

- [5] R. ROHR: Das Roias-Astrolab, Schriften Freunde alter Uhren. – Stuttgart: Dt. Ges. f. Chronometrie 1977.
- [6] R. ROHR: Die Sonnenuhr – Geschichte, Theorie, Funktion. – München: Callwey-Verlag 1983.
- [7] W. SCHMID – W. BORSODORF: Sphärische Trigonometrie, 4. Lehrbrief. – Fernstudium, Bergakademie Freiberg/Sa. 1955.
- [8] K. STEINERT: Sphärische Trigonometrie. – Leipzig: Teubner 1977.
- [9] W. STEINFATT – L. UHLIG: Leitfaden der Navigation, Astronomische Navigation. – Berlin: VEB Verlag für Transportwesen 1969.
- [10] H. SCHUMACHER: Sonnenuhren – Eine Anleitung für Handwerk und Liebhaber. – München: Callwey-Verlag 1973.
- [11] M. SCHÜTZE: Eine einfache Rechenscheibe zur Berechnung beliebiger ebener Sonnenuhrenzifferblätter. Schriften Freunde alter Uhren. – Stuttgart: Dt. Ges. f. Chronometrie 1990.
- [12] A. ZENKERT: Faszination Sonnenuhr. 5. Aufl. – Frankfurt/M.: Harri Deutsch 2005.
- [13] A. ZENKERT: Die stereografische Projektion als Rechenscheibe für die Gnomonik. – Schriften Freunde alter Uhren. – Stuttgart: Dt. Ges. f. Chronometrie 1997.

StR i. R. ARNOLD ZENKERT, Seestraße 17, 14467 Potsdam, a.zenkert@gmx.de, war 1973–1988 Leiter des Astronomischen Zentrums »O«, 1960–1990 Mitglied der Kommission für Unterrichtsmittel im Fach Astronomie an der Akademie der Pädagogischen Wissenschaften der DDR, 1974–1990 Redaktionsmitglied der Zeitschrift »Astronomie und Raumfahrt« und ist Mitglied im Arbeitskreis Sonnenuhren der Deutschen Gesellschaft für Chronometrie. Er ist bekannt durch zahlreiche Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Astronomie. ■

Alltägliche Lichtbahnen mit interessanten 3D-Effekten

H. JOACHIM SCHLICHTING

Lichtbahnen beobachtet man nicht nur auf welligem Wasser, sondern auch auf beliebigen Oberflächen, die regelmäßige oder unregelmäßige Riefen oder Kratzspuren aufweisen. Diese Lichtbahnen können bei binokularer Betrachtung zu 3D-Phänomenen führen. Durch diese Beobachtung angeregt, können einfache 2D-Strukturen so mit ringförmigen Kratzern versehen werden, dass sie bei geeigneter Beleuchtung dreidimensional erscheinen und wie ein reales Objekt aus verschiedenen Winkeln betrachtet werden können.

*Doch sich täuschen zu lassen,
gilt nach landläufiger Auffassung als elend.
Ich behaupte dagegen,
daß es das größte Unglück ist,
über alle Täuschungen erhaben zu sein.
Der Geist des Menschen ist nun einmal so angelegt,
daß der Schein ihn mehr fesselt als die Wahrheit.*
ERASMUS VON ROTTERDAM

1 Wechsel zwischen den Dimensionen

Bei der zweidimensionalen Darstellung dreidimensionaler Objekte in Malerei und Fotografie spielt u. a. die perspektivische Darstellung eine wesentliche Rolle. Typisch für die dimensionale Reduktion ist die weitgehende Unabhängigkeit der Ansicht vom Standpunkt des Betrachters. Der Blick der Mona Lisa bleibt auch dann auf den Betrachter gerichtet, wenn er das Bild schräg von der Seite anschaut. Geht man an der Mona Lisa vorbei, so entsteht der Eindruck, als würde sie einen mit dem Blick verfolgen¹.

Werden den Augen zwei auf den Augenabstand bezogene geringfügig verschobene Abbildungen (z. B. Fotos) eines Gegenstandes dargeboten, so entsteht aufgrund einer wahrnehmungsbedingten Verschmelzung beider Abbildungen eine täuschend echt wirkende dreidimensionale Ansicht. Dies wird u. a. in der Stereofotografie ausgenutzt. Aber es gibt noch eine surreale Steigerung, bei der ein real zweidimensionaler Gegenstand dreidimensional in Erscheinung tritt. Betrachtet man beispielsweise eine CD im Lichte einer Punktlichtquelle, so scheint bei beidäugigem Sehen ein Lichtbalken aus der Fläche der konzentrischen Kreise wie zum Greifen herauszutreten. Schließt man ein Auge, dann fällt der Balken augenblicklich auf die spiegelnde Ebene zurück (Abb. 1).

Nicht nur eine CD, auch eine Schallplatte und andere mit konzentrischen Ringen versehene Objekte wie der Plastikdeckel eines Honigglases, der Boden eines Edelstahltopfes oder ein Edelmetallblech (Abb. 2) zeigen bei geeigneter Beleuchtung einen 3D-Lichtbalken. Wie kommt es zu diesem Phänomen?

¹ Dieser bekannte Effekt ist nicht zu verwechseln mit der Verfolgung durch den Blick von Hohlfiguren. In diesem Fall »bewegen« sich die Augen der Figur sogar doppelt so schnell, wie man an ihr vorbeigeht (siehe z. B. [1]).



Abb. 1. Lichtbalken auf einer CD. Was in der Abbildung nicht zu sehen ist: Bei zweiäugiger Betrachtung scheint der Lichtbalken schräg aus der Fläche der CD in den Raum herauszutreten.



Abb. 2. Lichtbalken auf einem Edelstahltablett. Bei beidäugiger Betrachtung wird der Lichtbalken auch hier räumlich.



Abb. 3. Schwert der Sonne, wie man es auf dem welligen Wasser beobachten kann

2 Schwert der Sonne im Kleinen

In der Lichtbahn auf den Ringsystemen erkennt man eine Art »Schwert der Sonne« im Kleinen (vgl. [2]). Wenn das Licht der Sonne auf die gewellte Oberfläche eines Gewässers fällt, wird es auf vielfältige Weise ins Auge des Betrachters reflektiert (Abb. 3), denn die zahlreichen Wellenflanken wirken wie geneigte Spiegel, die je nach Wellengang auch mehr oder weniger weit vom »Spiegelpunkt« (Punkt P in Abb. 4; hier wäre bei glatter Wasseroberfläche das Spiegelbild der Sonne zu sehen) entfernt dem Sonnenlicht passende Neigungen darbieten, so dass auch dort Sonnenreflexe gesehen werden können. Die Gesamtheit der Lichtreflexe bildet ein flimmerndes quasi-kontinuierliches Lichtgebiet auf dem Wasser aus, das bei tief stehender Sonne die Form einer schmalen Lichtbahn annimmt.

Offenbar treten ähnliche Lichtbahnen auf völlig unbewegten festen Oberflächen auf, wenn diese Kratzer oder Riefen aufweisen. Je nachdem, wie die Riefen relativ zur Lichtquelle und zum Beobachter orientiert sind, unterscheiden sich die Bahnen.

Oft kann man die Riefen mit unbewaffnetem Auge gar nicht sehen und sie nur aus dem Vorhandensein der charakteristischen Lichtbahnen erschließen. Beispielsweise kann man aus den Lichtschweifern oberhalb und unterhalb des Reflexes einer Lichtquelle in einem Edelstahlspiegel folgern, dass winzige parallele Riefen vorhanden sein müssen, die aufgrund der Herstellung des Spiegels der Oberfläche eingepägt wurden (Abb. 5).

Damit das an einem breiten Band von Riefen reflektierte Licht das Auge des Betrachters erreicht, müssen diese so profiliert sein, dass das von der Lichtquelle kommende Licht in einen entsprechend breiten Winkelbereich gestreut wird. Das Riefenprofil muss daher von der Art sein, wie es in Abbildung 6 schematisch dargestellt ist.

Solche Lichtbahnen bekommt man im Alltag häufig zu Gesicht. In Abbildung 7 sieht man beispielsweise zahlreiche Lichtbänder an der mit Edelstahl verkleideten Wand eines Fahrstuhls. Sie rühren von Halogenleuchten an der Decke her. Der schräge Anschnitt der Lichtkegel durch die Wände führt für das Licht der unmittelbar benachbarten Leuchten zu kegelschnittartig gekrümmten Formen (siehe auch [3]). Die weitgehend geraden aber lichtschwächeren Bänder sind auf die entfernteren gegenüberliegenden Leuchten zurückzuführen. Im Falle von zylindrischen Gefäßen kommt es sowohl auf der konkaven als auch auf der konvexen Seite selbst bei ausgedehnten Lichtquellen zu einer schmalen Lichtbahn (Abb. 8).

Bisher wurden nur geordnete (konzentrische und parallele) Riefensysteme betrachtet. Auch völlig ungeordnete Riefen oder Kratzer, die als – meist unsichtbare – Gebrauchsspuren auf glatten Oberflächen entstanden sind, kristallisieren sich unter geeigneter Beleuchtung zu Lichtbahnen. Bei streifendem Lichteinfall sind sie analog zum Sonnenuntergang am Meer linear. Bei senkrechtem Einfall des Lichts sieht es so aus, als ob der Reflex der Lichtquelle von einem System konzentrischer Ringe umgeben ist (Abb. 9).

Die Ursache für diese auf den ersten Blick merkwürdig erscheinende ringförmige Anordnung der Reflexionen an den Gebrauchsspuren besteht darin, dass die statistisch verteilten Riefen nur in den Abschnitten sichtbar werden, die dem Reflexionsgesetz entsprechend Licht ins Auge reflektieren [2].

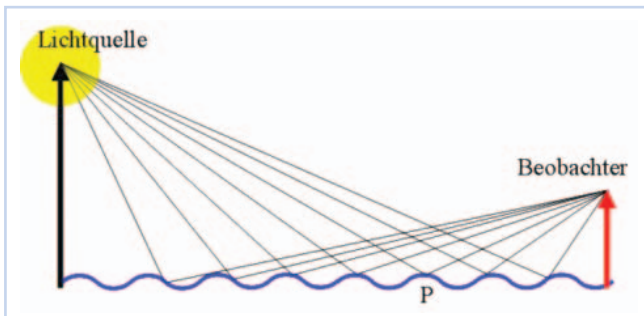


Abb. 4. Die Neigungen der Wellen ermöglichen vielfältige Reflexionen des Sonnenlichtes ins Auge des Beobachters.



Abb. 7. Die Edelstahlverkleidung dieses Fahrstuhls zeigt ein ganzes Netzwerk von Lichtbändern, die durch die an der Decke angebrachten Halogenleuchten hervorgerufen werden.



Abb. 5. Lichtschweif einer in einem Edelstahlspiegel reflektierten Kerze, die von den herstellungsbedingten Riefen im Spiegel herrühren



Abb. 8. Ein Gefäß aus glänzendem Metall mit zwei ausgeprägten Lichtbahnen

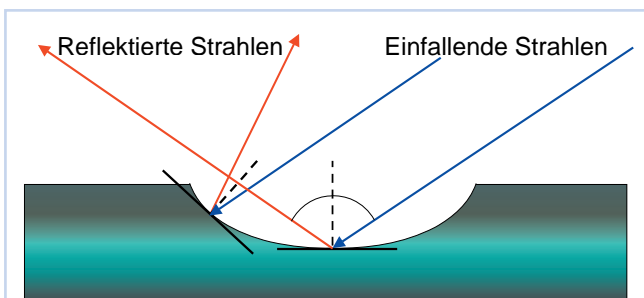


Abb. 6. Querschnitt durch ein Rillenprofil



Abb. 9. Lichtbahnen an Gebrauchsspuren auf einer Autokarosserie



Abb. 10. Beim Blick zur Sonne durch ein Flugzeugfenster abschnittsweise aufleuchtende Kratzspuren, die konzentrisch um die Sonne orientiert zu sein scheinen



Abb. 11. Blick durch ein Flugzeugfenster auf eine Flughafenleuchte, die mit Lichtschweifern versehen zu sein scheint

Solche Gebrauchsspuren treten auch auf transparenten Flächen, z. B. Fensterscheiben aus Kunststoff auf, durch die man auf eine Lichtquelle blickt (Abb. 10). Während beim Blick zur Sonne die Reflexe aufgrund der blendenden Helligkeit eindeutig mit der Scheibe in Verbindung gebracht werden, hat man bei weniger intensiven Lichtquellen etwa einer Straßenbeleuchtung eher den Eindruck, die Lichtreflexe seien Bestandteil der Leuchte (Abb. 11). Manchmal scheinen die Lichtschweife von der Lichtquelle aus direkt ins Auge des Betrachters zu laufen und damit räumlich zu werden (siehe unten). Dieses Phänomen kann man beispielsweise beobachten, wenn man im Straßenverkehr durch die Windschutzscheibe hindurch auf die Scheinwerfer der entgegenkommenden Fahrzeuge blickt [4]. Die Windschutzscheibe enthält insbesondere bei älteren Fahrzeugen nicht direkt sichtbare konzentrisch gekrümmte Gebrauchsspuren infolge der Tätigkeit der Scheibenwischer. Diese Riefen werden beim Blick auf die Lampen anderer Fahrzeuge abschnittsweise zum Leuchten gebracht und wachsen wie von den Lampen zu den Augen gehende Lichtbalken aus der Fläche heraus (Abb. 12). Diese beim Durchblick durch ein transparentes Medium auftretenden Lichtbahnen verdanken sich allerdings nicht der Reflexion, sondern der Brechung an den Riefen, so dass das Licht durch das Medium hindurchgeht.



Abb. 12. Blickt man durch die Windschutzscheibe auf die Leuchten anderer Kraftfahrzeuge, so erscheinen senkrecht zu den Riefen in der Frontscheibe orientierte Lichtschweife, die zuweilen wie von der Lichtquelle zum Auge ragende Lichtbalken im Raume zu schweben scheinen.

3 Räumlicher Eindruck der Lichtbahnen

Um den räumlichen Gesichtseindruck der Lichtbahnen zu erklären, vergegenwärtigen wir uns zunächst, wie es zum beidäugigen räumlichen Sehen kommt: Beim Blick auf ein räumliches Objekt nimmt jedes Auge dem Augenabstand entsprechend eine geringfügig verschobene Teilansicht wahr, die man sich jeweils als Projektion des Objekts auf eine Fläche senkrecht zur Sehrichtung vorstellen kann, über deren Entfernung keine direkten Informationen zur Verfügung stehen².

Um beide Netzhautindrücke zu einem Bild zu vereinigen, werden anschaulich gesprochen, die Projektionen jeweils so weit in Blickrichtung verschoben, bis die Einheitlich-

² Bei einem bekannten Objekt wird die Entfernung allein aus der Kenntnis der Größe des Originals und der Größe des Netzhautbildes ermittelt.

keit des Bildes gegeben ist. Damit ist aber das Objekt im Raum fixiert und wird räumlich gesehen. Lichtbahnen sind an sich keine räumlichen Gegenstände mit unterschiedlichen Ansichten. Jedes Auge sieht aber seiner eigenen Blickrichtung entsprechend andere Stellen an Rillen und Riefen der jeweiligen Oberfläche aufblitzen und nimmt somit die Lichtbahn mit jedem Auge an einer geringfügig verschobenen Stelle wahr. Für das visuelle System stellt sich jedoch die Situation genauso dar, als würde ein und dasselbe Objekt aus unterschiedlichen Winkeln gesehen. Daraus ergibt sich nach derselben Argumentation wie bei der Wahrnehmung räumlicher Objekte die Räumlichkeit der Lichtbahnen. Es handelt sich also um eine besondere optische Täuschung.

4 Zur Herstellung virtueller räumlicher Gebilde

Das Phänomen eines räumlichen Lichtbalkens legt den Gedanken nahe, gezielt virtuelle räumliche Gegenstände herzustellen. Entscheidend ist dabei, dass es gelingt, von einer Figur, die man räumlich darstellen möchte, ein geeignetes System von reflektierenden Flächenelementen zu schaffen. Ein solches Reflektorsystem muss so beschaffen sein, dass es in Abhängigkeit von der Blickrichtung stets eine passende Neigung aufweist, an der das Licht einer Lichtquelle zum Betrachter reflektiert werden kann. Die konzentrischen Rillen einer CD oder des Bodens eines Edelstahltopfes können dabei als Vorbild dienen.

Umgeben man einen Punkt mit einer kreisförmigen Riefe und betrachtet beidäugig den Reflex einer Punktlichtquelle an der entsprechenden Flanke der Riefe, so scheint er im Raume zu schweben. Denn auch in diesem Fall sieht jedes Auge einen anderen Reflex und beide Reflexe werden zu einem räumlichen Bild zusammengesetzt. Voraussetzung ist natürlich, dass das Profil der Ritzung nicht exakt V-förmig, sondern eher gerundet ist, damit in einem größeren Winkelbereich »passende« Neigungen für die Reflexion vorgefunden werden (vgl. Abb. 6). Dies scheint aber stets gegeben zu sein, wie die 3D-Phänomene zufällig entstandener Gebrauchspuren zeigen.

Ritzt man anschließend einen weiteren Kreis mit demselben Radius um einen Nachbarpunkt, so sieht man zwei benachbarte Reflexe im Raume schweben. Geritzte Kreise um weitere Punkte entlang einer Linie führen zu einer räumlichen Linie aus entsprechenden Reflexen, die aufgrund des konstanten Abstandes zu den Ausgangspunkten streng mit diesen korreliert sind. Ein System geritzter Kreise, das auf dieselbe Weise ein aus gepunkteten Buchstaben bestehendes Wort umgibt, lässt dieses Wort auf geradezu geheimnisvoll anmutende Weise im Raume über der geritzten Fläche erscheinen. In Abbildung 13 wird das (in der Fotografie natürlich nur als flächenhafte Projektion zu erkennende) Ergebnis am Beispiel des in eine Plexiglasscheibe gepunkteten Wortes »PHYSIK« dargestellt. Durch Beleuchtung mit einer Punktlichtquelle erscheint das Wort über der Scheibe schwebend. Die Lage des schwebenden Wortes verschiebt sich je nach dem Blickwinkel, weil sich die Reflexe auf den Riefen entsprechend verschieben.

Besonders eindrucksvolle räumliche Muster ergeben sich, wenn man die Punkte einer flächenhaft dargestellten dreidimensionalen Figur mit Ritzkreisen umgibt. In Abbildung 14 sind zwei verschiedene Ansichten eines Reflexwürfels dargestellt, die sich ergeben, wenn man verschiedene Standpunkte einnimmt.

Man kann noch einen Schritt weiter gehen und die von der CD und anderen konzentrischen Ringsystemen bekannte Tatsache ausnutzen, dass Linien auch durch ein konzentrisches System von Ringen hervorgerufen werden können. Auf diese Weise kann ein räumlicher Würfel auch



Abb. 13. In eine Plexiglasplatte ist (unten) das Wort »PHYSIK« gepunktet dargestellt. Um jeden Punkt als Zentrum wurde ein Kreis geritzt, von dem bei Beleuchtung mit einer Punktlichtquelle die Teile aufleuchten, die das an den Flanken des Ritzes reflektierte Licht ins Auge senden. Da jedes Auge ein geringfügig verschobenes Reflexionsmuster wahrnimmt, scheint das Wort im Raume zu schweben und sich die Lage mit dem Blickwinkel zu verändern.

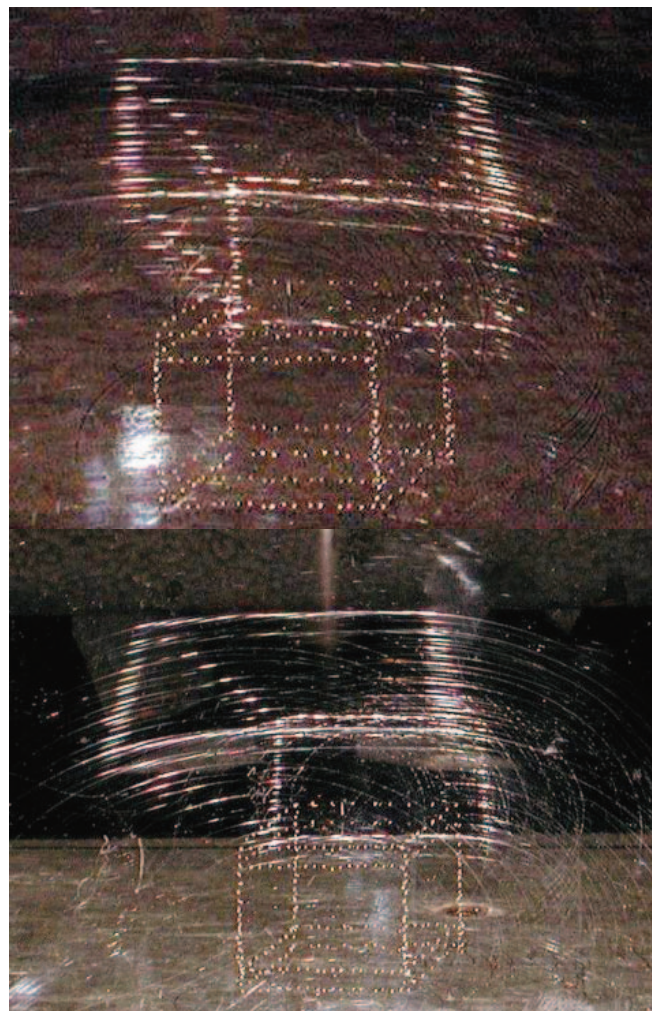


Abb. 14. Ein gepunkteter zweidimensionaler Würfel erscheint aus den Ritzkreisen um die Punkte räumlich hervorzugehen und je nach Blickrichtung an unterschiedlichen Stellen und mit entsprechender perspektivischer Verzerrung im Raume zu schweben. (Die doppelten Punktklinien beruhen auf einer Reflexion an beiden Grenzflächen der Plexiglasplatte) [aus [5]].

durch eine Kombination von Kreisen mit festem Radius entlang der Linien eines Quadrats und einem konzentrischen Kreissystem um die Eckpunkte dieses Quadrats erzeugt werden. Die geritzte, mit einer ausgedehnten Lichtquelle (also weitgehend diffus) beleuchtete Vorlage ist in Abbildung 15 zu sehen. Im Lichte einer Punktlichtquelle ergibt sich daraus ein »räumlicher« Würfel, wie er in Abbildung 16 dargestellt ist. Betrachtet man Abbildung 15 genau, so sieht man der Ritzfigur den Reflexwürfel bereits schemenhaft einbeschrieben. Offenbar ist das Licht der ausgedehnten Lichtquelle nicht diffus genug, so dass von den Stellen, die bezüglich der Richtung der Lichtquelle und des Betrachters das Reflexionsgesetz erfüllen, mehr Intensität zum Betrachter reflektiert wird als von den anderen.

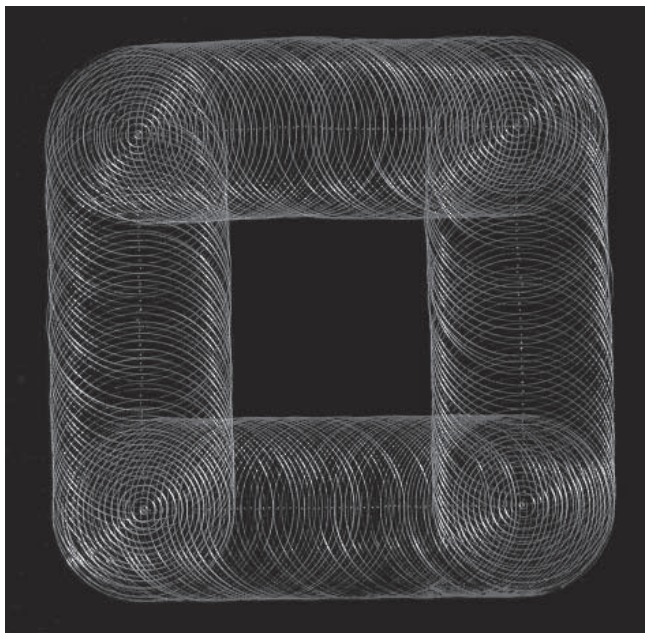


Abb. 15. Mit dieser Ringstruktur auf einer schwarz lackierten Aluminiumplatte lässt sich aus einer quadratischen Vorlage ein räumlich erscheinender Würfel aus Reflexen erzeugen (Abb. 16) [aus [6]].

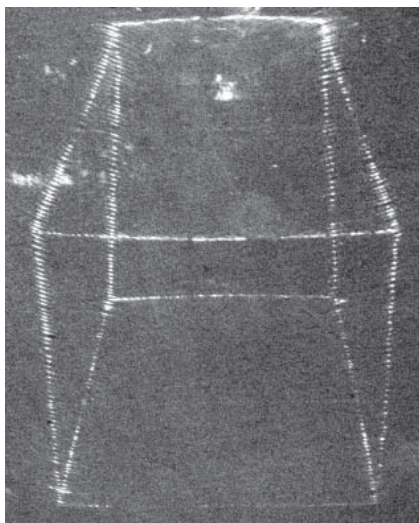


Abb. 16. Im Lichte einer Punktlichtquelle entwirft die Vorlage aus Abbildung 15 ein würfelförmiges räumliches System reflektierender Ringabschnitte.

In allen Fällen ist deutlich zu erkennen, dass nicht nur ein Punkt auf der geritzten Riefe die Reflexionsbedingung erfüllt, sondern ein mehr oder weniger kurzer Kreisabschnitt. Das ist einerseits auf die Abweichung der Lichtquelle von der Punktförmigkeit andererseits aber vor allem auf gewisse Toleranzen des Profils der Ringe zurückzuführen, die das Licht stets innerhalb eines gewissen Winkelbereiches reflektieren.

Quantitative Beschreibungen der geritzten Reflexfiguren findet man in [7], [8] und [6].

5 Physik und Kunst

Die Möglichkeit, durch Lichtreflexe an geeignet geritzten Oberflächen virtuelle räumliche Gebilde herzustellen, ist bereits lange vor der optischen Holografie gewissermaßen als mechanische Holografie im künstlerischen Bereich ausgewertet worden.

Der wohl erste aber in Vergessenheit geratene Künstler, der sich mit dieser Technik virtueller räumlicher Bilder befasste, war HANS WEIL (1902–1998), der diesen Effekt an geritztem Glas sowie an geschliffenem oder gedrehtem Metall beobachtete und künstlerisch nutzte. Er ließ sich seine Methode, gezielt dreidimensionale Bilder herzustellen, 1934 patentieren³.

Später wurde die Methode von einem anderen Künstler, GABRIEL LIEBERMANN, wiederentdeckt und sein Kunstwerk »World Brain« (Abb. 17 und Abb. 18) als mechanisch holografisches Kunstwerk gefeiert [9].

Interessant ist, dass es zunächst Künstler waren, die diese Methode der Herstellung räumlicher Objekte entdeckten, beschrieben und nutzten. Die physikalische Aufklärung des Phänomens erfolgte erst viel später (vgl. [7], [8] und [6]).

Der künstlerische Aspekt stellt auch im Rahmen der Schulphysik eine Möglichkeit dar, das künstlerische bzw. gestalterische Tun von Schülerinnen und Schülern mit dem physikalischen Hintergrund zu verbinden. Der ästhetische Reiz, der von den überraschenden 3D-Figuren ausgeht, kann als Motivation für eine intensive Auseinandersetzung mit den physiologischen und physikalischen Grundlagen dieser Phänomene angesehen werden. Da die Herstellung der Ritzbilder zudem einfach und kostengünstig ist, besteht die Möglichkeit, dass die Schülerinnen und Schüler sich auch außerhalb des Physikunterrichts damit befassen.

6 Fazit

Ausgehend von der Beobachtung, dass eine CD und andere Objekte mit ähnlich strukturierter Oberfläche Lichtbahnen aufweisen, die bei binokularer Betrachtung aus der Ebene herauszuragen und damit räumlich zu werden scheinen, sind wir zunächst dem Phänomen der Lichtbahnen in der Natur und im Alltag der wissenschaftlich-technischen Welt nachgegangen. Wir haben die gemeinsame Ursache dieser Phänomene qualitativ physikalisch beschrieben und gezeigt, dass sowohl regulär strukturierte als auch durch Abnutzung zufällig mit Kratzern versehene Oberflächen solche Lichtbahnen hervorbringen.

³ »directive reflections by grooving a metal surface or transparent sheet of glass ... [make it] possible to produce stereoscopic images which have a three-dimensional effect without any need for the observer to be equipped with special glass or the like« [10].



Abb. 17. Der Stahlstich »World Brain« von GABRIEL LIEBERMANN entfaltet seine räumliche Struktur natürlich nur bei geeigneter Beleuchtung.

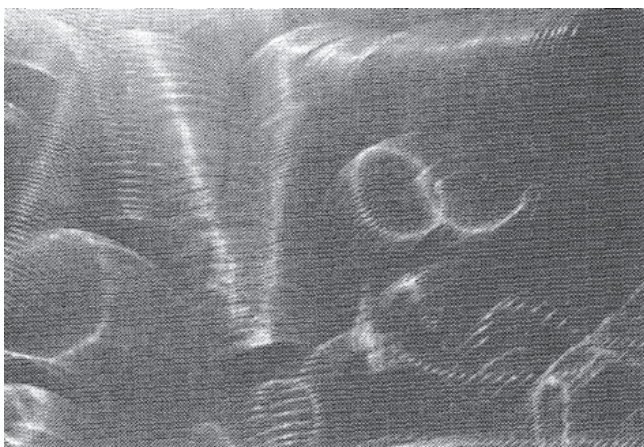


Abb. 18. Der Ausschnitt aus Abbildung 17 lässt die reflektierenden Abschnitte der geritzten Linien deutlich erkennen.

Befinden sich derartige Oberflächen in der Nähe des Betrachters im Bereich des räumlichen Sehens, so können ähnliche 3D-Phänomene auftreten wie bei den mit konzentrischen Ringen versehenen Objekten. Typische Beispiele sind Windschutzscheiben im Gegenlicht von Scheinwerfern anderer Kraftfahrzeuge.

Vor diesem Hintergrund haben wir schließlich die bewusste Herstellung von Ringsystemen beschrieben, mit denen sich im Lichte einer Punktlichtquelle dreidimensionale Reflexfiguren herstellen lassen.

7 Anhang: Praktische Hinweise zur Herstellung von Reflexfiguren

Reflexfiguren bzw. Ritzbilder lassen sich auf einfache Weise mit einem Zirkel herstellen, wenn man den üblichen Schreibstift durch eine Metallspitze ersetzt. Das herzustellende Objekt, z. B. ein Würfel wird gepunktet auf die Platte eingezeichnet. Anschließend zieht man mit einem festen, der Größe des herzustellenden Objekts angemessenen Radius Ritzkreise um jeden der einzelnen Punkte. So entsteht das Objekt noch einmal aus Kreisen, deren Mittelpunkte auf den gepunkteten Begrenzungslinien des gezeichneten Objekts liegen.

Als reflektierende Platten eignen sich u. a. Metallplatten (Edelstahl, Aluminium), Glas-, Plexiglasscheiben. Aber auch mit Overhead- und anderen transparenten Folien haben wir gute Erfolge erzielt. Bei den Plexiglasscheiben und Folien ist darauf zu achten, dass die Ritzung nicht zu tief gerät, so dass ein Materialspan abgehoben wird. Dann sind die Flanken der Ritzung zu rau, und es kommt zu keiner spiegelnden, sondern nur zu einer diffusen Reflexion in alle Richtungen. Das erkennt man leicht daran, dass die Ritzungen weiß und nicht – wie es sein soll – spiegelnd erscheinen. Vielmehr sollte die Folie mit dem Reizstift nur mehr oder weniger stark »eingedrückt« werden. Mit einem nicht zu spitzen Zirkel oder dadurch, dass man die Zirkelspitze schräge über die Unterlage zieht, dürfte dies jedoch keine Schwierigkeit bereiten.

Literatur

- [1] H. J. SCHLICHTING: Der geheimnisvolle Blick.– Praxis der Naturwissenschaften ##### (Vol., Jahr, Seite)
- [2] H. J. SCHLICHTING: Das Schwert der Sonne – Alltägliche Reflexionen im Lichte eines einfachen optischen Phänomens. I. Lichtbahnen auf dem Wasser. – MNU **51** (1998) Nr. 7, 387– 397; dergl.: Das Schwert der Sonne – Alltägliche Reflexionen im Lichte eines einfachen optischen Phänomens. II. Lichtbahnen in alltäglichen Situationen. – MNU **52** (1999) Nr. 6, 330–336.
- [3] H. J. SCHLICHTING: Lichtkegel und Schattensphären. Ein optisches Alltagsphänomen aus physikalischer Sicht. – MNU **56** (2003) Nr. 6, 348–350.
- [4] P. KIRKPATRICK: A Binocular Illusion. – American Journal of Physics **22** (1954) No. 7, 493.
- [5] A. TAPKEN: Räumliches Sehen zwischen Physik und Physiologie. Ein Thema für einen kontextorientierten Physikunterricht. – Münster: Institut für Didaktik der Physik 2002.
- [6] M. RENUIS: Physikalische Untersuchungen von mechanisch hergestellten Hologrammen mit schulischen Mitteln. – Münster: Institut für Didaktik der Physik 2005.
- [7] L. R. GARDENER – W. T. PLUMMER: A mechanically generated hologram? – Applied Optics **31** (1992) 6585–6588.
- [8] J. EICHLER – L. DÜNKEL – O. GONÇALVES: Three-dimensional image construction by curved surface scratches. – Applied Optics **28** (2003) 5627–5633.
- [9] E. GARFIELD: ISI's »World Brain« by Gabriel Liebermann: The World's First Holographic Engraving. URL <http://www.garfield.library.upenn.edu/essays/v5p348y1981-82.pdf> – Aktualisierungsdatum: 29.06.2007.
- [10] H. H. WEIL: Improvements in advertising and like signs, UK Patent No. 37208/34 (1934).

Dr. H. JOACHIM SCHLICHTING, Universität Münster, Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster, schlichting@uni-muenster.de, ist Professor für Didaktik der Physik. Die physikalische und fachdidaktische Erschließung von Alltags- und Naturphänomenen gehört zu einem seiner Arbeitsgebiete. Zur Unterstützung der Belange der Didaktik der Physik und der Schulphysik ist er seit Jahren in Gremien der Deutschen Physikalischen Gesellschaft aktiv. Er war u. a. Leiter des Fachverbandes Didaktik der Physik. ■