

## Spielwiese

# Farbkränze auf staubigen Gewässern

H. JOACHIM SCHLICHTING

*Im Sonnenlicht können staubige Wasseroberflächen farbenprächtige Ringe hervorbringen. Sie sind nicht nur schön anzusehen, sondern zeugen auch von interessanten physikalischen Vorgängen.*

Als im Spätsommer die Mähdrescher die Getreidefelder abernteten, glühte die Mittagssonne in sattem Rot durch die Staub verhangene Luft. Die „dicke Luft“ hatte hier dieselbe Wirkung wie die tiefe Luftschicht beim Sonnenuntergang: Der Blauanteil des weißen Lichts wurde aufgrund der Rayleigh-Streuung so stark dezimiert, dass vor allem Rot übrig blieb.

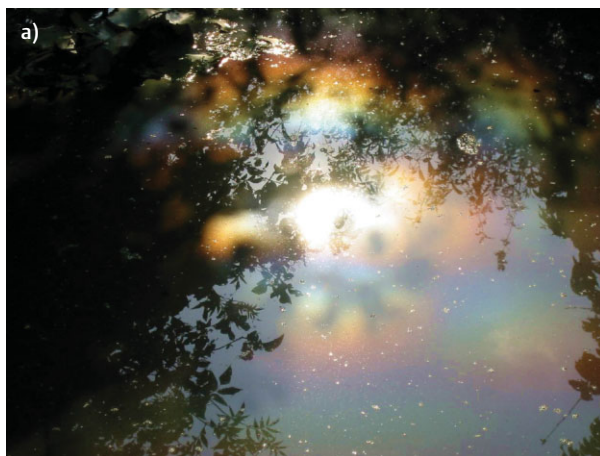
An dieses Ereignis wurde ich am folgenden Tag erinnert, als ich am Gartenteich sitzend meinen Kopfschatten auf dem eingetrübten Wasser von einem farbenprächtigen Hof umgeben sah (Abbildung 1). Bei genauerem Hinsehen findet man den Hof von weiteren farbigen Kränzen eingrahmt. Aber nicht nur mit der Sonne im Rücken traten diese Farberscheinungen auf. Auch aus Blickwinkeln, die nicht zu weit von der Richtung des auf der Wasseroberfläche reflektierten Sonnenlichtes abweichen, waren eindrucksvolle Farben zu sehen. Allerdings fiel in diesem Fall das Zentrum der Ringsysteme nicht mit dem Reflex der Sonne zusammen (Abbildung 2).

Wie kommt es zu diesen eindrucksvollen Farberscheinungen auf der Oberfläche des Teiches? Offenbar spielen winzige Staubpartikel, die sich auf dem Wasserspiegel abgesetzt haben, eine wesentliche Rolle.

### Das Naturphänomen im Freihandversuch

Wer nicht so lange warten möchte, bis er das Naturschauspiel auf dem Wasserspiegel einmal zu Gesicht bekommt, hat die Möglichkeit, es in einem Freihandversuch nachzustellen. Dabei wird der Staub bedeckte Wasserspiegel durch einen verstaubten Haushaltsspiegel ersetzt. Stellt man in etwa einem Meter Entfernung vor dem Spiegel eine brennende Kerze auf und blickt in einem Abstand von 1,5 m von ihr entfernt durch die Flamme hindurch auf den Spiegel, so kann man deutlich farbige Ringe erkennen, die große Ähnlichkeit mit den auf dem Wasserspiegel beobachteten Ringen aufweisen (Abbildung 3a). Insbesondere sieht man, dass sich die Ringe nur dann konzentrisch um den Reflex der Flamme legen, wenn die Kerzenflamme die gespiegelte Flamme verdeckt.

Leider lässt sich diese Situation nur schwer fotografieren, weil die Kerze einen Teil der Farbringe verdecken würde. Daher wurde in Abbildung 3a eine leicht exzentrische Position gewählt. Man erkennt im Vordergrund die Kerze und das leicht nach oben verschobene, perspektivisch verkleinerte Spiegelbild der Kerze. Abbildung 3b wurde aus einer geringeren Entfernung zur Kerze von einem Meter und



**Abb. 2** Eindrucksvolle Farberscheinungen auf der Oberfläche eines Teiches (a), wobei sich der Sonnenreflex nicht im Zentrum des farbigen Ring-systems befinden muss (b).

einer noch stärker exzentrischen Position fotografiert. Auf dem Foto erscheint nur noch der Reflex der Kerze. Mit der Annäherung an die Kerze vergrößert sich außerdem der Krümmungsradius der Farbringe.

Die Bilder geben in etwa die beiden Beobachtungssituationen am Teich wieder. Die Situation in freier Natur unterscheidet sich nur insofern von derjenigen im Labor, als die Sonne hinter dem Beobachter steht und ihre Lichtstrahlen stets auf einer Linie mit dem Auge des Betrachters und des Fotoapparats bleiben. Daher kann man aus der Blickrichtung mit der Sonne im Rücken überhaupt keine exzentrische Position einnehmen. Dies gelingt nur, wenn man sich in Gegenrichtung dem Reflex der Sonne annähert. (Genau in Reflexionsrichtung könnte man wegen völliger Überstrahlung nichts sehen.) In Abbildung 2b wurde der Sonnenreflex durch einen Stein weitgehend ausgeblendet. Der Mittelpunkt des Ringsystems liegt weit entfernt vom Sonnenreflex. Es lässt sich leicht durch Positionsveränderung feststellen, dass der Reflex zum Mittelpunkt rückt, wenn man sich der Richtung des reflektierten Sonnenlichtes annähert.

### Ähnlichkeit mit Höfen und Kränzen

Nachdem durch das Freihandexperiment gezeigt wurde, dass Staub auf dem Spiegel verantwortlich für die Farberscheinungen ist, bleibt die physikalische Ursache hierfür zu klären. Die Ähnlichkeit mit einem bekannteren Naturphänomen, den als Höfe oder Kränze bezeichneten Ringen, die gelegentlich Sonne oder Mond in einem Winkelbereich von wenigen Grad umgeben, legt es nahe, von einer ähnlichen Ursache auszugehen.

Die Höfe und Kränze um Sonne und Mond werden durch Beugung an einer Vielzahl kleiner Wassertropfchen hervorgerufen. Man spricht nach ihrem Entdecker auch von Fraunhofer-Beugung. Sie kommt stark vereinfacht gesprochen dadurch zustande, dass ein auf ein kleines Teilchen auftreffender Lichtstrahl in Teilstrahlen aufspaltet. Diese Teilstrahlen laufen in unterschiedliche Richtungen weiter und überlagern sich beispielsweise auf einem Schirm oder im Auge des Betrachters.



**Abb. 1** Ein farbiger Kranz auf der Wasseroberfläche umgibt den Schatten des Fotografen.

Alle Strahlen, die sich in der ursprünglichen Richtung ausbreiten, überlagern sich bei Teilchen mit kreisförmigem Querschnitt zu einem hellen Zentrum. Alle anderen Strahlen erfahren aufgrund ihres Umweges einen mehr oder weniger großen Gangunterschied. Zwei interferierende (monochromatische) Teilstrahlen schwächen sich, wenn der Gangunterschied eine halbe Wellenlänge beträgt, und sie verstärken sich, wenn er eine ganze Wellenlänge ausmacht. Auf diese Weise gruppieren sich um das helle Zentrum abwechselnd dunkle und helle konzentrische Ringe.

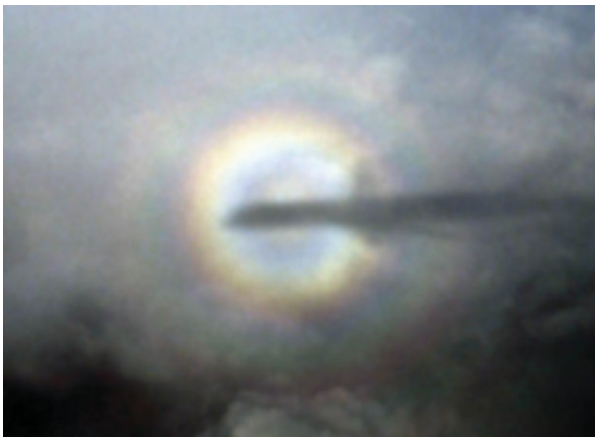
Da weißes Licht die Summe aus Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen ist, zerfallen die Ringe in einzelne „Regenbögen“. Das kurzwellige blaue Licht bildet den inneren und das langwellige rote Licht den äußeren Rand der einzelnen Ringe. Jeder der zufällig verteilten Teilchen trägt zur Verstärkung der Lichtintensität des Ringsystems bei und zwar um so mehr, je genauer ihre Radien übereinstimmen.



**Abb. 3** Farbringe um den Reflex einer Kerzenflamme auf einem verstaubten Spiegel (a). Unter gewissen Blickwinkeln liegt das Zentrum der Farbringe nicht im Mittelpunkt des Farbkreises (b).



**Abb. 4** Glorie auf einer Wolkenschicht.



Daher lassen farblich wohldifferenzierte Kränze bei Sonne und Mond auf eine einheitliche Tröpfchengröße schließen. Teilchen mit stark differierenden Radien oder – bei Staubkörnchen – unterschiedlichen Formen verwischen die Farben, und es entsteht ein weißlicher Hof.

Höfe und Kränze treten in der Regel bei bestimmten Wolkentypen auf, die vor Sonne oder Mond vorbeiziehen. In seltenen Fällen können aber auch bei wolkenlosem Himmel farbige Ringsysteme beobachtet werden. Dies ist dann der Fall, wenn etwa durch einen Vulkanausbruch Gas- und Staubteilchen in die Atmosphäre geschleudert wurden.

### Die Flugzeug-Glorie

Farbige Ringe kann man auch mit der Sonne im Rücken beobachten, wenn man sich dabei im Nebel befindet oder auf eine Nebel- oder Wolkenschicht blickt. In diesem Fall sieht man auch den eigenen Schatten von einem Glorie genannten Ringsystem umgeben. Der glorienumsäumte Schatten

wird häufig auch Brockengespenst genannt, weil die ersten Beschreibungen dieses Phänomens sich auf Beobachtungen auf dem Brocken im Harz beziehen. Das Gespenstische ist dabei aber weniger die Glorie selbst als vielmehr die scheinbare Größe des Schattens. Weil die Entfernung des Schattens wegen der schwierigen Lokalisierbarkeit meist als weiter entfernt empfunden wird als er tatsächlich ist, erscheint er riesig.

Im Zeitalter des Jet-Set kann man das Brockengespenst in moderner Version auch aus dem Sessel eines Flugzeugs betrachten. Wenn der Flugzeugschatten auf eine Wolkenschicht fällt, ist er von einer farbigen Glorie umgeben. Ist das Flugzeug den Wolken sehr nahe, wird der Schatten gewissermaßen zu groß für die Glorie und zeigt auf eindrucksvolle Weise, dass im Zentrum der Farbringe nicht eigentlich das Flugzeug, sondern der Ort des Beobachters liegt (Abbildung 4).

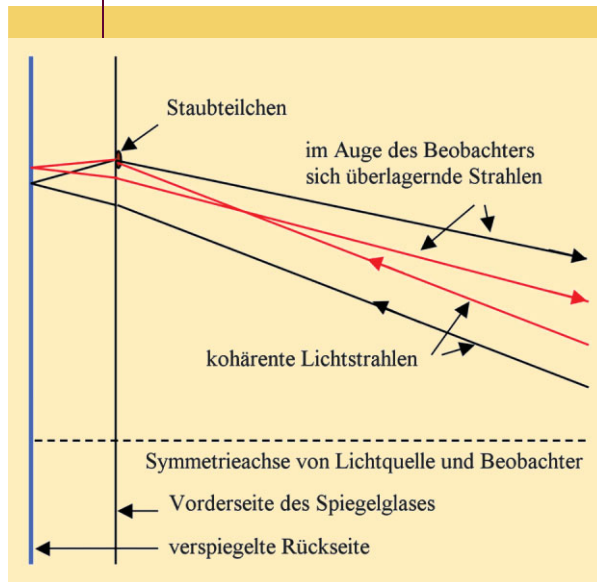
Das Brockengespenst hat große Ähnlichkeit mit einem Heiligenschein, wie er beispielsweise auf einer feuchten Wiese [1] oder auch an einem Verkehrsschild [2] entstehen kann. Die physikalische Deutung der Glorie ist schwierig [3]. Stark vereinfacht gesprochen trägt hauptsächlich der Saum des tangential in die Wassertropfen eintretenden und teilweise durch Totalreflexion zurückgeworfenen Lichts zur Entstehung des farbigen Ringsystems bei. Nur das eng um die Vorwärts- oder Rückwärtsrichtung von diesem Saum ausgehende Licht ist in Phase, so dass es zur Interferenz kommen kann.

### Reflexion spielt eine entscheidende Rolle

Während die Glorie eine frappierende Ähnlichkeit mit den oben beschriebenen Farbringen um den Schattenkopf auf dem Wasser aufweist, stellt man beim Ringsystem, das im Gegenlicht beobachtet wurde, einen wesentlichen Unterschied fest. Während die durch Fraunhofer-Beugung zustande kommenden Höfe und Kränze stets konzentrisch um Sonne und Mond angeordnet sind, weisen die Ringe auf dem Wasser je nach Blickrichtung eine mehr oder weniger starke Exzentrizität auf. Beobachtet man nämlich den Reflex eines Sonnen- oder Mondkranzes auf einer Wasseroberfläche, so wird man – wie man sich auch drehen und wenden mag – stets ein konzentrisches Ringsystem wahrnehmen. Übrigens wurde ein derartiger im Wasser reflektierter Kranz mit drei spektral zerlegten Ringen bereits im Jahre 1692 von Newton beobachtet. Er lieferte damit die erste Beschreibung dieses Phänomens, ohne es bereits im Sinne der Wellentheorie erklären zu können. Er hing bekanntlich der Teilchentheorie des Lichts an.

Die Verschiebung des Zentrums des Ringsystems verweist darauf, dass die Reflexion des Lichts maßgeblich am Zustandekommen des Phänomens beteiligt ist. Denn im Unterschied zu einer Projektion ändert sich die Position eines Spiegelbildes mit der des Betrachters. Dieser Sachverhalt wurde erstmalig von William Whewell und Lambert Adolphe Jacques Quételet erklärt. Man spricht daher auch von Quételetschen Ringen [4].

**ABB. 5** ENTSTEHUNG DER RINGE



*Schematische Darstellung der Interferenz von Lichtstrahlen, die an einem Staubkorn gestreut und an der Spiegelfläche reflektiert werden.*

Um die Entstehung der Quételetschen Ringe ganz grob zu skizzieren, betrachten wir zwei parallele und kohärente Strahlen, die an einem Staubkorn auf der Spiegeloberfläche gestreut werden.

Hierbei sind wir uns bewusst, dass Sonnen- und Kerzenlicht im Unterschied etwa zum Laser inkohärentes Licht aussenden. In einem hinreichend eng begrenzten Raumgebiet sind aber die Wellenpakete genügend kohärent [4]. Als Folge dieser Begrenzung sind nur Interferenzen niedrigster Ordnung zu beobachten.

Wir betrachten zwei Strahlen. Der erste wird zuerst am Staubkorn gestreut und dann an der Rückseite des Spiegels reflektiert. Der zweite Strahl wird zuerst reflektiert und dann am selben Staubkorn gestreut. Wenn beide Strahlen im Auge des Betrachters ankommen, haben sie unterschiedlich lange Wege zurückgelegt (Abbildung 5). Abhängig von der Größe der dadurch entstandenen Phasendifferenz kommt es zu einer positiven oder negativen Interferenz, was sich aufgrund der Überlagerung vieler Teilchen in dem beobachteten Ringsystem zeigt.

Oft treten Fraunhofersche und Quételetsche Ringsysteme gemeinsam auf. Wenn der Beobachter sich auf der Symmetrieachse befindet, fallen sie zusammen. Erst wenn der Beobachter die Symmetrieachse verlässt, sieht er ein weiteres Ringsystem exzentrisch aus den konzentrischen Kränzen herauswachsen. Bei den farbigen Ringen auf dem Teich handelt es sich offenbar um reine Quételetsche Ringe, denn bei der exzentrischen Betrachtung im Gegenlicht, war kein weiteres um den Sonnenreflex gruppiertes Ringsystem zu erkennen, das auf Fraunhofer-Beugung hingedeutet hätte.

Damit derartig schöne Einfärbungen eines verstaubten Wasserspiegels zu beobachten sind, müssen die Staubpartikel sehr klein sein. Die Beobachtung der am Vortag stark geröteten Sonne bestätigt dies, denn Rayleigh-Streuung setzt Streupartikel voraus, die sehr viel kleiner als die Lichtwellenlänge sind. Die Teilchen müssen außerdem ziemlich gleichartig gewesen sein, um die relativ gute Farbdifferenzierung innerhalb der Ringe hervorzurufen.

Mit den farbenprächtigen Ringen auf der Wasseroberfläche eines Teiches haben wir es gewissermaßen mit einer natürlichen Variante eines jener Dreckeffekte zu tun, bei denen kleinste Partikel eindrucksvolle Phänomene hervorbringen können. Letztlich gilt auch hier, was Goethe sehr viel allgemeiner meinte:

*Aber die Sonne duldet kein Weißes;  
Überall regt sich Bildung und Streben,  
Alles will sie mit Farbe beleben.*

\*

Das Experiment mit der Kerze hat S. Anlauf in unserem Institut ausgeführt.

## Zusammenfassung

*Wenn auf einer Wasseroberfläche feine Staubteilchen liegen, können darauf regenbogenfarbene Ringe entstehen. Sie haben ihre Ursache in einem komplizierten Prozess aus Streuung des Sonnenlichts an den Staubteilchen, Reflexion an der Wasseroberfläche und Interferenz. Fällt das Zentrum eines solchen Farbring mit dem Reflex der Sonne zusammen, handelt es sich um Fraunhofer-Beugung; ist der Sonnenreflex exzentrisch, so spricht man von Quételetschen Ringen.*

## Stichworte

Glorie, Höfe, Kränze, Fraunhofer-Beugung, Fraunhofer-Ringe, Quételetsche Ringe, Interferenz.

## Literatur

- [1] H.-J. Schlichting, M. Uhlenbrock, Physik in unserer Zeit **1999**, 30 (4), 173.
- [2] H.-J. Schlichting, M. Uhlenbrock, Physik in unserer Zeit **1999**, 30 (6), 259.
- [3] W. Schneider, Wege in die Physikdidaktik, Band 5, S.1, Palm & Enke, Erlangen 2002.
- [4] R. W. Pohl, Optik und Atomphysik, Springer-Verlag, Heidelberg 1967.

## Der Autor

*Hans Joachim Schlichting ist Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. Seit Jahren schreibt er gemeinsam mit Christian Ucke für unsere Rubrik Spielwiese.*

## Anschrift

*Prof. Dr. H. Joachim Schlichting, Universität Münster, Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster.  
Schlichting@uni-muenster.de*