Dieser Artikel erschien in etwas veränderter Fassung in 'Physik in unserer Zeit' **27** (1996), Seite 6-8

Der anamorphotische Kerzenleuchter

Christian Ucke und Hans-Joachim Schlichting

Ein Kerzenleuchter des bekannten dänischen Designhauses Georg Jensen weist einige bemerkenswerte optische Eigenschaften auf. Dieses ästhetisch ansprechende Objekt stellt ein Beispiel dafür dar, unter welch unterschiedlichen Aspekten Designer und Physiker denselben Gegenstand betrachten können.

Ein Halbzylinder aus poliertem Aluminium, in dessen Innerem eine Kerze brennt, ergibt den in der Abbildung 1 dargestellten Kerzenleuchter [1]. Der Architekt Jørgen Møller hat diesen exquisiten Leuchter unter rein ästhetischen Gesichtpunkten entwickelt. Ein Physiker vermag darin einige optische Gesetzmäßigkeiten zu entdecken und weitere Experimente damit anzustellen.

Abb.1: Ein Kerzenleuchter, der aus einem hochverspiegelten Halbzylinder besteht, ergibt reizvolle, physikalische Anregungen.

Der Abstand der Kerze von der inneren Wandung des Leuchters ist etwas kleiner als $2 \cdot r$ (r = innerer Krümmungsradius des Leuchters) und deutlich größer als r. Daraus ergibt sich gemäß den Abbildungsgesetzen für einen Hohlspiegel für die Kerze bzw. Kerzenflamme ein leicht vergrößertes Bild. Dies ist in der Abbildung 1 klar zu erkennen. Hier ist in klassischer Weise die übliche Abbildung aus physikalischen Büchern verwirklicht, bei der immer ein Schnitt in einer Ebene durch einen sonst sphärisch gedachten Hohlspiegel gezeigt ist. Das Bild ist seitenverkehrt, was bei einem symmetrischen Objekt wie einer runden Kerze natürlich nicht zu erkennen ist. Bei einem sphärischen Hohlspiegel würde es noch auf dem Kopf stehen.

Bei herausgenommener Kerze kann man den Innenteil des Leuchters ganz passabel als Zerrspiegel benutzen, ähnlich wie bei Spiegelkabinetten. In diesem Fall befindet sich das Gesicht ein Stück außerhalb der doppelten Brennweite. Man sieht sich seitenverkehrt und verkleinert. Das Gesicht wirkt asketisch-hager, wenn die Achse des Leuchters parallel zur Körperachse ist.

Wird der Leuchter von - parallelem - Sonnenlicht oder künstlichem Licht bestrahlt und steht er auf einer ebenen Unterlage, ergibt sich eine Figur, die im unteren Teil der Abbildung 2 zu sehen. Noch deutlicher wird das sichtbar, wenn man den Leuchter ohne Kerze auf den Kopf stellt. Es ist kein scharfer Brennpunkt, sondern die sogenannte

Kaustik eines Spiegels mit halbkreisförmigem Querschnitt. Es ergeben sich sogar Mehrfachreflexionen der am Rand einfallenden Strahlen. Diese Mehrfachreflexionen bewirken die Erscheinung der überlagerten und gekrümmten Lichtränder in der Figur. Man kann sich leicht überlegen, daß Mehrfachreflexionen dann nicht mehr vorkommen, wenn der Hohlspiegelquerschnitt ein Viertel eines Kreises ausmacht.

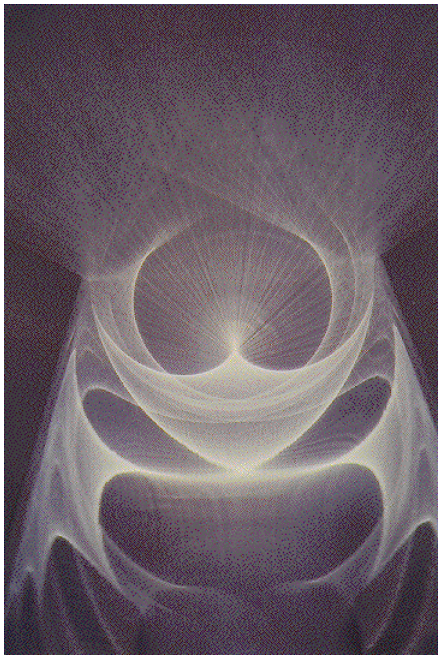


Abb.2: Einfallendes Sonnenlicht erzeugt bei dem Hohlspiegel des Wandleuchters eine mehrfach verschachtelte Kaustik.

Darstellungen, die dann unverzerrt erscheinen, wenn man sie in einem zylindrischen Spiegel betrachtet, heißen Zylinderanamorphosen. Sie sind schon seit dem 17. Jahrhundert bekannt. Dazu existiert eine ausführliche Literatur [2, 3]. Auch heute noch findet man immer wieder solche anamorphotischen Bilder. Vom Titelbild der amerikanischen Zeitschrift 'The Physics Teacher' stammt die Abbildung 3 [4]. Stellt man einen spiegelnden, ganzen Zylinder mit dem aus der Zeichnung ersichtlichen Durchmesser senkrecht auf die Zeichnung, sieht man den bekannten Physiker beim schrägen Blick in den Spiegel unverzerrt. Wer diese Anamorphose optimieren will, kann sich ein außen verchromtes und damit gut spiegelndes Tauchrohr für Siphons entsprechenden Durchmessers beim Installationsbedarf kaufen und von der Vorlage eine geeignet vergrößerte Kopie machen. Diese Art der anamorphotischen Betrachtung ist die übliche, und man kann sie auch mit der verspiegelten ***Außen***wand des Kerzenleuchters durchführen. Allerdings nicht sehr gut, da die Spiegelqualität nicht optimal ist und der Durchmesser des Leuchters viel größer ist, als der des gezeichneten Bezugskreises. Aber so kritisch ist dieser Durchmesser nicht.

Dieselbe Zeichnung kann man sich auch mit der verspiegelten ***Innen***wand des umgekehrt aufgestellten Leuchters ansehen. Durch Probieren findet man den optimalen Abstand für die Position des Bildes zum Leuchter. Einstein erscheint wiederum - relativ - unverzerrt und außerdem seitenverkehrt gegenüber dem vorherigen Fall. Damit das deutlicher sichtbar wird, ist ein schwarzer Kreis einseitig eingezeichnet. Das seitenverkehrte Bild ergibt sich natürlich aus dem Abbildungsgesetzen bei einem Hohlspiegel, wenn das Objekt außerhalb der doppelten Brennweite liegt. Darüberhinaus scheint das Bild plötzlich senkrecht zur Papierebene zu stehen.

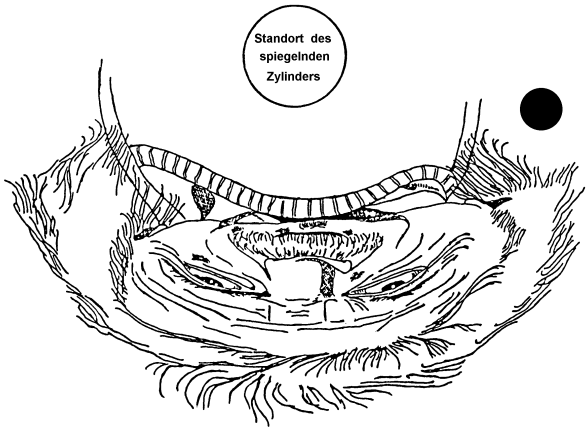


Abb.3: Einstein - anamorphotisch verzerrt.

Man muß schon bemerken, daß die nicht optimal auf den Innenradius des Leuchters

Abb. 4: Einstein im Wölb- und im Hohlspiegel. Die im zylindrischen Hohlspiegel betrachtete Zeichnung scheint senkrecht zur Zeichenebene zu stehen.

abgestimmte anamorphotische Zeichnung sowie die schon erwähnten Mehrfachreflexionen am Rand des Leuchters den visuellen Genuß beeinträchtigen. Dafür ist diese Art der Zylinderanamorphose ziemlich selten. In neuerer Zeit wird sie von Miles [5] beschrieben und mit einem attraktiven Bild von Marylin Monroe illustriert. Von Kircher [6] wird sie allerdings schon im 17. Jahrhundert erwähnt. Von ihm stammt die Abbildung 5, aus der deutlich der Effekt des scheinbar Senkrechtstehens des Bildes zu ersehen ist, auch wenn die Konstruktion strengen optischen Regeln nicht standhält.

Man kann sich mit etwas Geschick solche zylindrischen Hohl- und Wölbspiegel aus hochpolierten Blechen bzw. Spiegelfolien selbst bauen. Eine Schwierigkeit liegt darin, Bleche gleichmäßig genug auf den gewünschten Krümmungsradius zu biegen; sie sind dann allerdings selbststabil. Spiegelfolien sind verhältnismäßig billig in Dekorationsgeschäften zu erhalten. Sie sind leicht zu bearbeiten, dafür muß man sie eventuell mit einem Halterahmen stabilisieren.

Literatur bzw. Quellen:

[1] Design Jørgen Møller für die Firma Royal Copenhagen/Georg Jensen. Zu beziehen über einschlägige Einrichtungsgeschäfte. Bezeichnung: Wandleuchter; Art. Nr. 3 586 534; DM 138.-. Von derselben Firma gibt es eine Tischuhr (Art.Nr. 3587282; DM 155.-), die ebenfalls einen spiegelnden Halbzylinder als Halterung benutzt.

[2] Baltrusaitis, Jurgis: Anamorphoses ou magie artificielle des effets merveilleux, Olivier Perrin Éditeur, Paris 1969

[3] Elffers, Joost: Anamorphosen, ein Spiel mit der Wahrnehmung, dem Schein und der Wirklichkeit, Köln 1981

[4] The Physics Teacher **19** (1981), Titelbild Septemberausgabe

[5] Miles, Clifford: Mapping Transform Showing Mirror Equivalence In Concave and Convex Reflectors, American Journal of Physics **42** (1974), 614-616

[6] Kircher, A.: Ars Magna lucis et umbrae, Rom, 1646

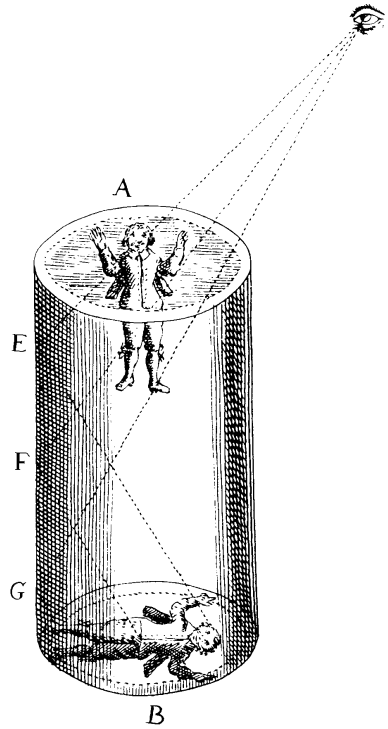


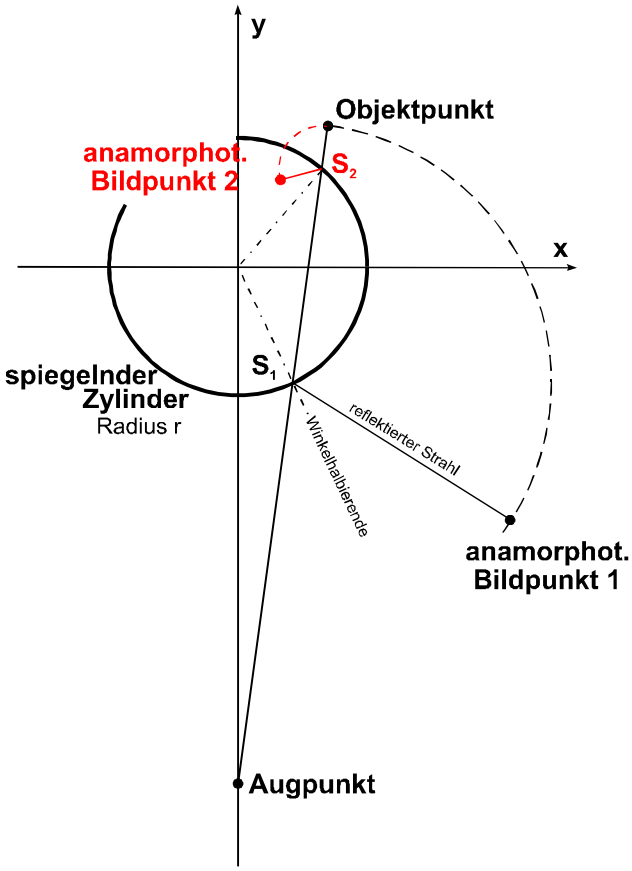
Abb.5: Eine im zylindrischen Hohlspiegel betrachtete Zeichnung scheint senkrecht zur Zeichenebene zu stehen. Das wurde schon im 17. Jahrhundert beschrieben.

Informationskasten

Anamorphotische Abbildung

Es ist eine lehrreiche Programmierungs- und Physikübung, von einer vorliegenden Zeichnung bzw. Bild mittels Rechner ein anamorphotisches Äquivalent errechnen zu lassen. Es sind nur relativ elementare physikalische, mathematische und Programmierkenntnisse erforderlich. Diese Übung wird für Spiegelungen an Außenzylindern (=Wölbspiegel) immer wieder neu vollzogen und offenbar häufig publiziert, ohne daß die Autoren alle voneinander gewußt haben. Aber das ist ja auch nichts neues und auch einem der Autoren dieses Beitrages (C.U.) ist genau das passiert. Der Platz in diesem Informationskasten reicht allerdings nicht, die Ableitung der anamorphotischen Abbildung auszubreiten.

Für anamorphotische Spiegelungen an Innenzylindern (=Hohlspiegel) ist uns keine Arbeit bekannt, die sich explizit damit befaßt. Rechnerisch ist das aber kein neuartiges Problem, da man bei den entsprechenden Ableitungen statt des Wölbspiegels nur einen Hohlspiegel einführen muß.



Die grundsätzliche Konstruktion für Wölb- und Hohlspiegel ist aus der Zeichnung ersichtlich. Der spiegelnde Zylinder mit den Konstruktionsstrahlen ist in die Zeichenebene projiziert, da die übliche Konstruktion nicht von der Höhe h des Augpunktes abhängt. Vom Augpunkt sieht man auf den spiegelnden Zylinder. Die Verbindungsgerade zwischen Augpunkt und Objektpunkt schneidet den Zylinderkreis in zwei Punkten S_1 (für Wölbspiegel) und S_2 (für Hohlspiegel). Unter Beachtung des Reflexionsgesetzes konstruiert man den Spiegelstrahl. Den anamorphotischen Bildpunkt erhält man dann als Schnittpunkt eines Kreises mit dem Radius des Abstandes Schnittpunkt S - Objektpunkt und dem Mittelpunkt in S. Diese Konstruktion Punkt für Punkt des Objekts durchgeführt ergibt das anamorphotische Bild.

Hier seien einige Arbeiten zitiert, in denen der Interessierte mehr oder weniger genau die entsprechende Physik, Mathematik und und z.T. Programme sowie damit verbundene Probleme nachlesen kann:

Masters, R.: Computer Synthesis of Anamorphic Projection Systems, Computer Graphics and Art, February 1978, 10-19
Mathematisches Mosaik, Cité des Sciences et de l'industrie, Editeur ADECUM-IREM, Université d'Orléans, Paris 1986
Ucke, C.: Anamorphotische Konstruktionen. In: Kuhn, W. (Hg.): Vorträge der Tagung des Fachausschusses Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Gießen 1986, 607-610
Bürger, W.: Zylinder-Anamorphosen, Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht **45** (1993), 468-471

Auf der nächsten Seite ist das Titelbild der Januar-Ausgabe 1996 von 'Physik in unserer Zeit' wiedergegeben.

Dieser Artikel erschien in etwas veränderter Fassung in 'Physik in unserer Zeit' **27** (1996), Seite 6-8