

Ein verformbarer Hohl-Wölb-Spiegel

Georg Maier

Einleitung

Im Zusammenhang mit einem Kurs über Optik am Goetheanum im Jahre 1972 ist ein Spiegel entstanden, dessen Krümmung durch Unter- beziehungsweise Überdruck hinter einer metallbedampften Membran eingestellt werden kann. Sein Durchmesser von 63 cm macht ihn bereits geeignet, Phänomene der Bildverwandlung im Unterricht aufzuzeigen. Der seine beweglichen Augen gebrauchende Mensch kann sich vor ihm schreitend bewegen – er ist nicht bloss auf ein Hin- und Herneigen des Kopfes eingeschränkt, wenn er Veränderungen der Spiegelbilder studieren möchte. Es ist eine stufenlose Verwandlung vom verkleinernden Wölb-(Konvex)Spiegel zum Hohlspiegel durchführbar, wobei das Verhältnis des Krümmungsradius zum Auditorium ziemlich frei zu verändern ist.

Bereits das einfache Spiegelbild im ebenen Spiegel steht bekanntlich nicht mehr in der uns gewohnten Beziehung zu den greifbaren Körpern in unserer unmittelbaren, räumlichen Umgebung. Sobald die spiegelnde Fläche gekrümmt wird, verzerren sich die Spiegelbilder. Zudem wird aber auch ein weiterer Zusammenhang des räumlichen Sehens durchbrochen: Die durch das zweiäugige Blicken und die Akkommodation dumpf erfasste räumliche Tiefe stimmt nun nicht mehr in gewohnter Weise mit den Grössenverhältnissen innerhalb der Bildfläche überein, welche ja ein perspektivisches Entfernungsmass für das einäugige Sehen begründen. Die Auflösung dieser gewohnten Beziehung regt aber gerade dazu an, konkret die Erfahrung der Einstellung des Blickes durch die Tätigkeit der Augenmuskulatur und ihre Beziehung zu den Bildern auf der Netzhaut zu studieren. *Rudolf Steiner* (1919) macht darauf aufmerksam, dass der anatomischen Gliederung des Auges auch eine Gliederung der Sehtätigkeit entspricht. Der vorliegende Beitrag mag als Versuch verstanden werden, einen Aspekt dieser Gliederung durch die Anwendung einer wenig anspruchsvollen Vorrichtung der Erfahrung zugänglich zu machen.

Herstellung des Spiegels, technische Eigenschaften

Dünne, aluminiumbedampfte Folien sind seit geraumer Zeit verfügbar. Sie werden z. B. in der Tieftemperaturtechnik und in der Raumfahrt als «Strahlungsisolation» verwendet, indem durch Aufbringen von mehreren Lagen ein Strahlungswiderstand aufgebaut wird. Im Handel finden sich «Astronauten-Rettungsdecken», deren Isolationswirkung gegen Unterkühlung etwa bei Unfällen im Hochgebirge genutzt werden kann. Mehr zu Dekorationszwecken wird eine «Spiegelfolie» auf einem dickeren, sehr glatten Polyesterfilm angeboten. Spannt man nun eine solche Folie über eine einseitig geschlossene, kreiszylindrische Dose, so ergibt sich die Möglichkeit, durch Ein- und Auspumpen von Luft eine konvexe oder konkave Krümmung herbeizuführen. Der hier beschriebene Spiegel besteht aus zwei aufeinander geklebten Fahrradfelgen, über die eine vorgespannte Spiegelfolie geklebt wurde. Die Rückwand ist aus 1 mm starkem Aluminiumblech. Der Spiegel kann selbstverständlich aber auch ähnlich wie das Trommelfell einer Pauke über den Dosenrand gespannt gehalten werden. Da nur geringe Druckdifferenzen (je nach Folie maximal zwischen 20 und 50 mm Ws) auftreten, ergeben sich keine Schwierigkeiten in der

Abdichtung. Bei *M. Martin*, Technikum Windisch (Aargau, Schweiz) findet sich ein noch früher konzipierter Hohlspiegel nach diesem Prinzip mit einem Durchmesser von 1 m.

Zur Belüftung und zum Auspumpen können beispielsweise zwei Gummi-Handpumpen mit Ventilen dienen. Die Wölbungsmöglichkeiten sind vom Material her begrenzt. Soll der Spiegel, wie unten beschrieben, mit veränderlicher Krümmung betrieben werden, so ist man darauf angewiesen, die Folie nicht zu überdehnen, damit sie auch beim Fortfallen einer Druckdifferenz wiederum eine glatte, ebene Fläche bildet. Der hier beschriebene Spiegel lässt sich fast bis zu einer Brennweite von 1 m abpumpen, ohne eine bleibende Dehnung des Materials zu erleiden. Die Gestalt der gewölbten Fläche ist eher rotationselliptisch als sphärisch, die Krümmung nimmt nach der Mitte hin zu. Allerdings gelingt es nicht, die Rotationssymmetrie bis zum Rand vollkommen zu machen. Dies macht sich bekanntlich dann bemerkbar, wenn ein reelles Bild an den Ort unserer Augen projiziert wird und die ganze Spiegelfläche im Idealfall von einheitlicher Helligkeit beziehungsweise Färbung erscheinen würde. Wir haben also keine für Bildprojektionen, für optische Abbildungen der «objektiven» Art geeignete Vorrichtung, sondern ein Hilfsmittel für die unten zu beschreibenden subjektiven Versuche bereitgestellt. Wird die Folie nicht durch Klebung endgültig eingespannt, so lässt sich jeweils noch eine bessere Annäherung an das Ideal der Rotationssymmetrie einstellen. Der Spiegel ist dann allerdings weniger handlich und seine Herstellung erfordert auch einen grösseren konstruktiven Aufwand. Ungleichmässigkeiten in Mylarfolien, wie Knitterstellen, lassen sich durch Anblasen des gespannten Materials mit einem Heißlüfter oder Haartrockner mildern. Im übrigen nimmt der Spiegel mit zunehmender Spannung ein immer glatteres Aussehen an.

Verwandlungen der Bildperspektive

Die natürliche Ausgangslage der spiegelnden Membran ergibt den ebenen Spiegel. Bevor die Verwandlungen ins Konvexe beziehungsweise Konkave hinein betrachtet werden, sei noch kurz an die bekannten Eigenschaften ebener Spiegel erinnert.

Von einer senkrecht stehenden Spiegelfläche sagt man, sie würde ein *seitenverkehrtes* Bild der Welt liefern. Es ist uns nicht immer gegenwärtig, dass im Spiegelbild ja unser rechter Arm rechts, aber auch, wie gewohnt, die Füße unten erscheinen. Ebenso sehen wir im Spiegel die anderen, seiner Fläche gegenüberstehenden Personen. Allerdings würden wir bei diesen den rechten Arm von links her geboten erhalten, wenn wir ihnen körperlich gegenüber stünden. Der Spiegel kehrt so die Blickrichtung um, *ohne* dass wir, wie sonst, eine *Wendung* auszuführen brauchen. Der Spiegel an der Wand wirkt wie ein Fenster in einen benachbarten Raum. Indem wir uns vor diesem «Durchblick» hin und her bewegen, können wir schräg in ihn hineinblicken und wir bekommen so auch nach den Seiten hin mehr zu sehen. Dabei verwandeln sich die gesehenen perspektivischen Bilder derart, dass wir, wie gewohnt, den Eindruck einer ruhenden, uns gegenübergestellten Körperwelt haben können. Erst wenn wir uns in der Bewegung der eigenen Glieder nach dem im Spiegelbild Gesehenen richten möchten, wird uns der Bruch zwischen Sehraum und Körperbewegung ganz deutlich. (Um dies an sich selber zu erproben, kann man beispielsweise auf einer Wandtafel fünf Punkte als Ecken eines zu zeichnenden Fünfsternes vorgeben und dann die Verbindungslinien nur unter Kontrolle des im Spiegelbild verfolgten Vorgangs ausziehen.)