

Spielwiese

Farbige Moiré-Muster als Naturphänomen

H. JOACHIM SCHLICHTING | WILFRIED SUHR

Ringwellensysteme auf der Wasseroberfläche eines Swimmingpools können unter bestimmten Bedingungen farbige Ringe hervorrufen, die sich als ein Moiré-Muster erweisen. Es entsteht aus einer Überlagerung der Ringwellen mit deren Projektion auf dem Boden des Pools. Moiré-Effekte sind im technisch-wissenschaftlichen Alltag häufiger beobachtbar – in der Natur dagegen selten.

Der Blick durch zwei hintereinander liegende Gitter eines Brückengeländers ist ein typisches Beispiel für den Moiré-Effekt (Abbildung 1). Er entsteht durch eine Überlagerung gleichartiger periodischer Muster und taucht vor allem in der wissenschaftlich-technischen Alltagswelt auf [1]. Doch wie das vorliegende Beispiel zeigt, gibt es auch „natürliche“ Varianten.

Konzentrische Farbkreise im gekräuselten Wasser

Ins Wasser geworfene Steine oder einzelne Tropfen erzeugen bekanntlich nahezu perfekte kreisförmige Wellensysteme, wobei es ein Unterschied ist, ob ein Stein von einigen Zentimetern Größe oder ein Wassertropfen der Auslöser für das Ringwellensystem ist. Beim Stein eilen die Wellen größerer Wellenlänge denen kleinerer Wellenlänge voraus; beim Wassertropfen sind umgekehrt die kürzeren Wellen schneller als die langen. Im ersten Fall dominiert die Schwerkraft, was zu Schwerewellen führt, im zweiten Fall erzeugt die Oberflächenspannung Kapillarwellen [2].

Abbildung 2 zeigt zwei Wellensysteme in einem Swimmingpool, die fallende Tropfen ausgelöst haben. Unsere Aufmerksamkeit gilt diesen konzentrischen Ringwellen jedoch nur insoweit, wie sie zur Klärung eines anderen Phänomens beitragen, auf das man wohl erst auf den zweiten Blick aufmerksam wird: An den Rändern der Kapillarwellen treten mehrere spektralfarbene Ringsysteme in Erscheinung (Abbildung 2 links unten). Trotz intensiver Recherchen haben

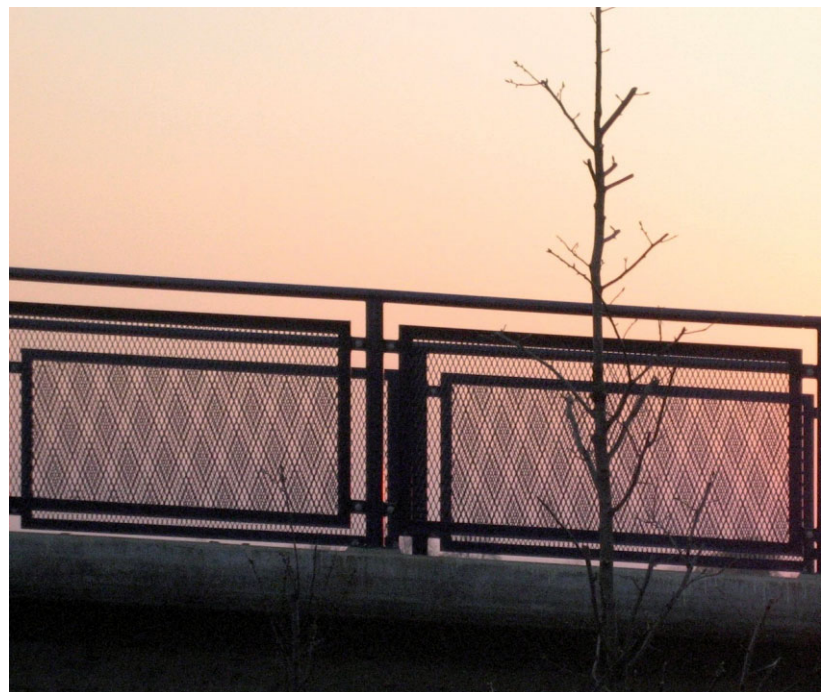


Abb. 1 Zwei hintereinander stehende Gitter eines Brückengeländers erzeugen wegen des Moiré-Effekts ein vergrößertes Muster.

wir keinen Hinweis auf dieses merkwürdige Naturphänomen gefunden, das wir im Folgenden physikalisch erklären wollen.

Genau genommen sehen wir in Abbildung 2 gar keine konzentrischen Kapillarwellen, sondern deren Projektion auf dem Boden des Beckens. Bei klarem Wasser geben sie oft den einzigen sichtbaren Hinweis auf die über die transparente Wasseroberfläche hineilenden Wellen. Die Projektion besteht aus erstaunlich deutlichen Brennnlinien, hervorgerufen von den Wellen, die gewissermaßen als System aus ringförmig angeordneten Sammel- und Zerstreuungslinsen wirken: Sie fokussieren und defokussieren das einfallende Sonnenlicht.

Die Breite der wechselweise hellen und dunklen konzentrischen Ringe und der Helligkeitskontrast zwischen ihnen nehmen nach außen hin rapide ab, so dass sie schließlich im Untergrund einer einheitlichen Beleuchtung des



Abb. 2 Farbige Ringsysteme in den Wasserwellen eines Swimmingpools. Links unten: Der kontrastverstärkte Ausschnitt lässt das farbige Ringsystem deutlicher hervortreten.

Bodens verschwinden. In den Bereichen, in denen sich zwei Ringwellensysteme überlagern, entstehen von großen Helligkeitskontrasten geprägte Lichtmuster auf dem Boden. Da deren Beobachtung an manchen Stellen nur durch die von den realen Wellen gekräuselte Wasseroberfläche hindurch erfolgt, erscheinen diese Lichtstrukturen an diesen Stellen mehr oder weniger stark verzerrt. Man hat es dort mit einer doppelten Wirkung der Wellenringe zu tun: Zum einen erzeugen die Wellen die Projektionen auf dem Boden, und zum anderen betrachtet man diese Projektionen an manchen Stellen durch die Wellen hindurch. Die alleinige Wirkung der gekräuselten Wasseroberfläche lässt sich am besten an den Verzerrungen des Fliesenmusters erkennen und zwar insbesondere an Stellen, an denen keine Projektionen auftreten. Dies ist zum Beispiel links oben in Abbildung 2 der Fall.

Die Überlagerungen von Ringwellensystemen mit ihren Projektionen auf dem Boden des Swimmingpools rufen im Überlagerungsbereich Moiré-Muster hervor, welche dieselbe Form besitzen wie die erzeugenden Wellensysteme.

Dies lässt sich leicht mit Hilfe von Ringsystemen demonstrieren, die die Struktur einer Fresnelschen Zonenplatte haben. Legt man zwei solche Ringmuster übereinander, so ergibt sich andeutungsweise auf der Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten

der Ringsysteme ein weiteres, kleineres Ringsystem, das den erzeugenden Systemen ähnelt (Abbildung 3). Dieses Moiré-Phänomen legt die Vermutung nahe, dass die beobachteten farbigen Ringsysteme das Ergebnis entsprechender Überlagerungen eines jeweils als Projektion auf dem Boden sichtbaren und eines nur indirekt wahrnehmbaren realen Wellenmusters auf der Wasseroberfläche sind.

In Abbildung 2 und dem vergrößerten Ausschnitt erkennt man an den verzerrten Fliesen, dass sich das erzeugende Ringsystem links unten vom projizierten Ringsystem auf der Oberfläche des Wassers befindet. Wegen der schräg zur Wasseroberfläche orientierten Aufnahme tritt eine perspektivische Verschiebung zwischen Wellen und Verzerrungen auf dem Boden auf. Deshalb kann die wahre Lage der Wellen nur geschätzt werden. Bleibt zu klären, wie es zu den Spektralfarben der Moiré-Ringe kommt.

Spektrale Farbzerlegung durch doppelte Dispersion

Die Brechung des weißen Sonnenlichts an der Wasseroberfläche geht mit einer Dispersion einher. Diese ist an den mehr oder weniger ausgeprägten farbigen Berandungen der Brennnlinien auf dem Boden des Schwimmbeckens erkennbar. Die farbliche Aufspaltung ist dabei am größten in Sonnenstrahlrichtung. Wie man an den farbigen Säumen der Brennnlinien erkennen kann, fällt das Sonnenlicht von links unten ein.

Aber selbst wenn die Brennnlinien weiß wären, würde der Beobachter sie bei genauer Betrachtung mehr oder weniger stark farbig berandet wahrnehmen. Denn das von ihnen ausgehende weiße Licht wird beim Übergang vom Wasser in die Luft gebrochen, bevor es ins Auge des Betrachters gelangt. In diesem Fall ist die Farbaufspaltung am größten in Blickrichtung des Betrachters.

Da der Blick im vorliegenden Fall unter sehr kleinem Winkel (fast direkt von oben) erfolgt, ist von dieser Dispersion kaum etwas zu sehen (Abbildung 4). Nur in den Fällen, in denen der Blick durch die Deformationen der Ringwellen hindurch erfolgt, treten merkliche Farben auf. Man erkennt dies deutlich an den horizontal verlaufenden Fliesenfugen.

Dieser Dispersionseffekt tritt besonders dort deutlich in Erscheinung, wo es zur Überlagerung zweier Ringsysteme mit dem oben beschriebenen Moiré-Effekt kommt. Da sich Sonnenstrahlrichtung und Beobachtungsrichtung um fast 90° unterscheiden, überlagern sich beide Dispersionseffekte an dieser Stelle derart, dass nahezu einheitliche farbi-

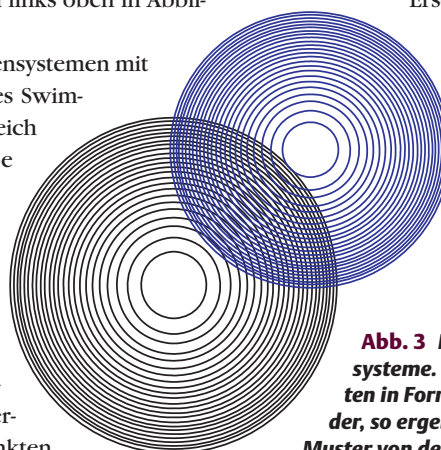


Abb. 3 Modell der Überlagerung zweier Wellensysteme. Schiebt man zwei Fresnelsche Zonenplatten in Form von transparenten Folien übereinander, so ergeben sich im Überlagerungsbereich Moiré-Muster von derselben Art wie im Swimmingpool.

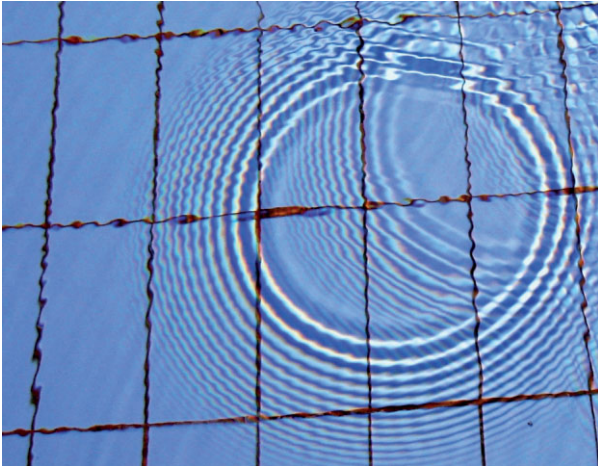


Abb. 4 Das Sonnenlicht kommt etwa aus der 8-Uhr-Richtung. Daher sind die Farben an den linken und rechten Rändern der Brennnlinien am stärksten. Der Beobachter blickt in etwa aus der 6-Uhr-Richtung, so dass sich die Farben vor allem an den horizontal verlaufenden Fliesenfugen zeigen.

ge Berandungen auftreten und das in Frage stehende virtuelle farbige Ringsystem hervorbringen.

Dass die starke Brechung an den Rändern der zylinderlinsenförmigen Wellen eine entsprechend starke Dispersion zur Folge hat, lässt sich in einem Freihandexperiment mit einem Glasstab nachstellen, den man leicht schräg über ein System von Linien legt (Abbildung 5). Aus der Ferne betrachtet erscheinen die einzelnen Kreuzungspunkte im Moiré-Ringsystem des Swimmingpools wie geschlossene Farbringe (Abbildung 2).

Zusammenfassung

Konzentrische Ringwellen auf der Oberfläche eines Schwimmbeckens können ein überraschendes Moiré-Muster erzeugen. Es ähnelt der Überlagerung zweier Kreissysteme, die aus Fresnelschen Zonenplatten bestehen. Da die ringförmigen Wellen wie Zylinderlinsen wirken, ruft die Dispersion besonders an den Kreuzungspunkten zwischen den Ringen starke Farbränder hervor. Aus der Distanz führen diese zu dem in Spektralfarben erscheinenden Ringsystem.

Stichworte

Moiré-Effekt, Ringwellen, Fresnelsche Zonenplatten.

Danksagung

Wir danken Martin Czekalla und Daniel Schulz für Anregungen bei der Untersuchung dieses Phänomens.

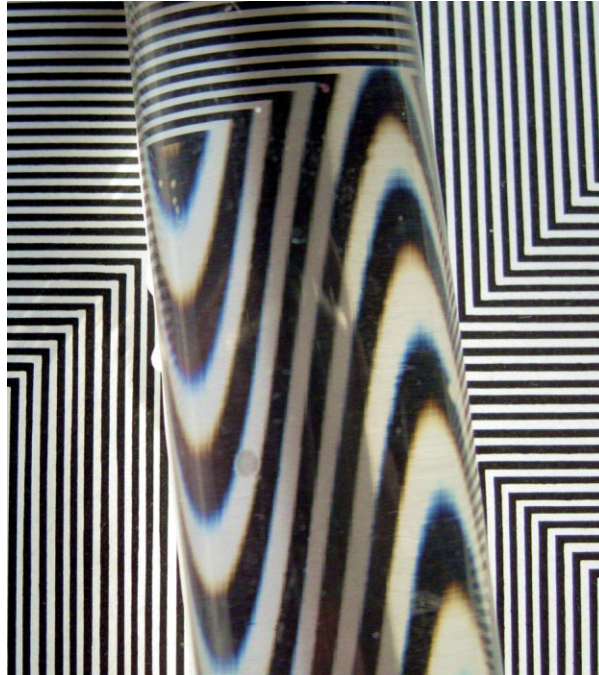


Abb. 5 Starke Dispersion an den Rändern eines zylindrischen Glasstabs, der auf ein Op-Art-Bild gelegt wurde.

Literatur

- [1] M. Czekalla, In: V. Nordmeier, H. Grötzebach (Hrsg.), Didaktik der Physik, Bochum 2009.
- [2] H.-J. Schlichting, Physik in unserer Zeit **2008**, 39 (1), 46.

Die Autoren



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



Wilfried Suhr studierte Physik an der Universität Oldenburg, wo er 1992 promovierte. Seit 2004 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Didaktik der Physik an der Universität Münster.

Anschriften

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