

BILDER, DIE DURCH EINEN PUNKT GEGANGEN SIND

Anmerkungen zur Entstehung einer Abbildung

H. Joachim Schlichting

Westfälische- Wilhelms- Universität Münster

Kurzfassung

In Lehrveranstaltungen zur geometrischen Optik in Schule und Universität zeigt sich immer wieder, dass kaum angemessene physikalische Vorstellungen über das Zustandekommen einer optischen Abbildung anzutreffen sind. Es wird auf der Grundlage des euklidisch- keplerschen Modells des Lichts versucht, eine anschauliche Darstellung des Zustandekommens einer Abbildung zu geben. Dabei erweist sich der Durchgang des Lichtes durch ein möglichst kleines Loch als zentraler Gesichtspunkt.

*Das sind die Wunder...
nämlich dass schon verlorene, in einem so kleinen
Raum verschmolzene Formen
bei seiner Erweiterung wieder hervorgebracht und
neu gebildet werden können.
Wie ist es möglich, dass aus verschwommenen
Ursachen
so deutliche und klare Wirkungen hervorgehen
können wie diese Bilder,
die durch den erwähnten natürlichen Punkt
gegangen sind?*

Leonardo da Vinci [1]

"Was wir mit eignen Augen sehen, (ist) eine Reizung der Retina durch die *Abfälle* des Lichts..., das 'einen Körper' beleuchtet, das heißt durch das, was er uns zurückwirft- oder durchsickern lässt. Aber *dieser Abfall reicht aus für das, was wir mit der Wahrnehmung des betrachteten Körpers zu machen haben* [2]. Die von einem Gegenstand ausgehenden *Abfälle* des Lichts enthalten also die Information über dessen Aussehen. Wenn das Licht eines Gegenstandes auf eine spiegelnde Fläche trifft oder durch eine geeignete Linse geht, können aus dem Licht mit dem Original zum Verwechseln ähnliche Abbilder hervorgerufen werden. Wenn die optische Information des Aussehens eines Gegenstandes seinem ausgesandten Licht einbeschrieben ist, warum ist sie dann nicht stets als solche erkennbar? Warum wird der Gegenstand dann nicht beispielsweise auf einer weißen Wand abgebildet, die ja im Idealfall das Licht in Farbe und Intensität unverändert ins Auge des Betrachters zurückstreut?

1. Licht – Punkte und Strahlen

In dem vom Gegenstand kommenden Licht ist idealerweise die gesamte optische Information der Oberfläche des Körpers enthalten. Diese Einsicht hat bereits Leonardo da Vinci im Rahmen des euklidischen Lichtstrahl-Modells zum Ausdruck gebracht: "Jeder

Körper füllt die umgebende Luft mit seinem Ebenbild, welches das Ebenbild im Ganzen und in allen Teilen ist. Die Luft ist voll unendlich vieler gerader und strahlenförmiger Linien, die einander überschneiden und miteinander verwoben sind (und die) jedwedem Ding die wahre Form ihres Ausgangspunktes darstellen [3]. Der den Gegenstand umgebende Raum enthält die optische Information sogar vielfach – und genau das ist das Problem.

Aus der Sicht der geometrischen Optik lässt es sich folgendermaßen umschreiben. Die Oberfläche des Gegenstandes stellt eine ausgedehnte (indirekt austreibende) Lichtquelle dar, die aus zahlreichen Punktlichtquellen zusammengesetzt gedacht werden kann. Jeder dieser Punkte strahlt Licht radial in alle Richtungen insbesondere zu jedem Punkt der dem Gegenstand zugewandten Wand.

Es sei hier angemerkt, dass diese für den in die Seeweise der geometrischen Optik hineinsozialisierten Lehrenden wenig spektakulär erscheinende Aussage für die Schülerinnen und Schüler ziemlich voraussetzungsvoll ist. Selbst wenn sie sich an diese vom unmittelbaren Erleben des Lichtes ziemlich abgehobene letztlich auf Euklid zurückgehende Modellvorstellung des Lichtes gewöhnt haben. Die Tatsache, dass erst Johannes Kepler bei der Klärung des Sonnenaltherproblems nach zweitausendjährigem Bemühen die äußerst erschließungsmächtige Auffassung prägte, eine ausgedehnte Lichtquelle könne als ein Ensemble unendlich vieler Punktlichtquellen beschrieben werden, vermag dies eindrucksvoll zu untermauern [4].

2. Bilder an der weißen Wand

Wenn also ein Gegenstand sein Licht auf die Wand wirft, überlagert sich in jedem Punkt der Wand das Licht aller der Wand zugewandten Gegenstandspunkte, wenn man einmal vereinfachend davon ausgeht, das ansonsten kein Licht (z.B. weiterer Gegenstände) störend in Erscheinung tritt.

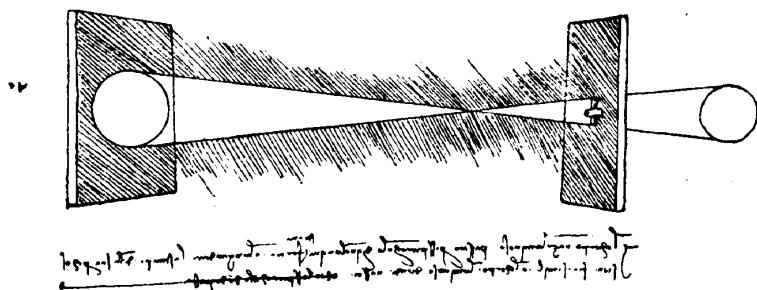


Abb. 1: Zeichnung von Leonardo da Vinci zur Demonstration, dass ein kreuzförmiges Loch das Bild der Lichtquelle entwirft. (Darunter seine Beschreibung in Geheimschrift (Spiegelschrift)).

Denn eine ideal weiße Wand lässt das auftreffende Licht nach Farbe und Intensität unverändert. Auf diese Weise kommt es auf der Wand zu einer Mischung aus allen Farben und Intensitäten des Lichtes der Gegenstandspunkte. (Jeder Punkt der vom Gegenstand "angestrahlten" weißen Wand nimmt die Farbe des Gegenstandes an, die i.a. eine Mischung mehrerer Farben darstellt. Bei geeigneter Verteilung der Farben würde die Wand weiß bzw. grau erscheinen. Wenn gewisse Farben, z.B. Rot, überwiegen, strahlt die Wand diese Farbe aus, was aber aus physiologischen Gründen oft nur schwer zu erkennen ist.) Die optische Information des Gegenstandes versinkt in der Komplexität dieses Zuviel, sodass keine Rückschlüsse auf das Aussehen des Gegenstandes möglich sind.

3. Abbilden durch Komplexitätsreduktion

Wie lässt sich die Komplexität so reduzieren, dass man ein getreues Abbild des Gegenstandes zu sehen bekommt? Indem man die Vielfachüberlagerung möglichst vermeidet und dafür sorgt, dass ein Punkt auf der Wand möglichst nur das Licht von einem Punkt des Gegenstandes erhält.

Das klingt komplizierter als es ist. Die ebenso einfache wie frappierende Lösung des Problems besteht darin, dass man das Licht des Gegenstandes durch eine punktförmige Blende passieren lässt, die zwischen Gegenstand und Wand positioniert wird. In diesem Fall gelangt – anschaulich gesprochen – von jedem Lichtpunkt des Gegenstandes nur ein Strahl auf die Wand und zwar in eindeutiger Weise, nämlich in der geraden Verbindung zwischen beiden Punkten.

4. Ein einfaches Modellexperiment

Dies lässt sich in einem einfachen Modellexperiment demonstrieren. Dazu "formt" man einen Gegenstand aus Glühlämpchen, die gewissermaßen die einzelnen Lichtpunkte repräsentieren. Dreht man die Lämpchen nacheinander an, so sieht man hinter einer kleinen Lochblende das seitenverkehrte und kopfstehende Bild des Glühlampensystems auf der Wand entstehen.

Eine weitere Demonstration besteht darin, dass man einen hellen Gegenstand durch eine kleine Lochblende betrachtet und durch die Bewegung des Auges gewissermaßen abscannt. Man erfährt durch eigenes Tun, dass man nach links gehen muss, wenn man den rechten Teil und in die Knie gehen muss, wenn man den oberen Teil des Gegenstandes sehen will. Das Kopfstehen wird auf diese Weise nicht als Kuriosum, sondern als unmittelbare Konsequenz der solchermaßen präparierten Betrachtung des Bildes erlebt.

5. Zur "Dialektik" der Lochgröße

An dieser Stelle erhebt sich in der Regel die Frage, wie klein das Loch zu sein habe und was unter einem Bildpunkt zu verstehen sei. Wenn man davon ausgeht, dass ein Punkt im Idealfall keine Ausdehnung hat, dann müsste das Loch unendlich klein sein, um nur einen Lichtstrahl durchzulassen. Das würde aber bedeuten, dass keine Lichtintensität die Wand erreicht. Wenn man dem Loch eine endliche Ausdehnung gibt, kommt das Licht mehrerer benachbarter Punkte hindurch, die dann auf der Wand ebenfalls einen endlichen Bereich beleuchten und daher zu einer Unschärfe führen. Je kleiner das Loch, desto feiner sind die Gegenstandsbereiche, die noch getrennt voneinander dargestellt werden können, d.h. desto größer ist die Auflösung und damit die Abbildungsgenauigkeit. Andererseits nimmt mit dem Querschnitt des Loches die Intensität des hindurchtretenden Lichtes ab, bis im Idealfall einer unendlich scharfen Abbildung überhaupt kein Licht mehr hindurch kann und man nichts mehr sieht. Die Größe des Loches ist also stets ein Kompromiss zwischen Schärfe und Helligkeit, die in einem komplementären Verhältnis zueinander stehen.

Indem das Loch dafür sorgt, dass der größte Teil der vom Gegenstand ausgehenden Information beseitigt wird, stellt es einen (nahezu) eindeutigen Zusammenhang zwischen Gegenstands- und Bildpunkten her, filtert es Ordnung aus dem "Chaos" heraus. Im Querschnitt des Loches durchdringen sich die Strahlen aller Gegenstandspunkte. Darin, dass die bereits verloren gewährten "in einem so kleinen Raum verschmolzenen Formen" des Gegenstandes "bei seiner Erweiterung wieder hervorgebracht und neu gebildet werden können", sieht Leonardo da Vinci das eigentliche Wunder der optischen Abbildung. In der Physik spricht man von freier Superposition.

Dass sich die Lichtstrahlen nicht gegenseitig stören, ist auch für die Schülerinnen und Schüler ein Problem. Sie erfahren an dieser Stelle, dass sich Licht anders verhält als Gegenstände, die zur gleichen Zeit nicht am selben Ort sein können.

6. Ein Flur als Camera obscura

Eine eindrucksvolle Illustration einer solchen durch einen Punkt gegangenen Abbildung haben sich vor Jahren meine Kinder zunutze gemacht. Ich erwischt sie des öfteren im dunklen Flur, der sich an unser Fernsehzimmer anschloss. Auf den Verdacht, sie könnten verbotenerweise am Fernsehabend teilnehmen, kam ich deshalb nicht, weil ich sie nie hinter dem Schlüsselloch antraf. Außerdem war es unmöglich, zu zweit durch ein Schlüsselloch zu sehen. Bis ich eines Tages entdeckte, dass im stockdunklen Flur auf der dem Schlüsselloch gegenüber liegenden Wand das schwache Fernsehbild kopfstehend zu verfolgen war. Diese Einschränkung sowie die mindere Qualität des Bildes veranlasste sie offenbar nicht, auf die Vorstellung zu verzichten.

Unbeabsichtigt war der Flur zur dunklen Kammer, zur Camera obscura, geworden, die bereits lange vor Keplers Erklärung in Gebrauch war und als Vorläufer unseres heutigen Fotoapparates angesehen werden kann. Die Tatsache, dass die auffällige Form des Schlüssellochs offenbar unerheblich für die Abbildung des Fernsehbildes war, verweist noch einmal auf das Phänomen der Sonnentaler.

7. Modell und Wirklichkeit

Interessanterweise zeitigt das endliche Auflösungsvermögen unserer Augen einige reale Phänomene, die nahe legen, in der euklidisch-keplerschen Beschreibung des Lichts mehr als eine bloße Modellierung und Idealisierung zu sehen. So machen etwa die *Pointelisten* genannten Maler auf eindrucksvolle Weise darauf aufmerksam, dass man mit kleinen Tupfern weniger Grundfarben täuschend (sic!) echte Farbeindrücke sämtlicher Farben erzeugen kann, sofern man die entsprechenden Bilder aus einiger Entfernung betrachtet.

Eine technische Ausnutzung dieses Täuschungseffektes findet man bekanntlich bei der Farbdarstellung in der Drucktechnik sowie beim Fernseh- und Computerbildschirm realisiert. Unter der Lupe betrachtet zerfällt das aus der Ferne kontinuierlich erscheinende Weiß in ein Gitter farbiger Punkte (Abb. 2). Bei Farbdarstellungen dominieren natürlich die Punkte der hauptsächlich hervortretenden Farbe.

Auch die Tatsache, dass unsere Augen über ihre Zäpfchen und Stäbchen die Wirklichkeit rein physikalisch gesehen nur gesprenkelt wahrnehmen scheint darauf zu verweisen, dass uns eine kontinuierliche Wirklichkeit gewissermaßen nur vorgespiegelt wird. Trotz dieser eindrucksvollen Koinzidenz sei jedoch davor gewarnt, das eine, die Modellierung und Idealisierung der geometrischen Optik durch Punkte und gerade Linien, mit dem anderen, der physiologisch begründeten optischen Täuschung unserer Augen zu vermengen: Licht besteht nicht aus einzelnen Strahlen, die von Punkten ausgehen und in Punkten enden. Diese Modellvorstellung erlaubt jedoch in vielen Fällen eine geometrisch-physikalische Be-

schreibung einer großen Klasse von Lichtphänomenen.

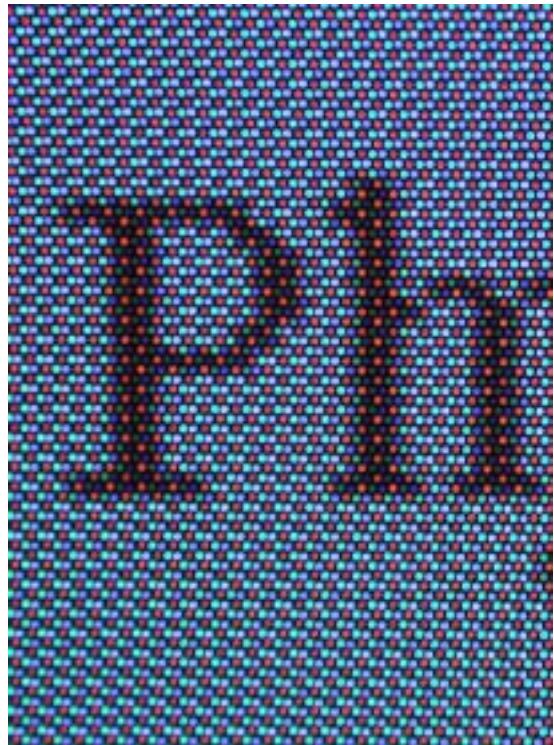


Abb. 2: Kleiner Ausschnitt aus einem "weißen" Bildschirm (Lochmaske) mit roten Buchstaben aus der Nähe betrachtet durch eine Mischung dreier Grundfarben erzeugt.

Danksagung

Ich danke Udo Backhaus für wertvolle Hinweise und Carsten Bruns für das Foto des Computerbildschirms.

8. Literatur

- [1] Da Vinci, Leonardo: Tagebücher und Aufzeichnungen. Leipzig: Paul List Verlag 1940, S.152
- [2] Valéry, Paul: Cahiers 2. Frankfurt: S. Fischer 1988, S. 339
- [3] Da Vinci, Leonardo : da Vinci, Leonardo : Zammattio, Carlo, Marinoni; Augusto; Brizio, Anna Maria: Leonardo der Forscher . München: Deutscher Bücherbund ohne Jahr (MS. A2v)
- [4] Schlichting, H. Joachim: Sonnentaler fallen nicht vom Himmel. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 48/4, 199 - 207 (1995).

H. Joachim Schlichting
Westfälische-Wilhelms-Universität Münster
Institut für Didaktik der Physik
Wilhelm-Klemm-Straße 10
48149 Münster
schlichting@uni-muenster.de