

Ein tiefer Blick ins Glas

Alltagsphänomene als Zugang zur geometrischen Optik

Von Hans Joachim Schlichting und Wilfried Suhr

Trinkgläser spielen im Alltag eine wichtige Rolle. Es ist daher geradezu unvermeidlich, dass unsere Netzhäute beim Blick ins Glas von optischen Phänomenen belichtet werden und einmal mehr den leicht daher gesagten Ausspruch „Physik ist überall“ illustrieren. Doch in den meisten Fällen steht keiner hinter den Netzhäuten, der diese Phänomene als solche wahrnimmt. Darin kommt der auf den ersten Blick merkwürdig erscheinende Sachverhalt zum Ausdruck, dass das Alltägliche für die Lernenden wie eine Tapete zur vertrauten Ausstattung ihrer Lebenswelt gehört und daher fraglos akzeptiert wird. Vertrautes führt aber weder zu einer Intensivierung der Wahrnehmung noch macht es neugierig (worauf auch?), so dass es von sich aus zu keinen Fragen und dadurch nahe gelegte Untersuchungen herausforderte [1].

Hinzu kommt ein weiteres Problem: Alltagsgegenstände sind keine physikalischen Objekte. Im Unterschied etwa zu Geräten der physikalischen Lehrmittelsammlung, die einzig zu dem Zweck konzipiert und hergestellt werden, ohne Umschweife einen physikalischen Zusammenhang hervorzubringen, sind Alltagsgegenstände zunächst physikalisch völlig indifferent und alles andere als auf einfache Weise physikalisch zugänglich. Ihnen muss der physikalische Aspekt erst einmal abgerungen werden. Das setzt aber voraus, das Alltägliche aus einer unvertrauten, neuen Perspek-

tive zu betrachten. Diese stellt sich nicht von selbst ein und muss eingeübt werden [2].

Der an Trinkgläsern gebrochene Blick

Durch ein transparentes Trinkglas mit oder ohne transparente Flüssigkeit kann man hindurch sehen und andere Gegenstände wahrnehmen. Der Durchblick ist zwar nicht so perfekt wie etwa bei einer Fensterscheibe, aber das erwartet man von einem gekrümmten und nicht perfekt gearbeiteten Glas auch gar nicht (Abb. 2). Wenn man jedoch bewusst beispielsweise durch ein (teilweise) gefülltes Weinglas hindurch auf umgebende Gegenstände schaut, wird plötzlich klar, dass es sich in diesem Fall um mehr als eine kleine Abweichung vom perfekten Durchblick handelt. Man hat es mit einem veritablen optischen Phänomen zu tun: Die Gegenstände erscheinen nämlich nicht nur etwas verzerrt, sondern sie stehen auf dem Kopf und sind seitenverkehrt (Abb. 3).

Blickt man durch ein zylindrisches Wasserglas, so stellt man nur eine Seitenverkehrung fest. Die vertikale Verkehrung ist offenbar auf die zusätzliche vertikale Krümmung des bauchigen Weinglases zurückzuführen. Es zeigt sich also, dass die Verkehrungen durch entsprechende Glas-



Abb. 2: Der Blick durch ein leeres Weinglas zeigt einige Verzerrungen.



Abb. 3: Der Blick durch den Wein zeigt die Gegenstände auf dem Kopf stehend und seitenverkehrt.



Abb. 1: Durch das zylindrische Glas gesehen, scheint das Spielzeugauto aus der entgegengesetzten Richtung zu kommen.

krümmungen hervorgerufen werden.

Dieses Phänomen wirft nicht nur die Frage nach dem Ursprung der Verkehrungen auf. Der vertraute Vorgang des Sehens selbst wird hier in einem unvertrauten Kontext angetroffen und damit fragwürdig. Wie kommt das Sehen zustande? Ohne die Frage zu vertiefen, kommt es hier nur darauf an, dass beim Sehen Abbilder auf der Netzhaut entstehen und gegebenenfalls „wahrgenommen“ werden. Die Situation ist damit ähnlich der Entstehung des Abbilds eines Gegenstands auf einer Projektionsfläche (Abb. 5).

Damit wird die Perspektive vom intuitiven Sehen auf die Abbildung von Gegenständen – in diesem Fall durch Trinkgläser – verschoben und die Beantwortung der Frage, wie es zu den Seitenverkehrungen kommt, läuft auf eine Untersuchung der Lichtwege vom Gegenstand über das Trinkglas zum Abbild hinaus.

- Um diese Untersuchung möglichst einfach zu gestalten, betrachten wir zunächst ein (nahezu) zylindrisches Trinkglas, also ein Glas, das nur in einer Ebene gekrümmt ist: Dieser einfachen Krümmung entsprechend ist nur eine Seitenverkehrung zu beobachten. Dreht man das zylindrische Gefäß (z.B. in Form einer verschließbaren transparenten Flasche), so sieht man, wie die Seitenverkehrung in eine Verkehrung von Oben und Unten übergeht. Es zeigt sich also, dass die Verkehrungen durch entsprechende Glaskrümmungen hervorgerufen werden, die horizontale Verkehrung durch die waagerechte und die vertikale Verkehrung durch die senkrechte Krümmung. Ein bauchiges Weinglas verfügt über beide Krümmungen.
- Um Aufschluss über die Ursache der Verkehrungen zu erhalten, betrachten wir die Lichtwege, die von den Gegenständen ausgehenden Lichtstrahlen. Der Einfachheit halber wird ein zylindrisches Glas (mit nur einer Krümmung) in den Strahlengang einer hellen Lichtquelle (z.B. der Sonne) gestellt. Dabei fällt zweierlei auf (s.a. Abb. 6): Erstens: Das „transparente“ Glas wirft einen Schatten. Zweitens: Das Licht konzentriert sich in einem hellen Fleck hinter dem Glas. – Die Sammlung von Licht hinter einem gekrümmten Gegenstand ist eine Folge der Tatsache, dass schräg auf eine Grenzfläche zwischen einem (optisch) dünneren (z.B. Luft) und einem (optisch)

dichteren Medium (z.B. Wasser, Glas) auftreffendes Licht zum Einfallslot hin gebrochen wird.

Dieser am Trinkglas entdeckte Sachverhalt der Lichtbrechung kann im Unterricht zum Anlass genommen werden, genauer untersucht zu werden. Dies wäre ebenfalls mit Trinkgläsern möglich. Möchte man jedoch zu quantitativen Ergebnissen kommen und das Brechungsgesetz mathematisch formulieren, bietet sich der Übergang zu Geräte der Lehrmittelsammlung an. Der Einsatz Laserpointer, Sammellinsen, Lichtstrahlengeneratoren unter Wasser u.ä. erscheint an dieser Stelle geradezu geboten und wird aufgrund des lebensweltlichen Zugangs zur Problematik von den Lernenden nicht als künstlich empfunden (wie es der Fall wäre, wenn man gleich mit den Geräten begonnen hätte.)

- Zur Illustration der Lichtbrechung kommt uns ein Glas mit einer vertikalen Innenriffelung entgegen, die das Phänomen der Lichtfokussierung fast auf natürliche Weise im Strahlenmodell des Lichtes erscheinen lässt. Denn die Riffelung führt dazu, dass das Licht in einzelne Strahlen zerlegt wird, die je nach dem, unter welchem Winkel (bezüglich der Normalen) sie auf den zylindrisch geformten Wasserkörper auftreffen, mehr oder weniger stark gebrochen werden (Abb. 6).

Aufgrund der Kreisform der Grenzfläche überkreuzen sich die Lichtstrahlen, derart dass das Licht von der einen Seite eines Gegenstandes genau auf der anderen Seite zum Beispiel einer Leinwand landet und umgekehrt. Das Bild des Gegenstandes erscheint daher seitenverkehrt (Abb. 1). Bei vertikaler Krümmung (kugelförmiges Glas) tritt zusätzlich die bereits erwähnte Seitenverkehrung auf, die zum Kopfstand der Abbildung führt.

Dass ein Weinglas eine besondere Form einer Sammellinse darstellt, dürfte während der Untersuchungen klar geworden sein. Dass ein Weinglas eine besondere Form einer Sammellinse darstellt, dürfte während der Untersuchungen klar geworden sein. An dieser Stelle drängt sich dann oft die Frage auf, ob ein Weinglas denn auch als Lupe benutzt werden kann. Wie man in einem kleinen Versuch feststellt, ist die Weinglaslupe zwar nicht sehr praktisch und es müssen einige Verzerrungen in Kauf genommen werden, aber im Prinzip funktioniert es (Abb. 6).



Abb. 4: Abbildung des durch ein Fenster ausgeschnittenen Teils der Umgebung durch ein Weinglas.

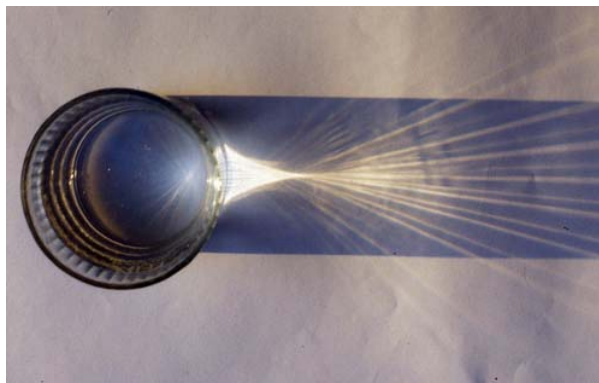


Abb. 5: Auf dem Wege von der Lichtquelle über das Wasserglas zur Leinwand kreuzen sich die Lichtstrahlen und führen zu einem seitenverkehrten Bild.



Abb. 6: Das Weinglas als Lupe



Abb. 7: Das Glas bildet seinen eigenen Schatten ab.



Abb. 8: Spiegelbilder des Fotografen an Vorder- und Rückseite des Glases.

Schatten durchsichtiger Objekte

Nach diesen Untersuchungen dürfte auch die Frage nach der Entstehung des Schattens hinter einem transparenten Glas (s.o. und Abb. 5) geklärt sein. Da das gesamte am kreisförmigen Querschnitt des Glases gebrochene Licht durch ein sehr kleines Raumgebiet (im Idealfall durch einen Punkt) geht, fehlt das Licht im übrigen Bereich hinter dem Glas: Schatten sind aber nichts anderes als Bereiche mit Lichtdefiziten.

In manchen Fällen kann der Eindruck entstehen, ein Weinglas würde sich kreativ mit seinem eigenen Schattenbild auseinandersetzen. Wenn es nämlich so im Strahlengang einer Lichtquelle gestellt wird, dass neben dem Schattenbild auf einer Projektionswand, ein verfremdetes auf dem Kopf stehendes Schattenbild durch das Glas hindurch zu sehen ist (Abb. 7).

Ein wesentliches Problem bei der Erarbeitung physikalischer Zusammenhänge an Alltagsgegenständen ist in der oft überbordende Komplexität zu sehen, die es so zu reduzieren gilt, dass es nicht willkürlich, sondern von der Sache her geboten erscheint. In diesem Bemühen, den Alltagsgegenständen relevante physikalische Aspekte abzurufen, sollte jedoch ein wesentliches didaktisches Anliegen gesehen werden, erlaubt es doch auf Idealgestalten basierendes physikalisches Argumentieren und lebensweltliches Denken in Beziehung zu setzen. Nicht immer sind die im Sinne des jeweiligen Unterrichts als nebensächlich einzustufenden Phänomene so unscheinbar, dass es leicht fällt, sie beiseite zu lassen. So auch im Falle des obigen Schattenphänomens. Um eine Erklärung der weißen Streifen, die dem Bild eine besondere Note geben, kommt man kaum herum. Ohne tiefer auf die Streifen einzugehen, sei nur so viel gesagt: Der untere Streifen verdankt sich der Totalreflexion an der unteren Seite der Wasseroberfläche, der obere Streifen der Brechung des Lichtes an der unteren Glasrundung. (Eine Begründung mit Hilfe einer Computersimulation findet man in [6]).

Spiegelnde Gläser

Nicht nur das Auftreten von Schatten infolge der Lichtfokussierung relativieren die Transparenz eines Trinkglases. Ein Teil des Lichts durchquert gar nicht erst die Grenzschicht. Das kann man unter günstigen Lichtverhältnissen unmittelbar sehen. Ein Teil des von einem Gegenstand ausgehenden Lichts wird einfach zurückgeworfen: spiegelnd reflektiert. Die Vorderseite des Weinglases in Abb. 8 wirkt wie ein (verkleinernder) Wölbspiegel, wie man ihn beispielsweise von unübersichtlichen Straßeneinmündungen kennt. Noch ausgeprägter ist jedoch eine zweite Spiegelung, die an der Rückseite des Glases erfolgt, die wie ein Hohlspiegel wirkt und daher ein auf dem Kopf stehendes Spiegelbild zeigt.

Auch wenn die Spiegelphänomene transparenter Gläser nur unter besonderen Bedingungen (helle Gegenstände, dunkler Hintergrund zur Vermeidung von Streulicht) sichtbar werden, gehören sie zu den wichtigsten Alltagsgegenständen, bei denen das Prinzip des Hohl- und Wölbspiegels realisiert erscheint¹. Die idealen Modelle des Hohl- und Wölbspiegels einer gut sortierten Lehrmittelsammlung kommen im Alltag so gut wie gar nicht vor. Erst durch die Möglichkeit, die im Alltag erfahrenen Spiegelphänomene vertieft und ggf. auch quantitativ zu erarbeiten, erhalten die Modelle ihre Berechtigung. Wenn überhaupt lernen viele Schülerinnen und Schüler leider nur die Modelle kennen.

Leere Gläser

In den bisherigen Überlegungen sind wir stillschweigend davon ausgegangen, dass die Trinkgläser gefüllt waren. Das Glas selbst war eigentlich nur Form gebend für die Flüssigkeit. Betrachtet man die Weinglasphänomene genauer, so erkennt man, dass auch das Glas selbst für zahlreiche Phänomene verantwortlich ist. Ein Beispiel wurde bereits oben experimentelle ausgenutzt: Die Zerlegung des Lichtes in

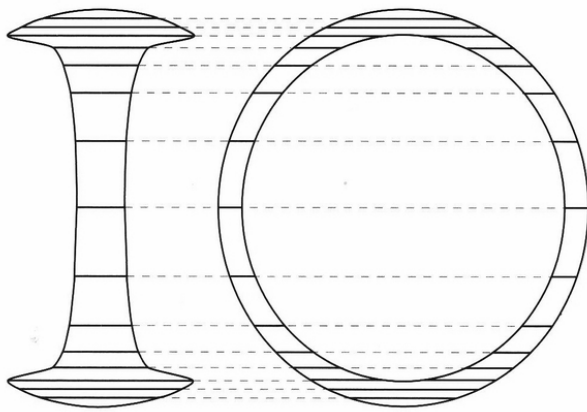


Abb. 10: Die waagerechten Geraden kennzeichnen den Querschnitt des Glases (rechts). Aufsummiert würde sich der Querschnitt einer Zerstreuungslinse ergeben.

Strahlen durch ein geriffeltes Glas (s. Abb. 5). Aber so weit muss man gar nicht gehen. Bereits der Blick durch ein leeres Weinglas, lässt die Gegenstände modifiziert erscheinen.

In Abb. 2 sieht man beispielsweise beim Blick durch das Glas den Pavillon als aufrecht stehendes verkleinertes Bild. Das leere Weinglas wirkt wie eine schwache Zerstreuungslinse. Ein leicht kurzsichtiger Mensch könnte mit einem guten Weinglas entfernte Gegenstände deutlicher erkennen als ohne Hilfsmittel. Wie es zu dieser zerstreuernden Wirkung kommt entnimmt man Abb. 10. Hier wurde der Glasquerschnitt, durch den man blickt, zu einer außen dickeren zerstreuernden Linse summiert.

Nachdem man nunmehr weiß, dass der Blick durch ein leeres Weinglas aufrecht stehende und der Blick durch ein gefülltes Glas Kopf stehende Bilder hervorbringt und außerdem davon überzeugt ist, dass es in der Physik eindeutig zugeht macht man vielleicht die in Abb. 9 dargestellte Entdeckung: Der Blick durch das Glas auf ein Haus ergibt sowohl ein aufrechtes als auch ein Kopf stehendes Bild. Hat man hier vielleicht zu tief ins Glas geblickt?

Diskussion

Auch wenn es nicht gut ist, zu tief ins Glas zu schauen, so kann ein tiefer Blick eine Fülle interessanter und überraschender optischer Phänomene offenbaren, die zu einer eingehenden Auseinandersetzung motivieren. Wir haben einige dieser Phänomene so dargestellt, dass sie als lebensweltlicher Ausgangspunkt für die Einführung in die geometrische Optik dienen können. Die mit der Identifizierung einzelner optischer Zusammenhänge einhergehende Reduzierung der Komplexität wurde als wichtige Übung dafür angesehen, Physik und Lebenswelt miteinander zu verbinden. Dabei sollte deutlich werden, dass die optischen Idealgestalten (Linsen, Lichtstrahlen, Spiegel usw.) erst in diesem Kontext bedeutungsvoll werden und ihre elementarisierende Wirkung entfalten.



Abb. 9: Der Blick durch ein volles Weinglas auf ein Haus offenbart ein zugleich aufrechtes und auf dem Kopf stehendes Bild des Hauses.

Wenn man sich im Unterricht darauf einlässt, optische Phänomene an realen Gläsern zu untersuchen, wird man bald erkennen, dass sich eine kaum zu erschöpfende Fülle weiterer Phänomene auftut. Sie ermöglichen zum einen eine Erweiterung und Vertiefung des üblichen Unterrichts (z.B. [3] – [4]) und können zum anderen eine echte Herausforderung der Kreativität und des experimentellen Geschicks der Lernenden und Lehrenden darstellen (siehe z.B. [5] – [6]).

Literatur

- [1] Schlichting, H. Joachim: Physik - eine Perspektive der Realität. Probleme des Physikunterrichts (Teil 1 u. 2). Physik in der Schule 34/9,283- 288 und 34/10, 339- 342 (1996)
- [2] Schlichting, H. Joachim: Reflexionen im Alltag - Sehen lernen, was offen vor unseren Augen liegt. In: Johannes Grebe-Ellis & Florian Theilmann (Hrsg.): open eyes 2005. Ansätze und Perspektiven der phänomenologischen Optik. Berlin: Logos 2006, S. 127 – 164.
- [3] Erb, Roger; Schön, Lutz: Die Schusterkugel. Zur Didaktik der Physik und Chemie. Vortrag der GDGP-Tagung in Weingarten 1990. S. 291-293.
- [4] Schlichting, H. Joachim: Lichtkegel und Schattenhyperbeln. Ein optisches Alltagsphänomen aus physikalischer Sicht. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 56/ 6 (2003) S. 348-350.
- [5] Beißwenger, Julia: Linsenphänomene des Alltags. Oder: Das Phänomen der drei Bilder im Glas. Vorträge der Frühjahrstagung der DPG, Kassel 2006.
- [6] Backhaus, Udo; Braun, Thomas: Der Blick ins Wasserglas - Ein Anlass zu offenem Experimentieren. Vorträge der Frühjahrstagung der DPG, Regensburg 2007.

Anmerkung

ⁱ Wölbspiegel im Alltag findet man auch in Form von spiegelnden Autokarosserien.