

Alltägliche Reflexionen

H. Joachim Schlichting, Volkhard Nordmeier

Universität GH Essen

*Noch viel wunderbarer als der einfache Spiegel
ist der durchsichtige Spiegel, zum Beispiel ein Fenster.*

Christian Morgenstern

*Welcher Naturforscher erfreut sich nicht der Wunderdinge,
die er durch Spiegel hervorgebracht sieht?*

Johann Wolfgang von Goethe

Problemstellung

Die geometrische Optik gehört seit Kepler zu den abgeschlossenen Bereichen der klassischen Physik und kann vom intellektuellen Anspruch her gesehen eher zu den einfach zugänglichen Theorien gerechnet werden.



Bild 1: Reflex der tiefstehenden Sonne in einer Fensterscheibe.

Phänomene der geometrischen Optik sind daher in besonderer Weise geeignet, auf Lernschwierigkeiten und Probleme des Lernens und Lehrens aufmerksam zu machen, die nicht auf der Kompliziertheit des physikalischen Stoffes, sondern auf einer unzureichenden Einübung in die physikalische Sehweise beruhen.

So zeigt es sich bei zahlreichen optischen Phänomenen im Alltag, die allein mit

Mitteln der geometrischen Optik erklärbar sind, daß sie den SchülerInnen zunächst überhaupt nicht „ins Auge fallen“. Und wenn es denn der Fall ist, weil sie beispielsweise explizit darauf hingewiesen werden, stehen sie ihnen oft trotz vorhandener Vorkenntnisse in geometrischer Optik hilflos gegenüber [1].

Einer der Gründe besteht u.E. darin, daß es nicht genügt, mit den physikalischen Voraussetzungen für eine Beschreibung von Phänomenen vertraut zu sein. Man muß auch gelernt haben, sie in ungewohnten Zusammenhängen anzuwenden. Dazu gehört zunächst, daß die SchülerInnen entsprechende Phänomene sehen lernen und sie als Anwendungsbeispiel des im Physikunterricht Gelernten erkennen. Es zeigt sich, daß gerade diese Forderung verhältnismäßig schwer zu erfüllen ist, weil Alltagsphänomene i.a. erst durch eine mehr oder weniger starke Idealisierung einer physikalischen Erklärung zugänglich gemacht werden können. In welcher Richtung die Idealisierung im konkreten Einzelfall aber zu erfolgen hat, haben die Phänomene nicht gleichsam ablesbar an sich. Hier ist Kreativität und Einfallsreichtum gefordert. Am Ende eines solchen Erarbeitungsprozesses

ses kann aber die Erfassung des Phänomens zu einer veritablen Entdeckung werden, auch wenn die Erklärung sich im Nachhinein als physikalisch einfach erweisen sollte. Im folgenden soll ein Beispiel eines solchen Phänomens skizziert werden.

Phänomen

Spiegelnde Fensterscheiben gehören zu den Alltagserfahrungen der SchülerInnen. Sei es, daß sie durch die Sonne geblendet oder durch einen solchen Reflex auf ein weit entferntes Fenster aufmerksam werden (Bild 1). In wiederum anderen Fällen entwirft die Sonne vielleicht ein mehr oder weniger getreues Abbild eines Fensters auf dem Pflaster oder - in



Bild 2 : Normale Reflexe von gegenüberliegenden Fensterscheiben.



Bild 3: Oberhalb von normalen deformierte Reflexe gegenüberliegender Fensterscheiben.

günstigen Fällen - auf einer gegenüberliegenden Häuserwand (Bild 2).

Das Zustandekommen derartiger Reflexe liegt auf der Hand, weil das Phänomen den mit ebenen Spiegeln durchgeführten Laborphänomenen sehr ähnlich ist. Die Beobachtung, daß die Reflexe etwa von der Größe der sie hervorrufenden Fensterscheiben sind, zeigt daß das Sonnenlicht nahezu parallel ist.

Achtet man auf derartige Reflexe, so erblickt man zuweilen neben den erwarteten Abbildungen der Fensterscheiben merkwürdig strukturierte Lichtflecke, die nicht selten eine ovale oder kreisrunde Form annehmen (Bild 3 und Bild 5).

Erklärung



Bild 4: Reflexe einer Fensterfront auf dem Pflaster.

gerufen werden. Die merkwürdigen Fensterreflexe sind aber von derselben Größenordnung wie die sie erzeugenden Scheiben.

Wenn man nur Fotos derartiger Reflexe vor Augen hat und sich nicht unmittelbar davon überzeugen kann, daß sie von den gegenüberliegenden Fenstern hervorgerufen werden, fällt es schwer, ihr Zustandekommen zu erklären. Jedenfalls zeigten Studierende und auch Kollegen, denen wir entsprechende Fotografien (Bild 3 und Bild 5) vorlegten, zunächst große Zweifel an der Reflexionshypothese. Studierende, die in einer vorangegangenen Lehrveranstaltung „Sonnentaler“ (siehe [2] und [3]) kennengelernt und dabei insbesondere erfahren hatten, daß ein kleiner Spiegel oder das Uhrglas einer rechteckigen Uhr auf der (nicht zu nahen) Wand ovale bis kreisrunde Bilder der Sonne entwerfen, glaubten darin zunächst ein ähnliches Phänomen zu erkennen. Dies konnte aber leicht ausgeschlossen werden, da Sonnentaler groß im Vergleich zur Öffnung sein müssen, durch sie hervor-

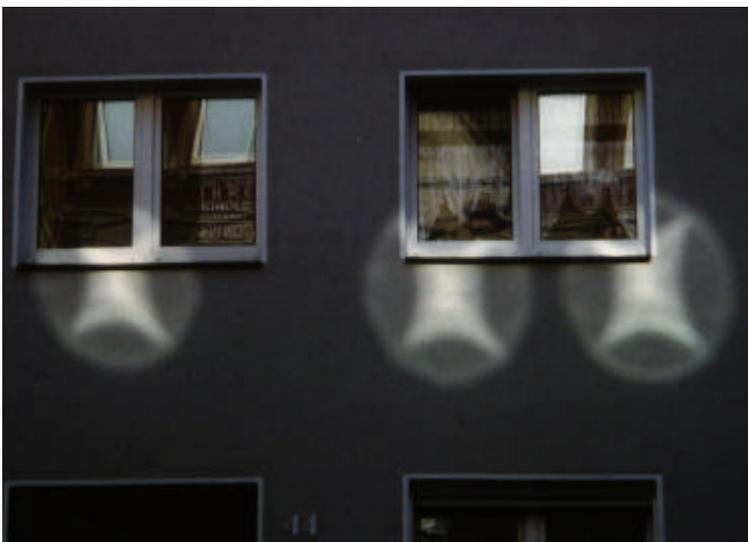


Bild 5: Deformierte Reflexe, bei denen die Kreis- und Kreuzform besonders gut zu sehen ist.

Beginnt man mit einer Erklärung des hellen „Lichtkreuzes“ innerhalb des sehr viel lichtschwächeren peripheren Lichtkreises, so deutet dies auf eine fokussierende Wirkung der spiegelnden Scheiben hin. Fokussierend kann ein Spiegel aber nur dann sein, wenn seine Oberfläche gekrümmt ist. Hat man diesen Gedanken erst einmal gefaßt, ist es i.a. nicht schwer herauszufinden, wie die Scheibe gegebenenfalls gekrümmt sein müßte.

Bei einer rechteckig eingespannten Scheibe ergibt sich aus geometrischen Gründen eine ausgeprägte Einbuchtung längs der Diagonalen der Scheibe. Dies läßt sich auf einfache Weise nachvollziehen,

wenn man z.B. eine in einem Bilderrahmen fest eingespannte Overheadfolie durch Druck oder Zug in der Mitte belastet. (Bild 7).

Eine derartig verformte Scheibe reflektiert das auftreffende Licht an den konvexen Krümmungsabschnitten der „Täler“ divergierend und an den konkaven Krümmungsabschnitten konvergierend. Die Scheibe fokussiert demnach an den inneren Flanken der diagonalen „Täler“ das Licht und defokussiert es an dessen äußeren Rändern (Bild 6). Das auf der gegenüberliegenden Häuserwand zu beobachtende diagonale Lichtkreuz bedeutet demnach, daß die gegenüberliegende Häuserwand gerade in der "Brennebene" der gekrümmten Scheibe liegt.

Wie aber kommt es zu der ovalen bzw. kreisförmigen, durch einen hellen Bereich begrenzten Lichtform? Zur Beantwortung dieser Frage machen wir uns zunächst klar, wie die Lichtreflexe an einer Einbuchtung aussehen, wenn die Scheibe von der Rückseite bestrahlt wird. Die „Täler“ sind nunmehr „Berge“, konkave Bereiche werden zu konvexen, und umgekehrt vertauschen fokussierende und defokussierende Bereiche ihre Rolle. Man macht sich leicht klar, daß an einer derartigen, längs der Diagonalen der Scheiben verlaufenden Ausbuchtung reflektiertes Licht wiederum im geeigneten Abstand ein Oval bzw. eine Kreisform mit hellen Rändern hervorrufen muß. Auch dieser Effekt tritt bei den beobachteten Reflexen auf.

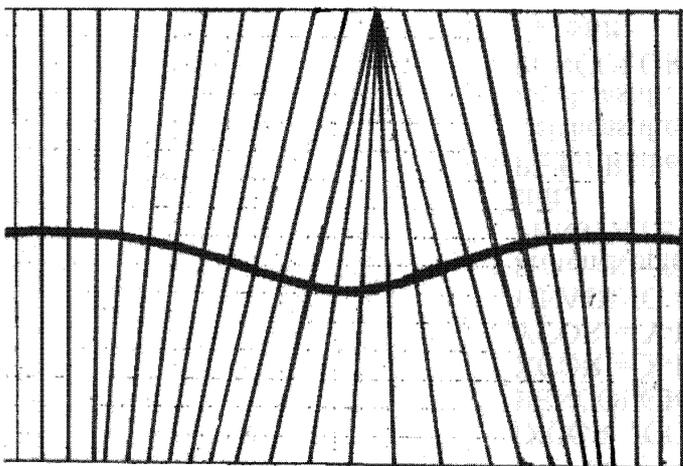


Bild 6: Überhöhter Querschnitt durch eine deformierte Scheibe. Je nachdem von welcher Seite das Licht auf die Scheibe auftrifft, treten fokussierende oder defokussierende Reflexionen auf. (die senkrecht

Daher liegt die Vermutung nahe, daß sich insgesamt die Wirkungen einer in der Diagonalen konvex und einer konkav verformten Scheibe überlagern. Zu einer solchen Überlagerung kommt es automatisch, wenn das Licht von einer Doppelglas-scheibe ausgeht, die einen Teil des Lichtes an der äußeren und einen Teil an der inneren Scheibe reflektiert, sofern die Scheiben entgegengesetzt gewölbt sind.

Derartige Verhältnisse kann man sich leicht dadurch verursachen denken, daß die (weitgehend) luftdicht abgedichteten Scheiben in ihrem Innern einen Gasüberdruck oder - unterdruck aufweisen, der zu einer Ausbuchtung oder Einbuchtung beider Scheiben führt. Vorausgesetzt, die beiden Scheiben sind gleich (insbesondere von gleicher Dicke), so ist in beiden Fällen derselbe Effekt zu beobachten, weil dann - abgesehen davon, daß die Scheiben an der Reflexion mit vertauschten Rollen beteiligt sind - äquivalente Krümmungsverhältnisse und damit dieselben optischen Bedingungen vorliegen.

Derartige Verhältnisse kann man sich leicht dadurch verursachen denken, daß die (weitgehend) luftdicht abgedichteten Scheiben

Für beide Fälle lassen sich Argumente finden. Da man die Phänomene besonders bei tiefstehender Sonne, also morgens und abends, beobachtet, läßt sich eine Deformation der Scheiben sowohl durch einen abkühlungsbedingten Unterdruck als auch einen aufheizungsbedingten Überdruck erklären. Welcher der beiden Fälle tatsächlich vorliegt,

könnte man dadurch herausfinden, daß man gegen eine der Scheiben drückt und feststellt, wie sich die Struktur der Reflexe dadurch verändert. Vermutlich stehen die Scheiben herstellungsbedingt unter einem gewissen Unterdruck.

Verglichen mit der Häufigkeit des Auftretens von Sonnenlichtreflexionen durch Fensterscheiben allgemein beobachtet man ein scharfes Lichtkreuz im Lichtkreis relativ selten.

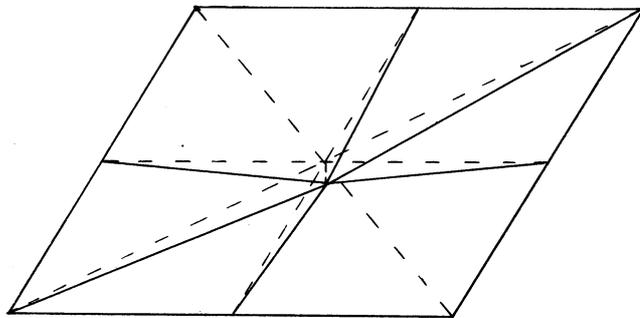


Bild 7: Belastet man eine in einem Rahmen eingespannte Folie, so bündelt sie sich längs der Diagonalen aus.

nur wenn der Abstand der gegenüberliegenden Häuserfronten gerade so groß ist, daß er gerade der „Brennweite“ der gekrümmten Fensterscheiben entspricht, treten scharfe Lichtkreuze im Lichtkreis auf. Wenn aber ein solcher Fall vorliegt, dann könnte man theoretisch aus der Kenntnis des Abstandes der Häuserfronten die Krümmung der Scheiben ermitteln. Weitere Informationen etwa über die Dicke der Scheiben und den Elastizitätsmodul ließen daher sogar Rückschlüsse über den Gasdruck im Innern der Doppelglasscheibe zu. Bei geeigneter Normierung mit Hilfe des äußeren Luftdrucks könnte die Doppelglasscheibe als eine Art Dosenbarometer angesehen werden. Mit einem entsprechend geschulten Blick auf die morgendliche oder abendliche Struktur der Reflexe eines gegebenen Fensters ließe sich der Luftdruck ablesen und eine Wettervorhersage treffen.

Der Grund dafür dürfte darin liegen, daß die Reflexe nur dann auf gegenüberliegenden Häuserwänden auftreten können, wenn die Sonne relativ niedrig steht also morgens und abends. Daher darf der Straßenverlauf nicht zu stark von der Nord- Südrichtung abweichen. Aber selbst dann, wenn diese Bedingungen erfüllt sind, wird man meist relativ unscharfe Lichtfiguren beobachten. Denn

Auch wenn mit den letzten Aussagen die physikalische Fantasie etwas über die Stränge schlagen mag, sollte man sich vor Augen führen und dies im Unterricht angemessen diskutieren, daß ähnlich weitreichende Folgerungen in anderen nicht unmittelbar sinnlich zugänglichen Bereichen gang und gäbe sind. Interessant ist noch die Tatsache, daß man, nachdem man die Reflexe einmal gesehen hat, sie trotz ihrer Seltenheit immer wieder zu Gesicht bekommt.

Experiment

Eine experimentelle Überprüfung der theoretischen Überlegungen ist leicht möglich. Dazu stellt man sich eine Doppelglasscheibe her, indem man zwei durch einen z.B. quadratischen Rahmen auf Abstand gehaltene Plexiglasscheiben luftdicht zusammenklebt. Mit einem Stutzen versehen kann man mittels eines Schlauches Luft in den Zwischenraum hineinblasen oder aus demselben herausaugen. Hält man diese Scheibe in den Strahlengang einer Lampe, so kann man einen Reflex von der Form der Scheibe auf einer Projektionswand entwerfen. Durch gezielte Variation des Luftdrucks läßt sich die Scheibe gerade so verformen, daß auf der Projektionswand das Lichtkreuz im Lichtkreis entworfen wird. Das ist ein Vorteil gegenüber den oben beschriebenen realen Verhältnissen, bei denen die Scheibenkrümmung vorgegeben ist und daher der Abstand der Projektionswand zufällig stimmen muß.

Den Möglichkeiten, die Effekte in der oben beschriebenen Weise messend zu erfassen, sind mit einem solchen Modell natürlich keine Grenzen gesetzt.

Literatur

[1] H. J. Schlichting: Wie sehen die Naturwissenschaftler heute die Welt, und welche Folgerungen ergeben sich daraus für die schulische Bildung? In: Landesinstitut für Erziehung und Unterricht (Hrsg.): Forum Realschule 1995. Naturwissenschaftlicher Unterricht. Materialien RS 9, S. 14 - 34

[2] H. J. Schlichting: Sonntaler - Abbilder der Sonne. Praxis der Naturwissenschaften - Physik 43/4, 19 (1994)

[3] H. J. Schlichting: Sonntaler fallen nicht vom Himmel. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 48/4, 199 - 207 (1995).