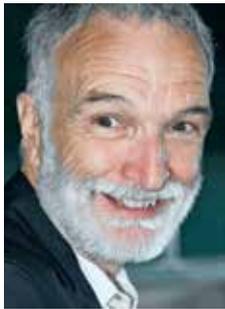


SCHLICHTING! BUNTER SCHMUTZEFFEKT



An einer verstaubten Glasscheibe können sich Lichtwellen überlagern, die in unterschiedlicher Reihenfolge gestreut und reflektiert wurden. Dabei entstehen spektralfarbene Strukturen aus Streifen oder Ringen.

H. Joachim Schlichting war Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. Seit 2009 schreibt er für »Spektrum« über physikalische Alltagsphänomene.

» spektrum.de/artikel/2040283

In jeder flüchtigen Erscheinung sehe ich Welten, voll vom Wechselspiel der Regenbogenfarben

Konstantin Balmont (1867–1942)

Ein Versuch, bei geringer Helligkeit durch ein Fenster eines verlassenen Gebäudes hindurchzufotografieren, brachte eine rätselhafte Erscheinung zu Tage. Die Kamera fokussierte automatisch auf die staubige Scheibe und löste das Blitzlicht aus. Das Bild zeigte daher nicht das Innere des Raums, sondern den Lichtreflex auf dem Glas. Dieser war von einer Reihe bunter Streifen umgeben – ein zufälliger Farbfehler der Kamera? Einige Zeit später erschien beim Parken eines Pkw vor einer Fensterfront das zurückgeworfene Scheinwerferlicht von einem ähnlichen Muster umgeben. Es muss sich also um ein reproduzierbares optisches Phänomen handeln.

Für dessen Entstehung war eine Schmutzschicht auf dem Fenster ausschlaggebend. Denn dort, wo es gerei-

BLITZLICHTFOTO Ein verstaubtes Fenster zeigt Abschnitte der queteleschen Ringe, die als leicht gekrümmte Streifen erscheinen. Der Reflex trennt als nulltes Beugungsmaximum den Farbverlauf: Von ihm aus gesehen geht es stets von Blau nach Rot.

nigt wurde, traten keine Farben auf. Damit schied schon einmal ein Interferenzphänomen als Ursache aus, das bei Doppelglasscheiben zu beobachten und durch Säubern der Scheiben eher noch deutlicher zu sehen ist (siehe »Spektrum« März 2018, S. 68). Die mysteriöse Beobachtung entpuppt sich vielmehr als »queteletsche Ringe«, benannt nach dem vielseitigen belgischen Wissenschaftler Adolphe Quetelet (1796–1874).

Aus dem Alltag kennt man ganz vergleichbar erscheinende spektralfarbige Ringe in Gestalt von so genannten Koronen. Sie umsäumen unter bestimmten Bedingungen Lichtquellen wie die Sonne oder den Mond und stammen von winzigen, in der Luft schwebenden Teilchen wie kleinste Wassertröpfchen oder Pollen. Manchmal genügt eine beschlagene Fensterscheibe, um eine hindurchschimmernde Laterne von bunten Kreisen umgeben zu sehen.

Bei solchen Koronaphänomenen sind gleich große Partikel entscheidend, an denen das Licht gestreut wird. Das kann bei den queteletschen Ringen nicht der Fall sein, denn hier haben wir es mit einem zufällig entstandenen Staubbelaag aus völlig unterschiedlichen Körnchen zu tun. Außerdem blickt man nicht auf die Lichtquelle selbst, sondern auf deren Spiegelung. Darüber hinaus umrahmen die Farbringe im Allgemeinen nicht den Lichtreflex selbst, sondern sie scheinen um eine außerhalb gelegene Stelle zu kreisen, so als wären beide Erscheinungen völlig unabhängig voneinander.

Bei näherem Hinsehen hat der monochrome Lichtfleck allerdings durchaus eine ausgezeichnete Stellung: Bei ihm handelt es sich um die nullte Beugungsordnung. Sie liegt bei einer normalen Korona in der Mitte, befindet sich hier aber auf einem der Ringe jenseits des Zentrums. Zu ihren beiden Seiten schließen sich die erste, zweite und weitere Beugungsordnungen in Form bunter Bögen an. Die Farbreihenfolge kehrt sich beidseits der nullten

H. JOACHIM SCHLICHTING



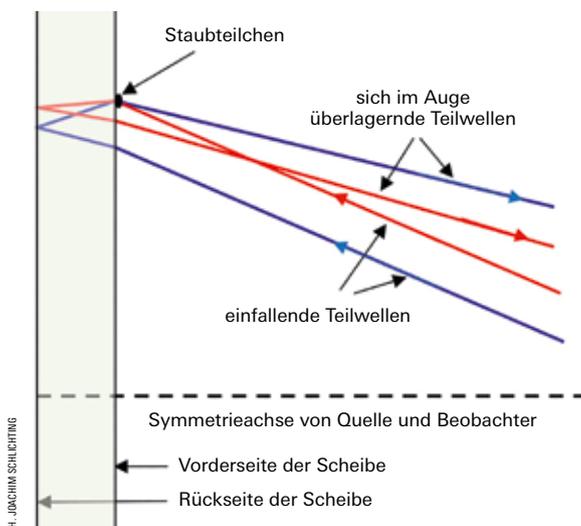


SCHEINWERFERLICHT Ein Auto erzeugt queteletsche Streifen auf einem verschmutzten Schaufenster.

Ordnung um, das heißt von dieser aus gesehen verlaufen die Farben auf den weiteren Streifen immer von Blau nach Rot. Das ist ein charakteristisches Merkmal für queteletsche Ringe. Sie zeigen darüber hinaus die typischen Eigenschaften einer spiegelnden Reflexion. Wenn man sich also quer zu den Bögen bewegt, verschieben sie sich in die jeweils entgegengesetzte Richtung, und bei Annäherung an die Scheibe vergrößern sich die Krümmungsradien.

Wie bei der Entstehung von Koronen fällt auch hier winzigen Streuteilchen eine entscheidende Rolle zu. Bei den queteletschen Ringen liegen sie auf einer transparenten Ebene, zum Beispiel einer Glasscheibe. Außerdem ist eine zweite Schicht nötig, die das Licht reflektiert. Das kann die Rückseite der Scheibe sein oder besser noch der Metallüberzug eines Spiegels.

ENTSTEHUNG DER QUETELET-RINGE Zwei Lichtwellen gehen von einem Punkt einer Lichtquelle aus und treffen auf einen verstaubten Spiegel. Eine von ihnen wird zuerst an einem Staubteilchen gestreut und anschließend an der hinteren Grenzschicht reflektiert. Bei der anderen ist es umgekehrt. Wenn beide sich anschließend im Auge überlagern, kommt es zu farbigen Interferenzerscheinungen.



KONZENTRISCHES RINGSYSTEM Ein verschmutztes Fenster wird senkrecht von der Sonne beleuchtet. Es sind mehrere bunte Ringe zu erkennen. Sie sind hier um die nullte Beugungsordnung orientiert, die allerdings zwangsläufig vom Kopf des Fotografen verdeckt wird.

Zu einer Interferenz kommt es immer dann, wenn zwei Wellen, die von einem Punkt der Lichtquelle ausgehen, in ganz bestimmter Weise mit der verschmutzten Scheibe wechselwirken (siehe »Entstehung der Quetelet-Ringe«). Dabei wird eine Welle an einem Staubkörnchen auf der Vorderseite der Scheibe gestreut und anschließend an der Rückseite reflektiert. Die andere wird umgekehrt zunächst hinten reflektiert und dann vorn an demselben Partikel gestreut. Wegen der unterschiedlichen Reihenfolge von Ablenkung und Spiegelung legen beide geringfügig verschiedene Wege zurück. Wenn sie sich daraufhin im Auge oder auf dem Kamerasensor überlagern, gibt es zwischen ihnen eine Phasenverschiebung, die je nach Standort für die Verstärkung und Auslöschung des Lichts sorgt.

Blickt man senkrecht auf die Glasfront, während beispielsweise der Scheinwerfer oder die Sonne in gerader Linie hinter einem steht, hat man einen ganz symmetrischen Fall. Alle Staubteilchen, die sich auf der Ebene gleich weit von der Achse zwischen Lichtquelle und Beobachter entfernt befinden, erfüllen dieselbe Bedingung für die Streuung. Dann kommt das nullte Interferenzmaximum mittig in den konzentrisch angeordneten Farbringen zu liegen. Allerdings steht man dabei der Lichtquelle im Weg und verdeckt zumindest einen Teil von ihr. Man wird daher normalerweise seitlich ausweichen und unter einem kleinen Winkel auf die Scheibe blicken. Dadurch verlagert sich das Zentrum des Ringsystems in die entgegengesetzte Richtung, und das Spiegelbild der Strahlungsquelle wandert auf einen der Ringe.

Die queteletschen Ringe lassen sich mit einfachen Mitteln experimentell herstellen. Dazu genügt ein ebener Spiegel, der von kleinen Tröpfchen beschlagen oder mit Talkumpuder bestäubt ist. Platziert man sich mit einer möglichst punktförmigen Lichtquelle – etwa einer Taschenlampe, deren Reflektor entfernt wurde – in einem Abstand von zwei bis drei Meter davor und hält die Lampe an die Stirn, so sind um den direkten Reflex im Spiegel herum farbige Streifen erkennbar. Diese sind Ausschnitte von Ringen, deren Zentrum je nach Abstand zwischen Auge und Lampe wandert.