

Spielwiese

Leonardos Kreuz in der Teetasse

H. JOACHIM SCHLICHTING | WILFRIED SUHR

Schon Leonardo da Vinci bemerkte, dass eine Blase auf der Oberfläche eines mit Wasser gefüllten Gefäßes an dessen Boden unerwartete Lichtmuster erzeugt. Verantwortlich dafür sind komplexe Lichtbrechungen in der Blase.

Es gibt Phänomene, die selbst nach Jahrhunderten ihren Reiz nicht verlieren. So notierte Leonardo da Vinci vor rund einem halben Jahrtausend: „Der durch die Blase an der Oberfläche des Wassers gehende Strahl wirft auf den Grund des Wassers ein kreuzförmiges Bild von dieser Blase.“ Diese Beobachtung lässt sich einfach nachstellen, indem man Wasser in eine weiße Tasse einlässt, einen Tropfen Spülmittel hinzufügt und auf der Oberfläche eine Blase erzeugt. Mit einiger Verwunderung wird man bei geeigneter Beleuchtung feststellen, dass auf dem Boden nicht nur ein Schatten der Blase zu beobachten ist, sondern eine kreuzförmige Aufhellung. In Abbildung 1 links erscheint sie links unterhalb eines dunklen Steins, den wir für ein weiteres Experiment auf den Boden gelegt haben. Das Sonnenlicht fällt schräg von rechts oben ein.

Wenn die Blase ausschließlich eine aus einer dünnen Flüssigkeitshaut bestehende Halbkugel auf dem Wasser wäre, würde man ein derartiges Phänomen nicht beobachten. Die Blasenhaut würde sich allenfalls durch eine sehr geringe zerstreue Wirkung bemerkbar machen. Dieses Phänomen kennt man beispielsweise von einem bauchigen Rot-



Abb. 1 Links: Eine Schaumblase auf der Wasseroberfläche erzeugt am Boden eine sternförmige Kaustik. Rechts: Die Blase wirkt als Zerstreuungslinse und ruft ein verkleinertes Bild eines am Boden liegenden Steins hervor.

weinglas. Blickt man durch das leere Glas auf einen entfernten Gegenstand, so erscheint dieser etwas verkleinert.

Betrachtet man durch die Blase hindurch einen auf dem Boden liegenden Stein (Abbildung 1 rechts), so stellt man eine beträchtliche Verkleinerung des Bildes fest, was auf eine zerstreue Linsenwirkung durch die Blase schließen lässt. Ursache für diesen Effekt ist die passgenaue Kombination zweier Phänomene. Zum einen sorgt der Überdruck der Luft in der Blase dafür, dass die Wasseroberfläche ein wenig eingedellt wird. Passend dazu kommt ein interessantes Grenzflächenphänomen ins Spiel: Ähnlich wie in einem mit Wasser gefüllten Glas stellt sich an der Blasenhaut ein konkaver Meniskus ein. Das Wasser wird von der Haut angezogen und bewegt sich so weit an ihr hinauf, bis sich ein Gleichgewichtskontaktwinkel einstellt (Abbildung 2).

Beide Effekte zusammen sorgen dafür, dass die Wasseroberfläche die Form einer Zerstreuungslinse annimmt, mit einem aufgewölbten Randbereich und einer abgesenkten Mitte. Durch diese Linse hindurch betrachtet erscheint der auf dem Boden liegende Stein verkleinert.

Aus denselben Gründen, aus denen sich ein konkaver Meniskus am Innenrand der Blase einstellt, muss ein solcher auch am Außenrand entstehen. Dessen Wirkung kann man ebenfalls Abbildung 1 rechts entnehmen. Zum einen wird die Sonne außer auf der Blasenhaut am äußeren und inneren Meniskus reflektiert, so dass drei Abbilder der Sonne an der Blase zu erkennen sind. Zum anderen äußert sich die Wirkung der Menisken in einer ringförmigen Abbildung des Steins, erkennbar als dunkler Rand der Blase.

Die kreuz- oder astroidförmige Kaustik auf dem Boden der Tasse wird durch den gesamten Meniskenring beim Übergang der Blase zur Wasseroberfläche hervorgerufen. Da das Licht schräg von oben einfällt, trifft es auf die eine Hälfte des Meniskenrings von außerhalb und auf die andere Hälfte von innerhalb der Blase. In beiden Fällen kommt es zur Fokussierung des Lichts, durch die je eine Hälfte des hellen Astroids hervorgerufen wird (Abbildung 2).

Wenn das Licht die Blase durchdringt und auf den inneren Teil des Meniskenrings trifft, wird es in den Ring hinein gebrochen und anschließend an einem Teil der äußeren Grenzfläche zum Boden der Tasse hin total reflektiert. Der Reflex bildet den der Blase zugewandten Teil des Astroids und erinnert an die bekannte Kaffeetassenkaustik [1], wie man sie auch an einem Ring beobachten kann (Abbildung 3). Ihre Entstehung kann auf einfache Weise demonstriert werden. Man lässt das Licht auf einen ebenen



Abb. 3 Katakaustik an einem Ring.

Streifen Spiegelfolie fallen, so dass es auf einen Schirm reflektiert wird und dort eine rechteckige Aufhellung hervorruft. Krümmt man jetzt die Folie zu einem Halbkreis, so überlagern sich die reflektierten Lichtstrahlen, deren Einhüllende dann die Form der Katakaustik annimmt.

Der von der Blase abgewandte Teil des Astroids wird durch den äußeren Halbring des Meniskus hervorgerufen. Auch hier hilft eine einfache Demonstration, um sich die Entstehung dieser Kaustik zu veranschaulichen. Man hält statt des Spiegelstreifens einen Streifen transparenter Folie (die vom Wasser benetzt wird) in das Wasser. Das an dem entstehenden Meniskus ins Wasser gebrochene Licht ruft auf dem Boden des Gefäßes einen hellen Streifen hervor. Er entsteht dadurch, dass der vom direkten Licht erhellte Boden zusätzlich von dem am Meniskus gebrochenen Licht beleuchtet wird. Biegt man jetzt die Folie zu einem Halbkreis, so bildet die Einhüllende der sich dadurch auf dem Boden überkreuzenden Lichtstrahlen abermals eine Kaustik. Sie stellt aber wegen der umgekehrten Krümmung das spiegelbildliche Gegenstück der oben diskutierten Katakaustik dar. Beide Kaustiken zusammen bilden dann den Astroiden, den wir als Leonardo-Kreuz bezeichnen.

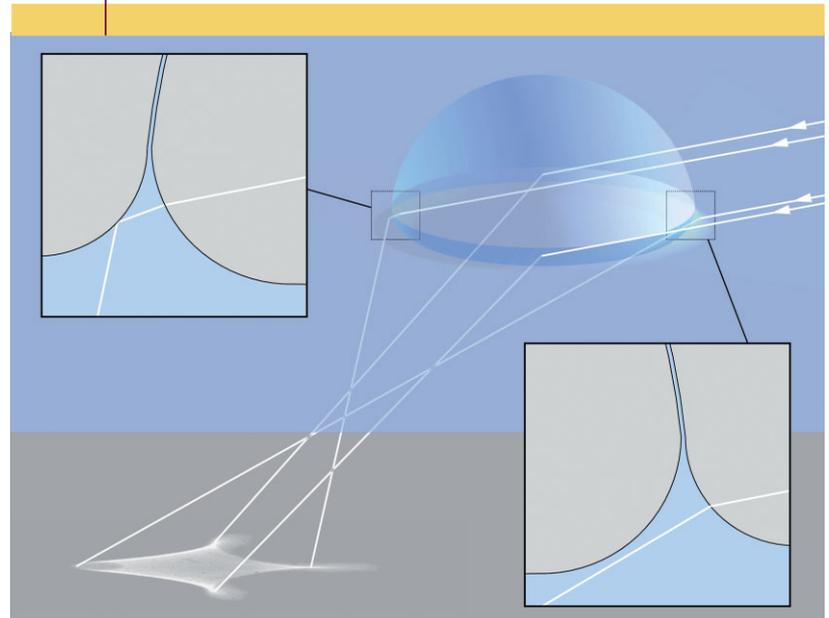
Zusammenfassung

Eine Blase auf der Oberfläche eines mit Wasser gefüllten Gefäßes erzeugt bei geeigneter Beleuchtung am Boden eine kreuzförmige Kaustik. Dieses schon Leonardo da Vinci bekannte Phänomen lässt sich dadurch erklären, dass sich an der Innen- und Außenseite der Blase ein Wassermeniskus ausbildet. Zudem deformiert der Überdruck in der Blase die Wasseroberfläche. Dies führt insgesamt zu vielfältigen Reflexionen und Lichtbrechungen, die in der Kaustik resultieren. Mit einfachen Mitteln lässt sich das Phänomen veranschaulichen.

Stichworte

Astroid, Katakaustik, Kaustik, Leonardo-Kreuz, Lichtbrechung.

ABB. 2 STRAHLENGÄNGE



Optische Wirkungen der Menisken beiderseits der Blasenwand.

Literatur

- [1] C. Ucke, H. J. Schlichting, Spiel, Physik und Spaß. Physik zum Mitdenken und Nachmachen, Wiley-VCH, Weinheim 2011, S. 217.

Die Autoren



Wilfried Suhr studierte Physik an der Universität Oldenburg, wo er 1992 promovierte. Gegenwärtig ist er als Mitarbeiter am Institut für Didaktik der Physik der Universität Münster im Bereich der Lehrerbildung tätig.



Hans Joachim Schlichting war bis 2011 Inhaber des Lehrstuhls für Didaktik der Physik an der Universität Münster und ist Mitbegründer der Rubrik Spielwiese.

Anschrift

Prof. Dr. Hans Joachim Schlichting, Dr. Wilfried Suhr, Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster. Schlichting@uni-muenster.de. Wilfried.suhr@uni-muenster.de