmen. Die Erfahrung mit Schülern und Studenten zeigt, dass einen die übliche Erklärung optischer Phänomene durch ihre Abbildung auf die gängigen Modellvorstellungen in der Regel davon abhält, die einfachsten Phänomene selbst einmal genauer kennen zu lernen. Man hat sich gewissermaßen in vorauseilendem Gehorsam das *Ignorabimus*, d.h. das Eingeständnis abnehmen lassen, dass die so genannte bloße Beschreibung der Phänomene grundsätzlich zu keiner Erkenntnis über das Gesetzmäßige von Phänomenen führen kann. Von Bedeutung ist diese Einsicht, weil mit dem gemeinten *Ignorabimus* immer wieder die Einführung von Modellen als Erklärungshilfen begründet wird.

In der Form eines möglichen didaktischen Vorwurfs zugespitzt könnte man fragen: Wie soll für Schüler Vertrauen in ihre eigene Beobachtungs- und Erkenntnisfähigkeit gegenüber Phänomenen der Optik entstehen, wenn die implizite Struktur der Erklärungen, die ihnen zu den Phänomenen nahegelegt werden, ihr eigenes Sehen und damit sie selbst als sinnliche und erkennende Wesen prinzipiell unterdrückt? Weshalb sollten sie sich überhaupt für eine Welt interessieren, die angeblich nur unter der Bedingung für sie erkennbar wird, dass sie selbst darin nicht vorkommen?

Dies soll wiederum nicht heißen, dass Schüler reduktionistische Urteilsformen nicht kennen lernen sollen. Die Gesichtspunkte dafür sollten aber pädagogisch-didaktische sein und der Charakter solcher Urteilsformen bzw. Modelle sollte im Sinne eines «Lernens über Modelle» (Leisner 2005) zumindest von Lehrern erkenntnistheoretisch durchschaut werden. Der hier geltend gemachte Vorbehalt richtet sich in diesem Sinne nicht gegen reduktionistisches Denken als solches; er richtet sich gegen die einseitige Festlegung der Schüler auf ein reduktionistisches Weltbild, das

als Folge einer unbewussten Konditionierung durch den nichtreflektierten weltanschaulichen Hintergrund des Lehrers im Unterricht wirksam wird.

In Hinblick auf diese Problematik kennzeichnet «Modellfreiheit» einen Erkenntnisansatz, dem es nicht vordergründig um das krampfhaft Vermeiden von nützlichen Gedankenformen geht, sondern der mit dem Anspruch verbunden ist, die Struktur reduktionistischer Erklärungen kritisch zu reflektieren und Urteilsformen zu entwickeln, welche die Erkenntnisbefähigung des einzelnen Menschen gegenüber der Natur nicht unterdrücken, sondern fördern können.

Mit Rücksicht darauf ist es unerheblich, ob man eine idealisierende Beschreibung geometrischer Bedingungen, wie sie beispielsweise die streng räumliche Formulierung des Fermatprinzips als Extremalprinzip darstellt, auch schon als Modell bezeichnen will. Gegen ein solches Modell ist vom Standpunkt der Modellfreien Optik nichts einzuwenden. Das Beispiel verdeutlicht indessen, dass es bei den Lichtmodellen um einen besonderen Typus von Modell geht und dass hier eine begriffliche Differenzierung erforderlich ist, die leicht unterschlagen wird. Was diesen Typus von «Lichtmodell» auszeichnet, wie er entwickelt wurde und welche erkenntnistheoretischen und didaktischen Konsequenzen sich daraus für die Optik ergeben, soll Gegenstand der folgenden Betrachtung sein. Es wird eine Argumentationslinie skizziert, die verständlich machen soll, wie man zu der Frage nach einer «Modellfreien Optik» als einer «Optik der Bilder» kommen kann (vgl. auch Grebe-Ellis 2005).

Besinnung auf einige Begriffe der Optik

Wenn man sich einmal gestattet, in der gewohnten Verwendung der in der Optik gebräuchlichen Begriffe innezuhalten und diese einmal selbst zum Gegenstand der Betrachtung zu machen – was sieht man da? Emittieren, brechen, beugen, reflektieren, streuen, interferieren, polarisieren, transmittieren, absorbieren – mit diesen Begriffen werden Wechselwirkungen von Licht mit Materie bezeichnet. Die bezeichneten Vorgänge sind aber nicht beobachtbar. Wir sehen keine Strahlbrechung, sondern abknickende Schattenkanten und gehobene Ansichten, wir sehen keine Überlagerung von Elementarwellen, sondern Strahlenkränze und vervielfachte Ansichten kleiner kontrastreicher Leuchten; wir sehen keine Reflexion als Zurückgeworfenwerden von Licht, sondern wir blicken durch den Spiegel wie durch ein Fenster in einen Spiegelraum, der dem vor dem Spiegel gelegenen Raum *optisch* völlig gleichwertig ist; wir sehen keine Lichtausbreitung, sondern wir sehen, dass es hell ist, und wie hell es ist, hängt von der Leuchtstärke und der gesehenen Größe der Leuchte ab etc. – Diese Beispiele zeigen, dass die genannten Begriffe genau genommen keine Beobachtungen beschreiben. Vielmehr beziehen sie das, was beschreibbar wäre, von vornherein auf einen vorauskonstruierten begrifflichen Rahmen, der ursprünglich in einem ganz anderen Erfahrungsbereich der Physik gebildet wird. Dieser Rahmen, für den noch unerheblich ist, ob Licht wellen-, teilchen- oder strahlenartig vorgestellt wird, ist die Annahme von «Licht als Transportvorgang» bzw. «Signalübertragung zwischen Sender und Empfänger»: von hier nach da und – sehr schnell.

Woher kommt dieser begriffliche Rahmen, woher kommen diese Begriffe? In welchem Sinnesbereich machen wir Erfahrungen, die mit den genannten Begriffen tatsächlich beschrieben werden. Gefragt ist offensichtlich nach der Mechanik. Brechen, beugen, streuen, zurückgeworfen werden bzw. reflektieren etc. beschreiben Wechselwirkungen mechanischer Systeme, d.h. Vorgänge mit Körpern, die im Prinzip körperlich erfahren werden können: Druck und Zug, Tragen und Lasten sowie verschiedene Modi der Bewegung, des Stoßens, Abprallens etc. kennen wir als Zustände unserer eigenen leiblichen Organisation im Raum, die als Körper an andere Körper angrenzt. Der Sinnesbereich, der hier angesprochen ist, ist mithin derjenige der Tasterfahrung: *Die mechanischen Kategorien sind Kategorien des Tastraums.*

Indem man mit Begriffen, die durch Abstraktion von Erfahrungen im Tastraum gebildet werden, Phänomene des Sehfeldes deutet, entsteht eine Optik, die gewissermaßen nur das enthält, was den Abgleich mit der Tasterfahrung überlebt, eine Optik des Tastraums, man könnte auch zugespitzt

sagen: eine *Optik für Blinde*. Der für diese Optik maßgebliche Erklärungszusammenhang enthält per definitionem keine Elemente mehr, die nur über das Sehen erschlossen werden können, sie wurden dem Primat des Tastens geopfert: wirklich ist, was man anfassen kann.

Optik und metaphysischer Realismus

Jeder, der sich in der Beschreibung optischer Phänomene versucht, wird früher oder später aufmerksam geworden sein auf den markanten Bruch, der sich beim Übergang von der so genannten «Anschauung des Phänomens» zu seiner «Erklärung» in den Begriffen der physikalischen Optik ergibt. Verweisen diese Begriffe doch stets auf selbst *nicht wahrnehmbare*, sondern hinter dem Phänomen wirksam *vorgestellte* Größen und ursächliche Vorgänge. Sie fordern dadurch auf zur paradigmatisch gewordenen Unterscheidung zwischen einer wahrnehmbaren «Welt für die Sinne» und einer hinter dieser liegenden, oftmals so bezeichneten «wahren Realität der physikalischen Ursachen». Das mit dieser Unterscheidung einhergehende, in der Regel nicht reflektierte Bekenntnis zum so genannten *metaphysischen Realismus* der klassischen Physik mag denjenigen, der sich dessen bewusst wird, nachdenklich stimmen, wenn er meint, sich eigentlich als Repräsentant einer *Erfahrungswissenschaft* zu verstehen. Sollten in diesem Sinne nicht auch die Gesetzmäßigkeiten der Optik auf Erfahrungsgrundsätzen beruhen? Was fehlt der Optik zur vollen Erfahrungswissenschaft? könnte man fragen, so dass der metaphysische Rekurs auf eine hypothetisch angenommene, selbst nicht wahrnehmbare Welt von ursächlichen Größen und Vorgängen hinter den Erscheinungen entbehrlich wird?

Neben der didaktischen Motivation, nach einer *Optik der Bilder* zu fragen, stellt die hiermit angerissene Problematik einen zweiten Gesichtspunkt dar, der deshalb besonderes Gewicht hat, weil er gewissermaßen eine im modernen Selbstverständnis der Physik wurzelnde Kritik an der physikalischen Optik enthält. Dies wird in der Bewertung der Modellfreien Optik öfter übersehen. Dabei ist diese Kritik im Grunde genommen keineswegs neu. Die Forderung, in den Erklärungen der Optik von hypothetischen zu tatsächlich beobachtbaren Größen überzugehen, ist in der Geschichte der Optik und insbesondere im Zusammenhang der modernen Physik immer wieder und aus verschiedensten Gründen erhoben worden. Sie hat u.a. in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zur Wiederentdeckung der von Stokes bereits Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelten Parameter durch Chandrasekar und zur Entwicklung matrixoptischer Darstellungsmethoden von Mueller, Parke u.a. geführt (Collett 1993, Grebe-Ellis 2005).

Zum Ursprung der Optik als mechanisches Analogon zum Schall

Die Frage nach der Herkunft des begrifflichen Kontextes, dem die Phänomene des Sehfeldes zu ihrer Erklärung üblicherweise unterworfen werden, führt zum einen in den Wahrnehmungsbereich, in dem die entsprechenden Begriffe ursprünglich gebildet werden. Zum anderen führt sie in die Geschichte der Optik, zu den begrifflichen Ausgangspunkten für die heutige physikalische Optik bei Descartes, Huygens und Newton.

Georg Maier hat in diesem Zusammenhang auf einen Abschnitt in *La dioptrique* (1637) von Descartes aufmerksam gemacht, in dem dieser die auf den Tastsinn gestützte Orientierung eines Blinden mithilfe eines Stockes als Vergleich heranzieht, um dem Leser ein Verständnis des Sehvorgangs und der Lichtausbreitung im Bild mechanischer Vorgänge nahezubringen. Ich zitiere den Abschnitt im Folgenden, weil er die Denkungsart besonders deutlich werden lässt, aus der heraus hier die Entwicklung der physikalischen Optik von Descartes veranlagt wird.

«Es ist Ihnen gewiss schon manchmal zugestoßen, dass Sie, wenn Sie nachts ohne Licht durch eine etwas schwierige Gegend gegangen sind, der Hilfe eines Stockes bedurften, um den Weg zu finden, und Sie haben in diesem Falle bemerken können, dass Sie mit Hilfe des Stockes die verschiedenen Gegenstände um Sie herum wahrnahmen oder sogar unterscheiden konnten, ob es Bäume oder Steine waren oder Sand, Wasser, ein Kraut oder Schlamm, oder ob es ein anderer derartige Gegenstand war. Es ist wahr, dass diese Art der Wahrnehmung etwas verworren und undeutlich ist für diejenigen, die darin keine lange Übung besitzen. Betrachten Sie aber Menschen, die blind geboren sind und sich ihr

Leben lang eines Stockes bedienen, so werden Sie diese so vollkommen und sicher darin finden, dass man gewissermaßen sagen kann, dass sie mit den Händen sehen oder ihr Stock das Organ von einer Art sechstem Sinn ist, der ihnen anstelle des Gesichts gegeben ist.

Durch diesen Vergleich möchte ich Sie auf den Gedanken bringen, dass das Licht in den Körpern, die man leuchtend nennt, nichts anderes ist als eine gewisse Bewegung oder eine schnelle und lebhaft Unruhe, die sich vermittle der Luft und anderer durchsichtiger Körper auf unsere Augen überträgt in gleicher Weise, wie die Bewegung oder der Widerstand der Körper, auf die der Blinde stößt, mit Hilfe des Stockes auf seine Hand übertragen werden» (Maier 2003, 113).

Die Zurückführung von Licht auf Bewegung bzw. des Sehens auf das Tasten, die hier von DESCARTES beschrieben und durchgeführt wird, stellt zugleich ein Musterbeispiel für die Anwendung seiner Lehre von den primären und sekundären Qualitäten dar: Zu einem objektiven wissenschaftlichen, d.h. mathematisch beherrschbaren Phänomen wird ein Erscheinungszusammenhang erst dadurch, dass er auf die «primären Qualitäten» Ausdehnung, räumliche Lage und Bewegungsmodus reduziert wird. Die in menschlichen Wahrnehmungsakten gegebenen Empfindungen, die so genannten «sekundären Qualitäten» Klang, Helligkeit und Farbe, Wärme, Geruch etc. werden als unsicher und prinzipiell täuschungsbehaftet angesehen, als «Sinnenschein», der nur insofern in Betracht kommt, als in ihm die komplizierten Wirkungen zugrundeliegend vorgestellter Ursachen «primärer Art» gesehen werden. Klang wird so zurückgeführt auf Schallwelle, Helligkeit auf Lichtwelle und Wärme auf Teilchenbewegung etc.

Im Folgenden zitiere ich aus der *Abhandlung über das Licht* (1690) von Huygens, um den Typus der geometrisierenden Naturwissenschaft im Sinne des Descartes sich in einem weiteren Beispiel selbst darstellen zu lassen. Zugleich wird dabei deutlich, wie die Vorstellungsart des Descartes von Huygens fortgesetzt wird und wie überraschend eng sich die heutige Art, über Licht in mechanischen Kategorien zu denken, an Descartes und Huygens anschließt. Huygens beginnt seine *Abhandlung* folgendermaßen:

«Die Beweisführungen in der Optik gründen sich, wie in allen Wissenschaften, in welchen Geometrie auf die Materie angewandt wird, auf Wahrheiten, welche aus der Erfahrung abgeleitet sind» (Huygens 1996, 9f).

Dieses Bekenntnis hindert ihn jedoch nicht, bei seinem Bestreben, die Ursachen für die geradlinige Ausbreitung, die Brechung des Lichts etc. anzugeben, zu Mutmaßungen über die Natur des Lichts selbst überzugehen, bei denen unklar bleibt, wie sie «aus der Erfahrung abgeleitet» sind. So heißt es vier Absätze weiter:

«Man wird nicht zweifeln können, dass das Licht in der Bewegung einer gewissen Materie besteht. Denn betrachtet man seine Erzeugung, so findet man, dass hier auf der Erde hauptsächlich das Feuer und die Flamme dasselbe erzeugen, welche ohne Zweifel in rascher Bewegung befindliche Körper enthalten, da sie ja zahlreiche andere sehr feste Körper auflösen und schmelzen [...] dies deutet sicherlich auf Bewegung hin, *wenigstens in der wahren Philosophie, in welcher man die Ursache aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückführt. Dies muss man meiner Ansicht nach tun, oder völlig auf jede Hoffnung verzichten, jemals in der Physik etwas zu begreifen*» (ebd. Hervorhebung von mir, J. G.-E.).

Der nächste Satz verdeutlicht, wie dieses «Zurückführen auf mechanische Gründe» für den Gesichtssinn selbst vorgestellt und wie das von Huygens zur Veranlassung genommen wird, *Licht als Bewegung* zu postulieren.

«Da man nun nach dieser Philosophie für sicher hält, dass der Gesichtssinn nur durch den Eindruck einer gewissen Bewegung eines Stoffes erregt wird, der auf die Nerven im Grunde unserer Augen wirkt, so ist dies ein weiterer Grund zu der Ansicht, dass das Licht in einer Bewegung der zwischen uns und dem leuchtenden Körper befindlichen Materie besteht.»

Mit klaren Worten bekennt sich Huygens in diesen Absätzen zum Wissenschaftsprogramm des Descartes und es ist bemerkenswert, wie konsequent und scharfsinnig er dieses Programm im Verlauf seiner *Abhandlung* verfolgt. Zugleich wird deutlich, wie ausgesprochen wenig empirisch-explorativ, dafür aber umso mehr geometrisch-mathematisch die *Art seiner Fragestellung* und sein Vorgehen gegenüber den optischen Erscheinungen ausgerichtet ist. Huygens ist Mathematiker. Es geht ihm nicht um breit angelegtes Beobachtungsmaterial und möglichst genaue, systematisierende und umfassende Beschreibungen desselben. Die empirische Basis seiner geometrischen Erörterungen ist auffallend schmal und dies mit Absicht: er bezieht sich wie Newton mit einem *experimentum crucis* auf wenige, ausgewählte experimentelle Situationen, die ihm als Nachweis seiner Annahmen über die Natur des Lichts als besonders geeignet erscheinen. Seine Aufgabe sieht er darin, durch geometrisches Kalkül herauszufinden, welche Eigenschaften dem Licht beigelegt werden müssen, damit die im Experiment fixierten Effekte als Wirkungen dieser Eigenschaften gedeutet bzw. vorausgesagt werden können. Ob diese Eigenschaften dem Licht wirklich zukommen oder nicht steht dabei nicht zur Debatte. Entscheidend ist, ob ihre Annahme gestattet, eine geometrisch durchsichtige, quasi-mechanische Deutung möglichst vieler optischer Erscheinungen zu geben. Als besonders hilfreich erweist sich bei diesem Vorgehen für HUYGENS die Kenntnis der stoß- und wellenmechanischen Eigenschaften der Schallausbreitung. Sein Ziel wird, die Ausbreitung des Lichts im Raum und seine Wechselwirkung mit Materie im Prinzip wie die Schallausbreitung zu behandeln. Seine Optik wird Wellenlehre, Licht Wellenbewegung. So heißt es zu Beginn der *Abhandlung* weiter unten:

«Und gerade die Kenntnis, welche wir von der Fortpflanzung des Schalles in der Luft besitzen, kann uns dazu führen, sie [die Lichtausbreitung] zu verstehen. Wir wissen, dass vermittelst der Luft, die ein unsichtbarer und ungreifbarer Körper ist, der Schall sich im ganzen Umkreis des Ortes, wo er erzeugt wurde, durch eine Bewegung ausbreitet, welche allmählich von einem Luftteilchen zum anderen fortschreitet, und dass, da die Ausbreitung dieser Bewegung nach allen Seiten gleich schnell erfolgt, sich gleichsam Kugelflächen bilden müssen, welche sich immer mehr erweitern und schließlich unser Ohr treffen. Es ist nun zweifellos, dass auch das Licht von den leuchtenden Körpern bis zu uns durch irgendeine Bewegung gelangt, welche der da-zwischen liegenden Materie mitgeteilt wird. [...] Wenn nun [...] das Licht zu seinem Wege Zeit ge-braucht, so folgt daraus, dass diese dem Stoffe mit-geteilte Bewegung eine allmähliche ist, und darum sich ebenso wie diejenige des Schalles in kugelför-migen Flächen oder Wellen ausbreitet; ich nenne sie nämlich Wellen wegen der Ähnlichkeit mit jenen, welche man im Wasser beim Hineinwerfen eines Steines sich bilden sieht (ebd.)».

Der Kunstgriff von Huygens besteht in einer Übertragungsleistung, die für das Verständnis dessen, was innerhalb der Physik mit dem Streben nach vereinheitlichender Beschreibung gemeint ist, ein besonders lehrreiches Beispiel darstellt: Er behandelt die Optik nach dem Vorbild der Schallausbreitung, indem er die Begriffe der Wellen- und Stoßmechanik bzw. der Wellenbewegung von Wasser auf die Ausbreitung und Materiewechselwirkung von Licht überträgt. Er denkt sich Licht als mechanisch behandelbares Objekt und er kann dies, weil er in den räumlich-geometrischen Eigenschaften der optischen Erscheinungen solche der Schallausbreitung wiedererkennt.

An der Folgerichtigkeit dieser Argumentation hat sich für die physikalische Optik im Prinzip bis heute nichts geändert. Unberücksichtigt ist dabei jedoch geblieben, dass im Vollzug des Analogieschlusses vom Schall auf Licht die beteiligten Größen ihren Charakter als Observable verlieren und zu metaphysischen Konstrukten werden. Diese Tatsache, an der sich auch durch die Einbettung der Optik in den Zusammenhang der Elektrodynamik nichts änderte, hat in der Geschichte der Optik immer wieder und aus den verschiedensten Gründen zu Kritik an dem hypothetischen Charakter der Optik geführt – auch wenn sich die Mächtigkeit des reduktionistischen Paradigmas in einer beispiellosen Entwicklung technischer Anwendungen erweisen sollte. Die Veranlassung, aus physikalischer Sicht grundsätzlich, d.h. mit paradigmatischen Konsequenzen über den quasi-mechanischen Lichtbegriff nachzudenken und anzuerkennen, das der Versuch, weiter an der klassischen Lichtvorstellung – ob als Welle oder als Teilchen – festhalten zu wollen, als

gescheitert angesehen werden musste, war erst im Zusammenhang mit der Entwicklung der Quantenmechanik gegeben.

Zusammenfassung

Die Behandelbarkeit der Optik im vereinheitlichenden Kalkül geometrisch-mechanischer Begriffe wurde historisch erkaufte durch den Verzicht, die Prinzipien der Optik aus dem Bereich optischer Erscheinungen selbst zu erschließen. Die naiv-realistischen Hypothesen über die Natur des Lichts, zu deren Bildung man sich in der Folge genötigt sah, haften der physikalischen Optik bis heute als metaphysisches Erbe an.

In Anerkennung der historischen Entwicklung, die zu der *quasi-mechanischen* bzw. *elektrodynamischen* Formulierung der Optik geführt hat, wird im vorliegenden Zusammenhang nach einer «optischen Optik» gefragt, d.h. nach einer Beschreibung optischer Phänomene, die ohne den begrifflichen Ballast des kinematischen Lichtkonzepts auskommt weil sie die Gesetzmäßigkeiten optischer Erscheinungen unmittelbar aus den Bedingungen ihres Erscheinens gewinnt, die in der sehenden Hinwendung an diese Erscheinungen als *Bedingungen von Sichtbeziehungen* realisiert sind. In diesem Sinne sollte anstelle von modellfreier eher von *erscheinungsorientierter Optik* oder *Optik der Bilder* gesprochen werden. Das ist sachlich genauer und hilft, eine mitunter ideologisch gefärbte Debatte über Modelle zu vermeiden, die das Verständnis in der Sache nicht weiter bringt.

Dass die *Optik der Bilder* nicht das Ergebnis einer didaktischen Reduktion für die Schule ist, dürfte inzwischen deutlich sein, aber auch, dass die Art, wie hier mit den Erscheinungen umgegangen wird und welche Möglichkeiten der Beteiligung sich dadurch für den wachen Beobachter ergeben, zugleich einen besonderen didaktischen Wert hat. Es hat sich gezeigt, dass das Konzept *Optik der Bilder* nicht nur funktioniert, d.h. physikalisch etwas hergibt – neuere z.T. umfangreiche Beiträge zur Rolle der Lichtgeschwindigkeit in der modellfreien Optik (Theilmann und Maier 2004), zur modellfreien Beschreibung von Beugung (Sommer 2005) und Polarisation (Grebe-Ellis 2005) liefern weitere Beispiele des gemeinten Vorgehens – vielmehr sollte deutlich geworden sein, dass diese *Optik der Bilder* mit einer Erkenntnishaltung verbunden ist, die deshalb relevant für den Kontext von Schule ist, weil sie in besonderer Weise mit dem sinnlichen und vernünftigen Erkenntnisbedürfnis von Heranwachsenden rechnet, – Bedürfnissen, aus denen Bildung entsteht.

Literatur

Mackensen, M. von & H. Ch. Ohlendorf: *Modellfreie Optik*. Kassel: Pädagogische Forschungsstelle, 1998²

Maier, G.: *Optik der Bilder*. Dürnau: Kooperative Dürnau, 2003⁵. Siehe auch *blicken – sehen – schauen. Beiträge zur Physik als Erscheinungswissenschaft*. Zusammengestellt von J. Grebe-Ellis. Dürnau: Kooperative Dürnau, 2004

Grebe-Ellis, J.: *Grundzüge einer Phänomenologie der Polarisation*. Berlin: Logos, 2005

Collett, E.: *Polarized light – fundamentals and applications*. New York: Marcel Dekker, 1993

Huygens, Ch.: *Abhandlung über das Licht*. Hrsg. von E. Lommel. Frankfurt am Main: Harri Deutsch, 1996⁴

Theilmann, F. & G. Maier: Zur Rolle der Lichtgeschwindigkeit in der modellfreien Optik. MNU 57/7: 413-419 (2004)

Sommer, W.: *Zur phänomenologischen Beschreibung der Beugung im Konzept optischer Wege*. Berlin: Logos, 2005

Leisner, A.: *Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht*. Berlin: Logos, 2005