

Der Blick ins Wasserglas

– Ein Anlass zu Offenem Experimentieren –

U. Backhaus, T. Braun, Universität Duisburg-Essen

4. Juni 2007

Es wird ein überraschendes Phänomen beim Durchgang von Licht durch ein Weinglas vorgestellt, das als Ausgangspunkt einer offenen Experimentiersituation im Rahmen von LOFEX dienen soll. Anhand der Vielfalt der zu beobachtenden Phänomene wird dargestellt, dass ein wesentlicher Teil physikalischer Experimentiertätigkeit darin besteht, aus komplexen Phänomenen Teilaspekte zu isolieren und so zu vereinfachen, dass sie systematischer Untersuchung und Messung zugänglich werden. Dieser Aspekt kommt im üblichen Physikunterricht zu kurz. Er kann aber dazu beitragen, das Experimentieren im Physikunterricht ergebnisoffener und interessanter zu gestalten.

1 Einleitung

Am Fachbereich Physik der Universität Duisburg-Essen wird zur Zeit ein „Laboratorium für offenes Experimentieren“ (LOFEX) entwickelt und eingerichtet. Ausgangspunkt dieses Forschungsprojektes sind die vielfältig dokumentierten Tatsachen, dass im schulischen Physikunterricht insgesamt zu wenig experimentiert wird, dass die Schülerinnen und Schüler zu wenig Gelegenheit zu eigenen Experimenten erhalten und dass die Entwicklung experimenteller Fragestellungen, die Vereinfachung und Idealisierung komplexer (Alltags-) Phänomene und entsprechende Versuchsplanungen zu kurz kommen.

In dem Labor sollen zunächst Lehrerinnen und Lehrern, aber auch Studierende des Lehramts, anhand offener Experimentiersituationen anregende experimentelle Erfahrungen vermittelt werden, bei denen ausgehend von einem komplexen Phäno-

men eigene Fragestellungen entwickelt, Experimente selbständig geplant und theoretische Zusammenhänge eigenständig erarbeitet werden. Wir hoffen, auf diese Weise direkt auf eine Verbesserung der experimentellen Situation des Physikunterrichts Einfluss nehmen zu können, indem die beteiligten Lehrerinnen und Lehrer und Studierenden des Lehramts an sich selbst erfahren, um wieviel interessanter und fruchtbarer ergebnisoffene Problemsituationen sein können als die meist eng geführten und ergebnisfixierten und deshalb stark idealisierten (Schüler-) Experimente im Physikunterricht. Wesentlicher Teil dieser Erfahrung sind Situationen, in denen sich die Beteiligten selbst ohne konkrete Zielvorgabe einen Überblick in unbekanntem Terrain verschaffen müssen.

Mit diesem Ziel suchen bzw. entwickeln wir experimentelle Situationen, in denen ein überraschendes Phänomen dazu anregt, seinen Ursachen auf die Spur zu kommen und

dazu Fragestellungen und Hypothesen zu entwickeln, die nach geeigneter Konzentration auf Teilaspekte und notwendiger Vereinfachung bzw. Idealisierung einer experimentellen Untersuchung zugänglich sind. Dazu darf das Ausgangsphänomen einerseits nicht zu kompliziert sein, muss aber andererseits genügend komplex sein, dass es den Lernenden ein Herangehen und Lösungsversuche in verschiedenen Richtungen und auf verschiedenen Verständnisebenen ermöglicht. Dabei werden von uns keine expliziten (oder heimlichen) inhaltlichen Ziele vorgegeben. Allerdings versuchen wir, im Laufe der Zeit ein methodisches Vorgehen zu erreichen, bei dem sich die TeilnehmerInnen zunächst einen Überblick über den relevanten Phänomenbereich verschaffen und sich nach qualitativen und halbquantitativen Untersuchungen auf einen oder auf mehrere Aspekte konzentrieren und dazu konkrete Fragestellungen entwickeln und entsprechende Experimente planen und durchführen. Quantitative Messungen, z. B. in Gestalt systematischer Messreihen, sollen nur dann durchgeführt werden, wenn sie zur Bestätigung oder Widerlegung von Hypothesen erforderlich sind.

Weitere Ziele des Labors beziehen sich auf die eigenständige Informationsbeschaffung, die Kommunikation der Probleme und Erfahrungen und die Präsentation von Ergebnissen.

Auf diese Weise hoffen wir, einen Beitrag zur Überwindung der Unbeliebtheit des Faches Physik in der Schule leisten zu können, indem das Experimentieren einen Eindruck davon vermittelt, was es heißt, „Physik zu betreiben“ (Wagenschein): Das Experiment dient der Untersuchung eigener Fragen, die aus der Beobachtung von Phänomenen oder aufgrund eigener Zielsetzungen entstanden sind und die erst nach einer Reihe von Vereinfachungen und Idealisierungen einer experimentellen Untersuchung zugänglich ge-

macht wurden.

In diesem Beitrag sollen die zugrunde liegenden Ideen an einem Beispiel konkretisiert und über erste Erfahrungen berichtet werden.

2 Der Anlass

Schusterkugeln oder wassergefüllte Kugelvase werden manchmal als Ausgangspunkt für die Untersuchung der Lichtbrechung beziehungsweise der Abbildung durch Linsen verwendet. So benutzte z. B. L. Schön in [2] die Frage nach dem Schatten einer Kugelvase als Einstiegsproblem des Kapitels „Von Bildern und optischen Geräten“ (Abb. 1). Beim Nachvollzug des Experimentes wird allerdings deutlich, dass bei nicht sehr sorgfältiger Vorbereitung sehr viel mehr, und vielleicht interessantere, Phänomene zu beobachten sind als der gewünschte Schattenwurf.

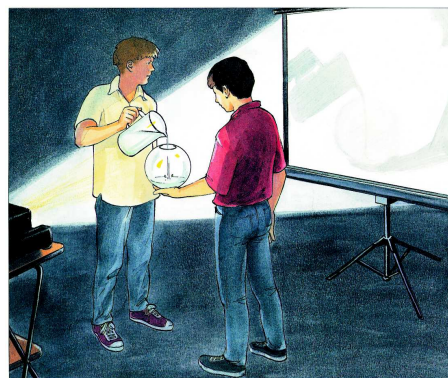


Abbildung 1: Der Schattenwurf einer Kugelvase

Julia Beißwenger [3] hat in einem Vortrag auf der DPG-Tagung 2006 in Kassel darauf aufmerksam gemacht, dass überraschende Phänomene zu beobachten sind, wenn man Licht durch Teekannen und andere zylindrische Gefäße fallen lässt und dabei nicht auf einen Schirm treffen lässt, sondern die Lichtquelle durch das Gefäß beobachtet. Erweitert man diesen Ansatz auf andere Alltagsgefäße, z. B. ein Rotweinglas oder ein

Kugelglas, beobachtet man weitere faszinierende Erscheinungen (Abb. 2).



Abbildung 2: „Punktlichtquelle“ hinter Rotweinglas und Kugelglas

Diese Erfahrungen brachten uns auf die Idee, den Lichtdurchgang durch Weingläser als Ausgangsphänomen für eine offene Experimentiersituation in LOFEX zu wählen.

3 Die Phänomene

Tatsächlich lässt sich bei geeigneten Abständen zwischen Lampe und Glas einerseits und zwischen Glas und Schirm andererseits der in [2] beschriebene Schattenwurf beobachten (Abb. 3, links). Bei nur wenig veränderten Abständen zeigt sich jedoch beim Füllen des Glases ein immer heller werdender Lichtstreifen, der die ganze Aufmerksamkeit auf sich zieht (Abb. 3, rechts).

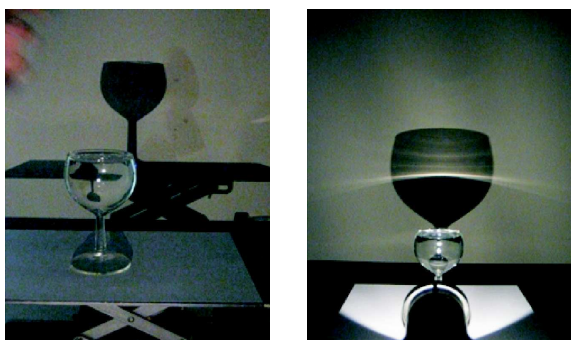


Abbildung 3: Gewünschter Schattenwurf (links) und unerwünschter Lichtstreifen

Sind durch diese Beobachtung erst einmal die Sinne offen für zusätzliche Erscheinungen, offenbart sich bei Variation der Versuchsbedingungen eine Vielzahl faszinierender Phänomene:

- Aus dem Lichtstreifen wird eine komplexes Streifensystem (Abb. 4).



Abbildung 4: Viele Lichtstreifen bei einem Rotweinglas

- Am Boden und an der Wand tauchen farbige Streifen und Flecken auf (Abb. 5).



Abbildung 5: Farberscheinungen beim Auftreffen des Lichts auf dem Tisch (in einem Straßenlokal)

- Auf dem Schirm bzw. beim Blick in das Glas zeigen sich, neben der verzerrten Abbildung der Umgebung, reelle und virtuelle Bilder der Lichtquelle und farbige Streifen und Ringe (Abb. 6 und 7).

In diese Vielfalt (Abb. 8) muss Ordnung gebracht werden, bevor konkrete Fragen gestellt und verfolgt werden können!



Abbildung 6: Reelle und virtuelle Abbildungen der Lichtquelle

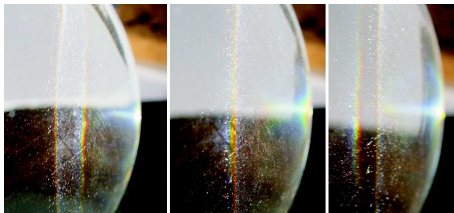


Abbildung 7: Farbstreifen in einem Kugelglas bei unterschiedlichen Entfernungen der Lampe



Abbildung 8: Spiegelung, Brechung, Dispersion und reelle und virtuelle Bilder beim Weißweinglas

4 Vorgehen

Die Phänomene lassen sich folgendermaßen zusammenfassen und ordnen:

- Schattenwurf und Streifen an der Wand

- Bilder der Lichtquelle bzw. der Umgebung an der Wand bzw. beim Blick ins Glas
- Farberscheinungen an der Wand und im Glas

Vielleicht deutet diese Übersicht eine mögliche Reihenfolge bei der Untersuchung an. Es wird allerdings deutlich, dass die Komplexität so groß ist, dass man sich auf wenige Aspekte konzentrieren muss, um in vernünftiger (oder vorgegebener) Zeit zu Ergebnissen kommen zu können. Da bereits bei ersten Untersuchungen des Schattenwurfs die Lichtstreifen kaum zu übersehen sind, sollen diese etwas weiter verfolgt werden.

Vor der Untersuchung sind folgende Fragen zu stellen und Entscheidungen zu treffen:

- Von welchen Parametern hängt das Phänomene ab, welche sollen variiert, welche konstant gehalten werden (Form des Glases, Füllhöhe, Abstand Lampe-Glas, Abstand Glas-Schirm)?
- Welche Vereinfachungen können vorgenommen werden (Ersatz des divergenten durch paralleles Licht, Ersatz des Weinglases durch Kugel- und/oder Zylinderglas, ...)?
- Aus welcher Perspektive soll auf die Phänomene geblickt werden (Blick auf den Schirm, Blick vom Schirm ins Glas (Abb. 9), Blick von der Seite, evtl. mit zusätzlichen Schirmen für streifenden Einfall¹)? Oder soll der Verlauf einzelner Lichtstrahlen, z. B. durch Ausblenden, verfolgt werden?

Wenn die Phänomene in dieser Weise geordnet und systematisch untersucht worden sind, kann versucht werden, sie theoretisch, mit Hilfe des Brechungsgesetzes

¹Dieser Blick entspricht am ehesten üblichen Lehrbuchdarstellungen.



Abbildung 9: Der Blick von der Wand ins Glas – und was er in leicht unterschiedlicher Höhe offenbart

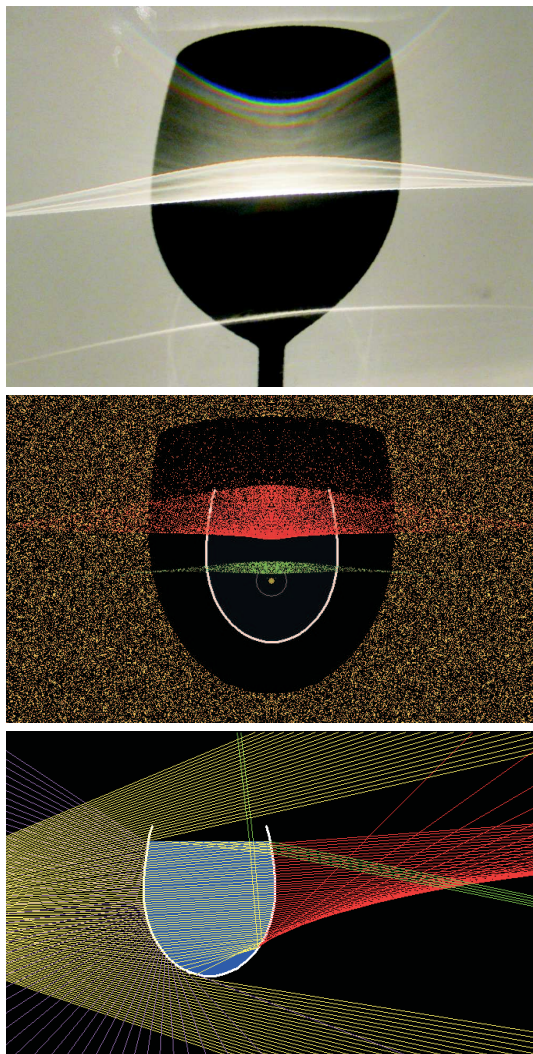


Abbildung 10: Ein Streifen kommt durch Totalreflexion, ein anderer durch Brechung an der unteren Glasrundung zustande.

oder als Abbildungen durch Kugel- und Zylinderlinsen, zu verstehen oder sie mit einem Simulationsprogramm zu erzeugen, um die entscheidenden Effekte zu isolieren (Abb. 10)².

Erst als es nicht gelang, die Entstehung des auffälligen hyperbelartigen farbigen Bogens aufzuklären, und die Simulation unabhängig von der Wahl der Parameter keinen solchen zusätzlichen Streifen zeigte (Abb. 10, unten), entstand die Idee, dass dieser Farbbogen nicht durch Brechung an der Grenzfläche Wasser/Luft zu erklären ist, sondern auf die Glaswand zurückzuführen sein muss. Tatsächlich entsteht an einem geblasenen Weinglas dieser Bogen nicht (Abb. 11).



Abbildung 11: Der Farbstreifen tritt nicht bei allen Gläsern auf: Er ist eine Folge der Glaswand.

5 Erste Erfahrungen

Ein Anstoß für diese Überlegungen war die Erfahrung, die einer der Autoren in einer Lehrveranstaltung machte, als er das Experiment mit dem Ziel vorführte, die Entstehung des Schattens als überraschende Kehrseite der Sammelwirkung einer Linse zu diskutieren. Da er das Experiment nicht detailliert vorbereitet hatte, erschienen beim Füllen des Glases unübersehbar

²Das Programm wurde aus einer früheren Version weiterentwickelt, mit der der Strahlengang durch kugelförmige Wassertropfen simuliert werden konnte. Es berücksichtigt nur eine Grenzfläche Wasser/Luft, vernachlässigt also das Glas. Das Programm kann bei den Autoren angefordert werden.

die hellen Lichtstreifen und weckten das Interesse der Studierenden (vielleicht weil sie die Überraschung des Lehrenden bemerkten). Im weiteren Verlauf der Veranstaltung wurde dieses Phänomen spontan mit einigen der hier dargestellten Methoden untersucht. Die Schattenbildung geriet dabei in Vergessenheit.

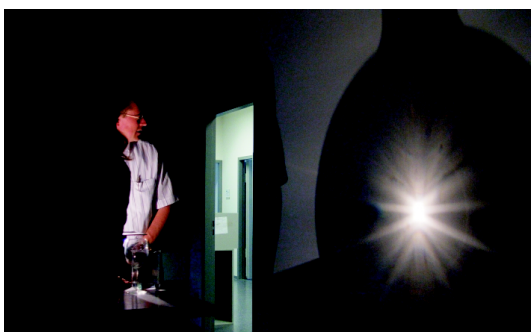


Abbildung 12: Variation der Höhe des Glases (oben), Ersatz des Weinglases durch einen Glaszylinder (Mitte), Bild der Lampe? (unten)

Ähnlich erging es der Gruppe von LehrerInnen, denen das Phänomen nach der Aufforderung, das Projektionsbild beim Füllen des Glases vorherzusagen, vorgeführt wurde. Auch sie konzentrierten sich zunächst auf die auffälligen Streifen und

suchten nach den Parametern, von denen das Phänomen abhängt (Abb. 12, oben). Auch wurde der Versuch unternommen, die Versuchsbedingungen dadurch zu vereinfachen, dass das Weinglas durch Standzylinder und Kugelvase ersetzt wurde (Abb. 12, Mitte). Bei diesen Versuchsvarianten traten immer zusätzliche Phänomene auf (Abb. 12, unten), sodass sich die LehrerInnen beim Versuch, auch diesen auf die Spur zu kommen, „verliefen“ und sich am Ende einer mehr als zweistündigen Sitzung fragten sich: „Was wollten wir eigentlich untersuchen?“

6 Schlussbemerkungen

Das Ausgangsphänomen hat sehr viele Aspekte – mehr als ursprünglich intendiert. Das ist typisch für Phänomene, die der Alltagswelt entnommen sind. Für den Lehrer/Dozenten ergeben sich zwei Alternativen: Entweder will er sich von Beginn an auf einen Teilaspekt konzentrieren. Dann muss das gewünschte Phänomen so sorgfältig präpariert werden, dass die möglichen weiteren Aspekte so unauffällig bleiben, dass auf die Aufforderung, genau zu beschreiben, was zu beobachten ist, nur eine Antwort möglich ist. Oder er muss selbst offen bleiben gegenüber weiteren, eventuell unerwünschten, Aspekten, sodass zunächst alle beobachtbaren Aspekte gleichberechtigt wahrgenommen werden können. Diese Offenheit erfordert viel Übung: Bei der Vorbereitung von Experimenten muss nicht nur auf die gewünschten Effekte, sondern auch auf „Nebeneffekte“ geachtet werden, die für Lernende, die nicht wissen, worauf eine Demonstration zielt, eventuell auffälliger als das gewünschte Phänomen sein können.

Im Rahmen einer offenen Experimentiersituation ist es wichtig, sich zu Beginn einen Überblick über die bei Variation der Versuchsbedingungen auftretenden Phänomene zu verschaffen, diese zu ordnen, sich eventu-

ell auf Teilaspekte zu konzentrieren und diese dann geeignet zu präparieren und gezielten Untersuchungen zugänglich zu machen. Dabei wird deutlich, dass Vereinfachung von Alltagsphänomenen weniger *Voraussetzung* erfolgreichen Experimentierens ist, als vielmehr das *Ergebnis* zielgerichteter Präparation. Diese Präparation ist ein wesentlicher Teil physikalischer Forschungstätigkeit.

Für Lehrer und Dozenten, die offene Experimentiersituationen planen, ist eine Vorbereitung auf viele Aspekte wichtig, um experimentell möglichst vielseitig vorbereitet zu sein. LOFEX soll Gelegenheiten für entsprechende Erfahrungen bieten. Wir hoffen, dass die TeilnehmerInnen dabei Offenheit für die Vielfalt von Phänomenen gewinnen – auch in Situationen, in denen Experimente

nicht offen geplant werden.

Literatur

- [1] T. Braun, U. Backhaus, *Offenes Experimentieren in der Lehramtsausbildung*, Vorträge der Frühjahrstagung der DPG, Regensburg 2007
- [2] U. Backhaus, H.-J. Schlichting, L. Schön, *Physikbuch 7/8*, Diesterweg: Frankfurt 1995
- [3] J. Beißwenger, *Linsenphänomene des Alltags. Oder: Das Phänomen der drei Bilder im Glas*, Vorträge der Frühjahrstagung der DPG, Kassel 2006