

Verwirrende Beugung

Dank altbekannter Interferenzeffekte lassen sich mit einer simplen CD rätselhafte Lichtmuster erzeugen.

VON H. JOACHIM SCHLICHTING

Nicht nur dem berühmten theoretischen Physiker Arnold Sommerfeld hatten es die Interferenzfarben angetan. Auch Thomas Mann thematisiert sie: Gleich zu Beginn seines »Doktor Faustus« lässt sich einer seiner Protagonisten überschwänglich über die »Herrlichkeiten und Exzentrizitäten« aus, die manche »in allen Farben der Palette, nächtigen und strahlenden, sich dahinschaukelnden« Insekten aufweisen. Die Tiere fristen »ihr ephemeres Leben« in »phantastisch übertriebener Schönheit«. Besonders beeindruckt ihn, dass »die herrlichste Farbe, die sie zur Schau tragen ... gar keine echte und wirkliche Farbe« ist. Stattdessen werde sie »durch feine Rillen und andere Oberflächengestaltungen der Schüppchen auf ihren Flügeln hervorgerufen«.

Dieses Phänomen kennen wir zwar im Prinzip aus der Schule. Doch schon

eine simple CD zeigt uns, was wir dabei alles noch nicht verstanden haben. Der bloße Hinweis, an ihrem kreisförmigen Reflexionsgitter werde weißes Licht gebeugt, reicht keineswegs aus, um zu erklären, dass scheinbar unterschiedliche Beugungsordnungen dieselbe Intensität aufweisen (Bild rechts, a). Noch hätten wir erwartet, dass eine nur zur Hälfte beleuchtete CD ein 360 Grad umschließendes, allerdings recht spezielles farbiges Ringsystem entstehen lässt (d).

Schauen wir uns die CD und den Beugungsvorgang also genauer an. Die Compact Disc dient uns als Ringgitter. Dass in sie kein System aus konzentrischen Rillen eingraviert ist, sondern eine extrem schmale Spiralspur, ist hier nicht von Belang. Zusammen mit der auf der Rückseite aufgedampften spiegelnden Metallschicht entsteht aus dem Rillensystem rein optisch gesehen

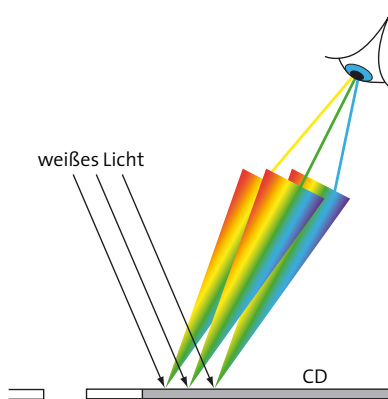
eine Art Reflexionsgitter. Darauf fallen des weißes Licht wird an den typischerweise 1,6 millionstel Meter voneinander entfernten Spurrillen reflektiert und ins Auge des Betrachters oder an die Wand zurückgeworfen, wo sich die Lichtwellen überlagern.

Werden zwei identische (genauer: kohärente) Wellen an verschiedenen Orten reflektiert, legen sie unterschiedliche Wege zur Projektionsfläche zurück. Bei der Ankunft sind ihre Wellenberge und -täler daher gegeneinander verschoben. Durch diese so genannten Gangunterschiede kann es zu Verstärkung, Abschwächung oder vollständiger Auslöschung der Intensität einzelner Wellenlängen kommen. Bei einer Verschiebung um beispielsweise genau eine Wellenlänge fallen Wellenberge auf Wellenberge und verstärken sich so. Eine Verschiebung um null Wellenlängen entspricht dabei der 0. Beugungsordnung, eine Verschiebung um eine Wellenlänge der 1. Beugungsordnung und so weiter. Infolge all dieser Überlagerungen erscheint das ursprüngliche weiße Licht an unterschiedlichen Orten in bunten Spektralfarben.

Legt man eine CD bei Tageslicht vor sich auf den Tisch, sieht man je nach Lichtquelle radiale Streifen unterschiedlicher Lage und Farbe (Foto links). Die Breite der Streifen ist dabei unter anderem durch die Breite des mit Rillen versehenen Kreistrings der CD bestimmt. Weil das Licht aus verschiedenen Richtungen ins Auge fällt, sieht



FOTO LINKS: H. JOACHIM SCHLICHTING; GRAFIK: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / BUSKE&GRAFIK

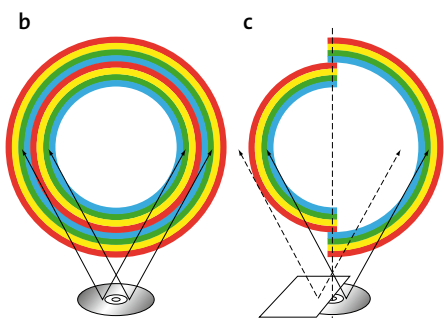


Welche Farben der Betrachter einer CD (links) sieht, hängt von dem Winkel ab, unter dem das Licht gebeugt wird, bevor es in sein Auge fällt (rechts).

Den schönsten Farbenschmuck erzielt die Natur durch Interferenzfarben ...;

man denke an die Flügel der Schmetterlinge, das Gefieder der Kolibris, an Opal oder Perlmutter. Welche Aussichten würden sich der Malerei eröffnen, wenn es gelänge, eine handliche Interferenzfarben-Technik auszubilden!

Arnold Sommerfeld (1868–1951)



FOTOS: H. JOACHIM SCHLICHTING; GRAFIK: SPECTRUM DER WISSENSCHAFT / BUSSE-COATYK

Projiziert man Sonnenlicht mit einer CD auf eine Wand (a), zeigt sich Unerwartetes: Dem inneren System von Interferenzringen 1. Ordnung, deren Farben von Blauviolett bis Rot reichen, folgt ein äußeres Ringsystem fast gleicher Intensität. Gehörte es zur 2. Beugungsordnung, besäße es viel geringere Intensität; es muss also ebenfalls zur Ordnung 1 gehören. Tatsächlich zeichnet jede

CD ein doppeltes System aus Interferenzringen (b). Deckt man die halbe CD ab (c, d), wird klar, wie es dazu kommt. Dann zeigen sich Beugungskreise verschiedener Radien, aber derselben Beugungsordnung 1. Der rechte Halbkreis ist hier schwächer, weil sich das Licht auf eine größere Fläche verteilt. Die Beugungskreise 2. Ordnung (d, linke Bildhälfte) sind wie erwartet kaum zu erkennen.

der Betrachter den unterschiedlichen Weglängen entsprechend verschiedene Spektralfarben. Wir können den Farbwechsel aber auch provozieren: Ändern wir den Blickwinkel auf die CD, ändern sich ebenso die Farben, wie sich etwa durch Schließen wechselweise des einen und dann des anderen Auges überprüfen lässt.

Übrigens können wir eine CD genau genommen kaum anders als in den Farben wahrnehmen, die sie durch ihre mikroskopische Struktur erzeugt, denn diese Strukturfarben dominieren ihre Pigmentfarbe.

Doppeltes Ringsystem

Beim direkten Blick auf die CD sehen wir nur einen Teil des Beugungsmusters, weil der Sehwinkel der Augen- oder der Kameralinse zu klein ist, um es in Gänze zu erfassen. Halten wir die Polycarbonatscheibe hingegen in das Licht einer intensiven Lichtquelle, am besten das der Sonne, und sorgen dafür, dass das reflektierte und gebeugte Licht auf einer weißen Wand landet, können wir das voll entwickelte Beugungsmuster betrachten (Bild a).

In der Mitte des farbigen Ringsystems sehen wir die Spiegelung der CD. Dieser weiße Reflex fällt in den Bereich der 0. Beugungsordnung der CD. Nach außen hin folgen die Farbringe der 1. Beugungsordnung. Offenbar wächst der Beugungswinkel mit der Wellenlänge, denn das kurzwellige blauviolette Licht wird am wenigsten abgelenkt

und bildet deshalb den inneren Ring. An diesen schließen sich die Farben des zunehmend langwelligeren Lichts bis hin zum Rot an. Dann aber wiederholt sich die Farbabfolge und beginnt wieder bei Blauviolett. Man könnte meinen, dass es sich hier um das Ringsystem der 2. Beugungsordnung handelt. Doch andererseits wissen wir, dass mit steigender Ordnung die Intensität stark sinken müsste, was hier aber so gut wie nicht der Fall ist. Es muss sich also um ein weiteres Ringsystem 1. Ordnung handeln!

Was das Foto a wirklich zeigt, erkennen wir, wenn wir eine Hälfte der CD abdecken (c) oder nur die halbe CD ins Sonnenlicht halten (d). Dabei entstehen nämlich zwei halbe Ringsysteme von unterschiedlichem Radius, aber identischer Beugungsordnung. Lassen wir ein aus den beiden Lichtbündeln 1. Ordnung gebildetes »V« gedanklich auf einem Kreis auf der CD umlaufen, wird klar, was geschieht: Das (zunächst) nach innen gebeugte Bündel zeichnet auf der Projektionswand einen Kreis, der um den Umlaufdurchmesser verkleinert ist im Vergleich zu dem Kreis, der von dem nach außen gebeugten Bündel beschrieben wird.

Da die Sonne nicht punktförmig ist und die Beugung über die ganze Gitterbreite erfolgt, verschmieren die in dieselbe Richtung gebeugten Lichtbündel über einen bestimmten Bereich. Darum sind es nicht Linien einer bestimmten Farbe, sondern etwas breitere Farbbän-

der, die wir sehen. Zudem reichen sie ein wenig über die Symmetrieachse der »halbierten« CD hinaus (c).

Arnold Sommerfeld und Thomas Mann bezogen sich noch auf seltene Käfer und Insekten, um ihre Begeisterung und ihr Erstaunen zum Ausdruck zu bringen. Heute aber sind Interferenzfarben mindestens so alltäglich wie die CD selbst, und wir haben vielleicht schon verlernt, uns über dieses Phänomen zu wundern. Mit diesem Schicksal steht es aber nicht allein. In den Worten des Kunsthistorikers Ernst Gombrich: »Wie schnell doch das Wunder von gestern in den Alltag von heute verschwindet!« ~

DER AUTOR



H. Joachim Schlichting

ist Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. 2008 erhielt er für seine didaktischen Konzepte den Pohl-Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

QUELLEN

Gombrich, E.H.: Das forschende Auge. Kunstbetrachtung und Naturwahrnehmung. Campus, Frankfurt a. M. 1994, S. 11–12

Mann, T.: Doktor Faustus. Fischer, Frankfurt a. M. 1967, S. 17

Sommerfeld, A.: Optik. Band 4. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1964, S. 33