

# Vorschläge zur Komplexitätsreduktion bei der Abbildung mit Sammellinsen

H. Muckenfuß

## 1 Komplexität als Lernbarriere

Nach den Befunden der fachdidaktischen Forschung wird das physikalische Erklärungsprinzip für reelle optische Bilder, nämlich die Punkt-für-Punkt-Abbildung, nicht gerade mit Erfolg unterrichtet (z. B. [1], [2]). Unsere Erfahrungen mit verschiedenen aufgebauten Unterrichtsgängen bestätigen die Vermutung von Wiesner: „Die üblicherweise geringen Lernerfolge kommen vermutlich eher aufgrund der Komplexität als durch blockierende Widerstände zustande“ [2, S. 267].

Die Komplexitätsreduktion ist eine der zentralen fachdidaktischen Aufgaben. Sie scheint bei der Erklärung reeller Bilder durch Sammellinsen noch nicht bewältigt zu sein. Ein äußeres Indiz dafür ist die Vielzahl der Fachbegriffe, die im Zusammenhang mit der Linsenabbildung üblicherweise vermittelt und eingeführt werden (sollen). Zu den scheinbar unentbehrlichen Begriffen zählen: *Brennpunkt, Brennebene, Brennweite, Brenn(punkt)strahl, Parallelstrahl, Mittelpunktstrahl, Bildpunkt, Bildweite, Bildgröße, Bildebene, Gegenstandspunkt, Gegenstandsweite, Gegenstandsgröße, Haupt- oder Mittelebene, optische Achse, optischer Mittelpunkt, achsenparallele und schiefparallele Lichtstrahlen* o. ä. Dabei handelt es sich nicht um Begriffe, die sich unmittelbar aus der Beschreibung der Phänomene ergeben. Vielmehr konstituiert sich ein adäquates Verständnis nur im Rahmen der theoretischen Zusammenhänge. Dies wird oft übersehen und führt dann zu Mißverständnissen. So halten z. B. Studenten und Schüler den folgenden Satz fast ausnahmslos für richtig: „Das Licht der Sonne wird im Brennpunkt gebündelt“. Das führt dann natürlich zur Ratlosigkeit bei der Frage, wie es möglich ist, von der Sonne ein großes Bild außerhalb der Bildmitte zu erzeugen. Der Satz ist natürlich falsch. Das Licht eines ausgedehnten Gegenstandes wird niemals in einem „Punkt“ gebündelt und fällt nur unter ganz besonderen Bedingungen auf das Umfeld der Bildmitte. Die phänomenologische Herkunft des Begriffs verdeckt seine theoretisch-formale Bedeutung als Schnittpunkt der Brennebene mit der optischen Achse.

Bedenkt man, daß für die Erarbeitung der Abbildungstheorie im Zusammenhang mit der Sammellinse meist nicht mehr als 2 bis 4 Unterrichtsstunden aufgewendet werden können, so ist es nicht weiter verwunderlich, wenn nach kurzer Zeit wieder vieles vergessen oder nicht richtig zugeordnet wird.

Didaktisch geht es um die Frage, ob oder wie die Komplexität – ohne wesentliche Abstriche an den Zielen – reduziert werden kann. Zwei Maßnahmen bieten sich an:

1. Unverzichtbare Begriffe und Modellvorstellungen werden soweit wie möglich im Rahmen einfacherer theoretischer Zusammenhänge erarbeitet, die sinnvollerweise der Behandlung der Linsenabbildung vorausgehen.

2. Es wird ein Verfahren zur geometrischen Darstellung der Linsenabbildung entwickelt, das mit einem Minimum an speziellen Begriffen auskommt.

## 2 Sukzessiver Aufbau der Modellvorstellungen und des Begriffssystems

*Lichtstrahl und Lichtbündel:* Die Vorbereitung auf das Verständnis der optischen Abbildung beginnt bereits bei der „geradlinigen Ausbreitung“ des Lichts. Hier kommt es sehr darauf an, die Modellbegriffe *Lichtstrahl* und *Lichtbündel* in geeigneter Weise zu fundieren. In Experimenten beobachten wir „Lichtkegel“. Verwenden wir als Lichtquelle Glühlämpchen mit fast „punktförmiger“ Wendel, so ist es naheliegend, z. B. das durch eine Blende fallende Licht so zu zeichnen, als ginge es von *einem Punkt* der Lichtquelle aus. Dies ist dann ein *Lichtbündel* (s. Abb. 2). Dabei ist die Abstraktion wichtig, daß nur dann von einem Lichtbündel gesprochen wird, wenn es von *einem* Punkt ausgeht. Das unterscheidet das Lichtbündel als theoretische Kategorie von den beobachtbaren Lichtkegeln, wie sie z. B. von Scheinwerfern oder von Diaprojektoren ausgehen. Der zeichnerischen Darstellung der Lichtbündel dienen *Lichtstrahlen*. Diese haben keinen Durchmesser, sind also nicht sichtbar. Es sind gedankliche Hilfsvorstellungen und Hilfen für die geometrische Darstellung von Lichtwegen.

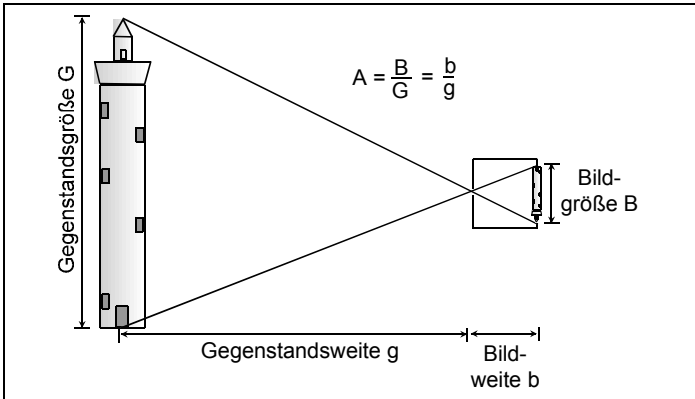
Wer nicht gelernt hat, den Strahl als Modellbegriff vom alltagssprachlichen „Strahl der Taschenlampe“ zu unterscheiden, hat schlechte Karten für das Verständnis der optischen Abbildung.

*Schattenbilder:* Scharfe Schattenbilder erhält man nur von „punktförmigen“ Lichtquellen. Mehrere punktförmige Lichtquellen erzeugen mehrere sich überlappende Schattenbilder. Von ausgedehnten Lichtquellen erhält man nur ganz undeutliche Schattenbilder. Im Unterricht kommt es darauf an, hier bereits das Modell zu entwickeln, sich Lichtquellen aus Einzelpunkten zusammengesetzt zu denken.

*Lochkamerabilder:* Das zur Abbildung führende optische Element ist grundsätzlich die Blendenöffnung, also z. B. das Loch in der *camera obscura*. Die schärfsten Bilder, die mit sichtbarem Licht überhaupt möglich sind, entstehen an der Lochkamera, denn das Loch ist das einzige abbildende Element, das keine zusätzlichen Abbildungsfehler erzeugt. Allerdings muß die Blendenöffnung dazu sehr klein im Vergleich zur Bildweite sein, so daß scharfe Lochkamerabilder extrem lichtschwach sind. Größere Blendenöffnungen erzeugen aber unscharfe Bilder.

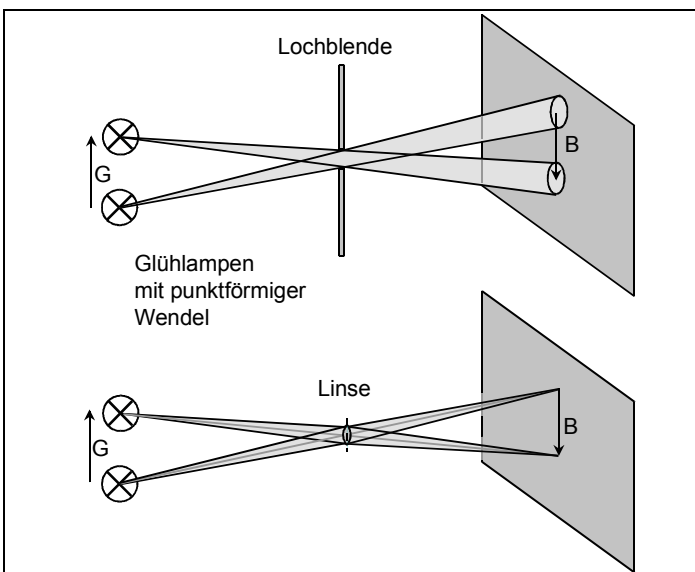
Es ist für das Verständnis der Rolle der Linse wichtig, daß die Schülerinnen und Schüler an Lochkamerabildern erleben, daß bei ausreichend hellen Bildern jeder Gegenstandspunkt zu einem *Bildfleck* führt (Abb. 2).

Alle grundlegenden Eigenschaften, Modellvorstellungen und Begriffe der reellen Abbildung können an der Lochkamera erarbeitet werden, z. B. die Begriffe *Bildweite* und *-größe*, *Gegenstandsweite* und *-größe* sowie der *Abbildungsmaßstab*. Die experimentellen Anordnungen und zeichnerischen Darstellungen sind noch so elementar, daß die Einführung einiger Fachbegriffe in diesem Zusammenhang keine Überforderung bedeutet (Abb. 1).



**Abbildung 1: Zur Einführung der Begriffe und des Abbildungsmaßstabes an der Lochkamera**

*Die Abbildung mit der Sammellinse:* Das Erleben der Bildunschärfe bei der Lochkamera macht die Funktion der Linse unmittelbar plausibel: Sie erzeugt statt der Bildflecke die notwendigen *Bildpunkte* (Abb. 2) Das Bild als solches ändert sich weder in seiner Lage noch in seiner Größe, wenn keine weiteren Parameter verändert werden.



**Abbildung 2: Die Lochkamera erzeugt aus Gegenstandspunkten Bildflecke, die Linse Bildpunkte – bei gleicher Lage und Größe des Bildes**

Besonders wichtig ist die experimentelle Überprüfung mit Hilfe einer gespannten Schnur, daß Gegenstandspunkt, Linsenmitte und Bildpunkt auf einer Geraden liegen. Dies ist der Verlauf des *Mittelpunktstrahls*. Das scharfe Bild hat seinen Preis. Wir sind nämlich im Gegensatz zur Lochkamera nicht mehr frei in der Wahl der Bildweite. Bildpunkte gibt es nur in einer einzigen Bildweite, weil die Schnittpunkte der nach der Linse konvergierenden Lichtbündel alle in einer Bildebene liegen. Für eine bestimmte Linse hängt diese von der Gegenstandsweite ab. Vergrößert man diese, so rückt das Bild zu-

nächst näher an die Linse heran. Das ist aber bei großen Gegenstandsweiten kaum mehr bemerklich. Ein einige Meter entfernter Mensch wird in der gleichen Ebene scharf abgebildet wie der Horizont oder gar die Sonne. Es gibt also eine kleinste Bildweite als Charakteristikum für jede Sammellinse. Dort liegen die Bildpunkte, die von parallelen Bündeln (aus welcher Richtung auch immer) erzeugt werden. Bildet man die Sonne in dieser Ebene ab, so kann Papier zu brennen beginnen. Die *kleinstmögliche Bildweite* heißt daher *Brennweite*, die zugehörige Bildebene *Brennebene*. Damit sind alle Begriffe, Vorstellungen und Lichtwege erarbeitet, die für das Verständnis der optischen Abbildung erforderlich sind. Sie sollten auch für exakte Bildkonstruktionen genügen.

**3 Bildkonstruktionen mit möglichst wenig Formalismen**

Verwendet man zur Abbildung Glühlämpchen mit quaspunktförmigem Glühfaden, so können die Schülerinnen und Schüler den Verlauf der Lichtbündel und deren Querschnittsänderung mit einem Blatt Papier verfolgen. An diesen beobachtbaren, die ganze Linse durchsetzenden „Vollbündeln“ knüpft das in Abb. 3 dargestellte Verfahren zur Bildpunktkonstruktion an:

<p>a) Von fernen Gegenstandspunkten parallel einfallende Lichtbündel führen zu Bildpunkten P' im Schnittpunkt von Mittelpunktstrahl und Brennebene.</p>	
<p>b) Von Gegenstandspunkten in endlicher Entfernung wissen wir zunächst nur, daß der jeweilige Bildpunkt auf dem Mittelpunktstrahl des Lichtbündels liegt.</p>	
<p>c) Am Verlauf eines Randstrahls würde sich nichts ändern, wenn er zu einem Parallelbündel gehören würde. Wir zeichnen daher als Hilfslinie den Mittelpunktstrahl eines gedachten Parallelbündels. Sie liefert den Schnittpunkt H mit der Brennebene.</p>	
<p>d) Der bildseitige Randstrahl durch H schneidet sich mit dem Mittelpunktstrahl des abbildenden Bündels im Bildpunkt P'. Der Fußpunkt des Bildes ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Bildebene mit dem zugehörigen Mittelpunktstrahl.</p>	

**Abbildung 3: Verfahren zur Bildkonstruktion mit beliebigen „Vollbündeln“<sup>1</sup>**

Zwar dürfte es für die Schülerinnen und Schüler etwa gleich schwierig sein, zu lernen, daß sich die Hilfslinie mit dem Randstrahl in der Brennebene schneidet, wie daß

<sup>1</sup> Das Verfahren liefert als Sonderfall bei gegenstandsseitig parallel zur optischen Achse verlaufendem Randstrahl die übliche Konstruktion mit Parallel- und Mittelpunktstrahl.

ein achsenparalleler Strahl bildseitig durch den Brennpunkt läuft. Aber der weitgehende Verzicht auf „ausgezeichnete Strahlen“ (Ausnahme: „Mittelpunktstrahl“) bietet zwei wesentliche didaktische Vorteile:

Erstens wird etwa die Hälfte der in Abschnitt 1 aufgeführten theoriehaltigen Begriffe entbehrlich. Im Zusammenhang mit der Sammellinse brauchen nur die Begriffe *Brennebene*, *Brennweite* und *Mittelpunktstrahl* eingeführt zu werden. Die übrigen verwendeten Begriffe sind bereits von der Lochkamera her bekannt.

Zweitens erfolgt die Konstruktion mit Hilfe von Lichtbündeln, deren Verlauf bei punktförmigen Lichtquellen (Lämpchen) experimentell verfolgt werden kann. Damit entfällt das lernpsychologische Problem, Bildpunkte mit Strahlen konstruieren zu müssen, die nur in Ausnahmefällen tatsächlich durch die Linse fallen (Parallelstrahl).

### **Literatur**

- [1] WIESNER, Hartmut: Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie 34 (1986) Heft 13, S. 25-29
- [2] WIESNER, Hartmut: Lehrgespräche zur Abbildung durch Sammellinsen. In: Behrendt, Helga (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven, 1993, S. 265-267

---

Anschrift des *Verfassers*: Dr. Heinz Muckenfuß, Pädagogische Hochschule Weingarten, Kirchplatz 2, 88250 Weingarten