

Ein überraschender Versuch zum Thema Fata Morgana: Der „weggeblasene“ Lichtstrahl

Herbert Müller; Werner B. Schneider

Einleitung

Der spiegelnde Glanz, der manchmal auf asphaltierten Straßen zu liegen scheint, ist wohl jedem bekannt. Er ist eine Folge der Totalreflexion des Lichtes an einer Grenzschicht, die sich zwischen einer dünnen, warmen Luftschicht dicht über dem durch die Sonneneinstrahlung erwärmten Straßenbelag und der darüber befindlichen kälteren Luftschicht ausbildet. Diese Erscheinung ist unter dem Namen Luftspiegelung oder Fata Morgana bekannt.

Will man dieses Naturphänomen in einem Experiment nachbilden, so stößt man dabei gegebenenfalls auf ein Phänomen, das bereits von Möller /1/ beobachtet und beschrieben wurde. Hier wird ein Lichtbündel streifend über eine erwärmte Platte geführt, so daß der Weg des Lichts durch das auf der Platte entstehende Streulicht sichtbar wird. Bläst man auf die Platte, so kann man die überraschende Beobachtung machen, daß das Streulicht verschwindet. Das Lichtbündel wird sozusagen „weggeblasen“, ein Effekt, den man zunächst bei Licht nicht erwartet. Anzumerken ist, daß Laien zunächst weniger erstaunt sind als ausgebildete Physiker.

Das Ergebnis des Versuchs zeigt in eindrucksvoller Weise das Verhalten von Licht an Grenzschichten und kann gegebenenfalls interessanter sein als der Versuch zur Luftspiegelung selbst.

Möller verwendete ursprünglich eine herkömmliche Lichtquelle, was

einen relativ großen Experimentier- und Justieraufwand erfordert. Ein weiterer Nachteil ist, daß die Erscheinung nur aus der Nähe zu beobachten ist. Eine wesentliche Verbesserung sollte durch die Verwendung eines Lasers zu erreichen sein, über die im folgenden genauer berichtet wird. Zusätzlich werden eine Umkehrung des Effektes und die Deutung der Beobachtungen beschrieben.

Hinweise zum Experiment

Die Grundidee zu dem Experiment besteht jetzt darin, einen Laserstrahl streifend über eine heiße Platte zu führen und die dabei zu beobachtenden Effekte anhand des Streulichts auf der Platte oder auf einem entfernt aufgestellten Schirm zu beobachten. Ein Beispiel für einen möglichen Versuchsaufbau zeigt Bild 1. Benötigt wird ein Laser und eine beheizbare Platte, am einfachsten eine Kochplatte. Vorteilhaft ist, wenn der Laser justierbar gehalten wird. Hierzu eignet sich z. B. ein Dreifuß mit zwei in der Höhe einstellbaren Füßen. Der Laser besitzt gegenüber der in /1/ verwendeten, konventionellen Lichtquelle den Vorteil, daß die Bedingung des streifenden Einfallswinkels einzustellen ist, daß die Streulichterscheinung auf der Platte wesentlich intensiver ist und daß die Erscheinung einem größeren Zuschauerkreis vorgeführt werden kann.

Die Justierung erfolgt so, daß bei kalter Platte der Verlauf des Laser-

strahls längs der Oberfläche der Platte anhand des Streulichts sichtbar ist. Zusätzlich wird der Strahl auf einem weiter entfernt aufgestellten Schirm aufgefangen. (Anmerkung: Die Oberfläche von Kochplatten ist häufig mit Rillen versehen, so daß man auf dem Schirm oberhalb des direkten Strahls noch Nebenmaxima sieht, die durch die Gitterwirkung der Rillen hervorgerufen werden.)

Erhitzt man jetzt die Kochplatte und bläst über die heiße Platte, so beobachtet man die in /1/ beschriebene Erscheinung. Das Streulicht auf der Kochplatte wird durch das Blasen zum Verschwinden gebracht. Es sieht so aus, als würde der Lichtstrahl „weggeblasen“.

Das Verschwinden des Streulichts läßt sich folgendermaßen deuten. Durch das Anblasen der Kochplatte erreicht man, daß zunächst die warme Luftschicht dicht über der Platte weggeblasen wird. Beim Blasen kann sich die kältere Luft in einer sehr dünnen Schicht dicht über der Plattenoberfläche so schnell erwärmen, daß sich eine homogene Grenzschicht dicht über der Platte ausbildet. An dieser Grenzschicht, die optisch dünner ist als darüberliegende Schichten, wird der Laserstrahl total reflektiert und trifft nicht mehr auf die Platte, so daß das Streulicht verschwindet. Ohne Blasen tritt die homogene Grenzschicht aufgrund der dann einsetzenden Turbulenzen nicht auf. Die Turbulenzen und die damit einhergehenden Schwankungen der optischen Dichte kann man auf dem Schirm anhand

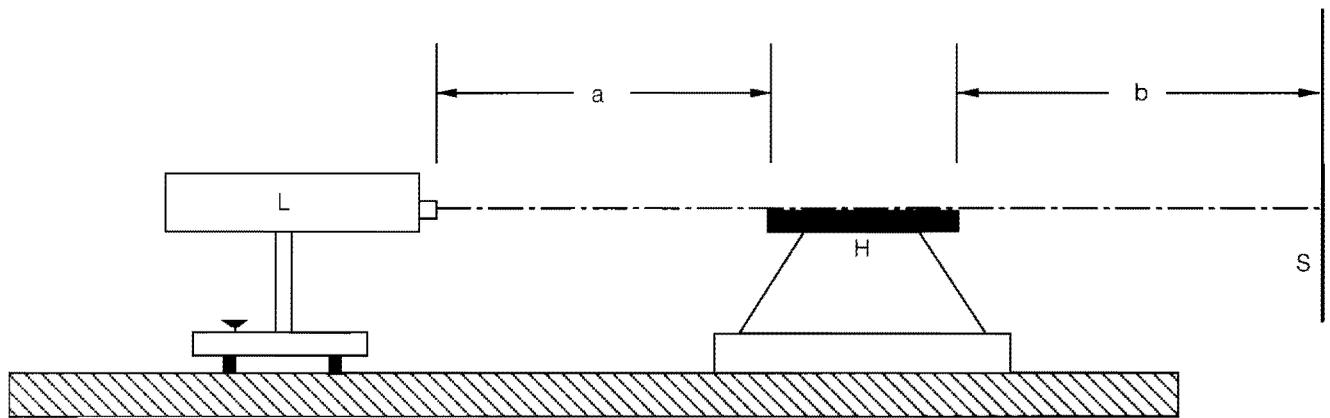


Bild 1 Versuchsanordnung zur Demonstration des „weggeblasenen“ Lichtstrahls mit Hilfe eines Lasers (L: He-Ne-Laser, H.: elektr. Kochplatte, $a \approx 0,5 \text{ m}$, $b \approx 2 \text{ m}$)

der kurzzeitigen Schwankungen des Laserlichts erkennen.

Ebenso findet man auf dem Schirm die Ablenkung des Laserstrahls nach oben bestätigt. Der Auftreffpunkt des direkten Strahls wird beim Blasen nach oben gelenkt. Hört man mit dem Blasen auf, so senkt sich der Auftreffpunkt, und das Streulicht ist wieder zu erkennen.

Es ist zu vermuten, daß es sich hier, ähnlich wie bei der Fata Morgana, nicht um die Totalreflexion an einer einzigen Schicht handelt, sondern daß sich dicht über der Platte ein Gradient für den Brechungsindex einstellt, der zu einem „Umlenken“ des Lichtstrahls führt. Allerdings ist bei diesem Versuch der erwartete gekrümmte Lichtstrahl wegen der geringen Dicke des Grenzschichtbereichs nicht zu beobachten.

Damit ist einsichtig, daß eine gute Justierung des Laserstrahls im Bereich der Platte für das Gelingen des Versuchs entscheidend ist. Wegen des relativ geringen Temperaturunterschieds zwischen der heißen und den kälteren Luftschichten ist der Unterschied zwischen den Brechzahlen so klein, daß Totalreflexion praktisch nur bei streifendem Lichteinfall auftritt.

Durch eine geringe Abwandlung der Anordnung läßt sich ein weiterer spektakulärer Effekt demonstrieren. Der Strahl kann nicht nur „weggeblasen“, sondern auch „hingeblassen“ werden. Ein ebenso überraschendes Phänomen.

Hierzu muß der Laserstrahl so justiert werden, daß er zwar dicht über der Platte verläuft, sie aber nicht streift

und somit kein Streulicht erzeugt. Richtet man jetzt im Bereich des Laserstrahls einen heißen Luftstrom (Fön) senkrecht auf die zunächst kalte Platte, so wird der Laserstrahl auf der Platte plötzlich sichtbar. Der Strahl wird offensichtlich soweit nach unten gedrückt („geblasen“), daß er die Platte streift und die Streulichterscheinung auf der Platte hervorruft. Ist der Luftstrom heiß und stark genug, so tritt dieser Effekt selbst bei einer warmen Platte auf.

Die Erklärung erfolgt ähnlich wie im ersten Fall. Trifft die heiße Luft auf die kältere Platte, so bildet sich über der Platte entsprechend eine dünne, homogene Schicht aus, die jetzt kälter und damit optisch dichter ist als die darüberliegenden Schichten. Der Lichtstrahl wird daher in der Grenzschicht nach unten abgelenkt.

Ausblick

Neben der Vorführung des Effekts bieten sich noch einige Anwendungen an. Die beschriebenen Erscheinungen treten bereits bei relativ kleinen Luftströmungen auf, so daß sich die Anordnung zum Detektieren von Luftströmungen eignet. Dies kann über das Streulicht oder über die Verschiebung des direkten Laserflecks auf dem Schirm erfolgen. Es ist sogar möglich, die beim Sprechen auftretenden Luftströmungen nachzuweisen, indem das dazu synchron verlaufende Anheben des Laserflecks auf dem Schirm aufgezeichnet wird. Man erhält damit eine Art Mikrophon.

Die geschilderten Experimente sind rein qualitativer Art. Von Interesse können auch quantitative Aussagen sein, z. B. die Untersuchung der Abhängigkeit des Effekts von der Plattentemperatur und der Stärke des Luftstroms oder die Messung der Dicke der für den Versuch relevanten Luftschichten. Entsprechende Experimente sind geplant.

Literatur

- /1/ Möller, H.: „Das weggeblasene Lichtbündel“. – Praktische Schulphysik (Praschu). – 33(1957)8. – S. 10–11

Prof. Dr. W. Schneider
Universität Erlangen-Nürnberg
Didaktik der Physik
Staudtstr. 7, 91058 Erlangen

StD Herbert Möller
Buchenweg 17, 92637 Weiden

Liebe Leser!

Ältere Hefte dieser Zeitschrift erhalten Sie, soweit vorhanden, durch Bestellung bei:

Pädagogischer Zeitschriftenverlag
GmbH & Co.
Redaktion „Physik in der Schule“
Postfach 269
10107 Berlin