

Der **Mond** steht auf dem **Kopf**

Eine andere Sicht auf Auge und Fernrohr

Bereits mit einem einzelnen optischen Glas oder mit zwei wassergefüllten Glaskugeln lassen sich ferne Objekte vergrößert betrachten. Dieses »teleskopische Sehen« wurde wahrscheinlich schon vor der Erfindung des Linsenfernrohrs praktiziert. Indizien hierfür liefert ein Gemälde von Adam Elsheimer (1578 – 1610), das den Mond auf dem Kopf stehend zeigt. War es ein Künstler, der uns erstmals die Weiten des Kosmos nahebrachte?

Von Martin Wenzel und Wilhelm Seggewiß

Es gibt zahlreiche Berichte über teleskopische Systeme aus der Zeit vor dem 17. Jahrhundert. Einige dieser Instrumente besaßen nur ein einziges optisches Element. Beispielsweise befand sich auf dem Leuchtturm von Pharos, einem der sieben antiken

Weltwunder, wohl ein großer Metallspiegel, der sich ohne Okular wie ein Teleskop nutzen ließ. Das vergrößerte Betrachten ferner Objekte mit Linsen beschrieb der Franziskaner Roger Bacon bereits im Jahr 1267. Und aus dem 16. Jahrhundert gibt es viele Berichte, welche die Vergrößerung entfernter Gegenstände zum Thema hatten – meist durch zwei Gläser, Linsen oder Spiegel. Zu den Autoren gehören der Mathematiker und Wissenschaftler Leonard Digges (1520 – 1558), der Mathematiker William Bourne (1535 – 1582), der Arzt und Universalgelehrte Giambattista della Porta (1535 – 1615) sowie mindestens fünf weitere. Möglicherweise kannte auch Leonardo da Vinci (1452 – 1519) die Methode des teleskopischen Sehens mit nur einer Linse. Der Jesuit Ioanne (Jan) David stellte es in einem 1610 erschienenen Buch als Stich dar, um es zu verspotten.

Einige dieser frühen Überlieferungen sind derart unpräzise, dass sie angezweifelt werden. Doch ein Kunstwerk aus dem 17. Jahrhundert liefert einen konkreten Hinweis: Das um 1608 von Adam Elsheimer fertiggestellte Gemälde »Flucht nach

Ägypten« belegt, dass teleskopisches Sehen ohne Fernrohr Anwendung fand. In seinem Bild malte er nicht nur die Milchstraße aus mehr als 1200 Einzelsternen, sondern auch einen vergrößerten Mond – auf dem Kopf stehend! Doch bevor wir uns der besonderen Sicht dieses Künstlers auf den Kosmos zuwenden, betrachten wir näher, wie frühe Linsen beschaffen waren und auf welche Weise das teleskopische Sehen mit nur einem optischen Element oder mit zwei unterschiedlich großen wassergefüllten Glaskugeln möglich ist.

Von der Brille zum Fernrohr

Im Mittelalter gelang es, mit der Erfindung der Brille die häufigste Augenkrankheit zu behandeln: die Alterssichtigkeit. Sie ist die langsam nachlassende Fähigkeit, das Auge von Ferne auf Nähe scharf einstellen zu können. Diese Fähigkeit wird auch als Akkommodation bezeichnet. Die ersten, sehr kostbaren Lesehilfen waren optisch geschliffene Edelsteine. Entsprechende Funde gelangen dem Archäologen Heinrich Schliemann im 19. Jahrhundert in Troja. In der Geschichte von Brillen und Fern-

IN KÜRZE

- Teleskopisches Sehen ist ohne Okular möglich: Junge Menschen können durch ein Objektiv mit Akkommodation besser sehen als mit einem sphärischen Okular.
- Der Erfolg des Teleskops beruhte nicht auf der Kombination von Linsen, sondern auf der Einführung einer Blende: Sie deckt die unscharfen äußeren Bereiche einer Linse ab.
- Adam Elsheimer malte vor der Erfindung des Fernrohrs Details des Himmels, die nur teleskopisch zu sehen sind.



AKG Images

In seinem um 1608 entstandenen Werk »Flucht nach Ägypten« malte Adam Elsheimer die Milchstraße mit rund 1200 Sternen. Woher wusste er, dass sie kein Nebel ist? Eine detaillierte Untersuchung des Gemäldes zeigt zudem, dass hier der Mond auf dem Kopf steht – wie beim Blick durch ein astronomisches Fernrohr. Das Gemälde befindet sich in der Alten Pinakothek in München.

rohren dürfen wir jedoch nicht nur nach Edelsteinlinsen suchen, denn ein damals alltägliches Produkt erlangte eine ebenso große Bedeutung.

Seit dem 1. Jahrhundert v. Chr. konnten Hohlkugeln aus heißem Glas geblasen werden. Wird eine solche Kugel mit Wasser gefüllt, entsteht ein optisch interessantes Alltagsobjekt, das einst unter Handwerkern verbreitet war: die Schusterkugel. Bei einem Durchmesser von 16 Zentimetern ist sie optisch gesehen eine sphärische Linse mit einer Brechkraft von rund acht Dioptrien. Eine Dioptrie (1 dpt) ist der Kehrwert der Brennweite in Metern. So weist ein optisches Glas mit 1 dpt eine Brennweite von einem Meter auf, eines von 2 dpt von einem halben Meter.

Die Schusterkugel bündelt beispielsweise das von einem Fenster oder einer Kerze kommende Licht und erzeugt so eine punktuell hellere Beleuchtung (siehe Bilder S. 38 unten). Auf diese Weise wurde sie beim ersten Mikroskop genutzt. Ebenso lässt sich eine Kerzenflamme vergrößern und auf dem Kopf stehend an eine Wand projizieren oder ferne Gegenstände

auf dem Kopf stehend verkleinert betrachten. In der Nähe vergrößert sie. Zitate der römischen Gelehrten Lucius Annaeus Seneca (1 – 65 n. Chr.) und Plinius Maior (23 – 79 n. Chr.) lassen die Vermutung zu, dass alterssichtige Menschen sie damals schon als Lesehilfe nutzen konnten. Leider war diese Kugel vor 1604 weniger von Interesse für die Wissenschaft – sondern eher für Handwerker, für Ärzte bei der Urinuntersuchung sowie für Gaukler und Illusionisten, die sich auch »Zauberer« nannten. Der Astronom Johannes Kepler führte mit der Schusterkugel wissenschaftliche Experimente durch, die in den Jahren 1604 bis 1611 die Grundlage der modernen Optik wurden.

Frühe optische Gläser

Doch was führte am Ende des 13. Jahrhunderts dazu, dass es innerhalb kurzer Zeit in ganz Europa Brillen gab? Wie gelang es, zwei gleiche Linsen für beide Augen herzustellen? Das Verfahren musste preiswert und gut sein, da niemand mehr nur ein Auge mit Monokel korrigierte. Der Optikingenieur und Autor Rolf Willach

fand eine Antwort: Aus einer noch heißen, frisch geblasenen Glaskugel mit einem Durchmesser von etwa 25 Zentimetern wurden durch Kälte kreisrunde Scheiben herausgebrochen und diese innen, auf der konkaven Seite glatt geschliffen (siehe Bild S. 38 oben). So erhielt man viele plankonvexe Brillengläser mit einer Brechkraft von etwa vier Dioptrien – eine für damalige Verhältnisse gute Lesebrille. Das Verfahren fand für mehr als 200 Jahre weite Verbreitung. Für ein Teleskop sollte eine Objektivlinse eine Brennweite von etwa einem Meter aufweisen.

Entsprechend große Kugeln wurden damals jedoch nicht geblasen, und die frühen Brillengläser eigneten sich nicht

Die aus der Oberfläche einer frisch geblasenen Glaskugel herausgebrochenen Segmente – hier als Kreise angedeutet – wurden im Mittelalter zur Herstellung von Sehhilfen genutzt.



dreamstime / Dianadimitrova (M)

für ein Teleskop. Einen Anstoß für die Weiterentwicklung optischer Gläser gab die damalige Waffentechnik: Mit dem Aufkommen schwerer Geschütze im 15. Jahrhundert gab es unterschiedlich große Kanonenkugeln. Sie eigneten sich als Matrizen für hohle, sphärische Schleifschalen, in denen Brillengläser geschliffen wurden. Nun entwickelte sich ein großer Markt für Lesebrillen, deren Brechkraft damals wie heute meist zwischen +1 und +4 Dioptrien lag. Die flachsten Schalen mit einem Krümmungsradius von 50 Zentimetern wurden für Brillengläser mit 1 dpt benötigt. Zu jener Zeit gab es erste konkave Gläser für Kurzsichtige. Einige Kurzsichtige erhielten aber auch konvexe Gläser, um scharf zu sehen. Wie war das möglich?

Konvexe Gläser als Lesehilfe oder als Sehhilfe für Übersichtige weisen positive Brennweiten und Dioptrienwerte auf, während konkave Gläser für Kurzsichtige negative Brennweiten und Dioptrienwerte haben. Schwache konvexe Brillengläser lassen sich für die Ferne bei allen Arten der Fehlsichtigkeit nutzen, wenn man sie nur weit genug vor dem Auge platziert.

Eine mit Wasser gefüllte Glaskugel projiziert das Abbild einer Kerze an eine Wand – auf dem Kopf stehend. Je näher die Kerze an die »Schusterkugel« herangeführt wird, um so größer und lichtschwächer wird die Projektion.

Beispielsweise liefert ein Brillenglas mit einer Brechkraft von +2,5 dpt für einen Kurzsichtigen mit –5 dpt ein scharfes Bild in der Ferne, wenn es 60 Zentimeter vor das Auge gehalten wird. Das Bild ist dann zweifach vergrößert, es steht jedoch auf dem Kopf. Dies beschrieb Johannes Kepler im Lehrsatz 78 seines im Jahr 1611 erschienenen Werks »Dioptrice« – es ist auch das Grundprinzip des keplerschen Fernrohrs.

Die Blende macht das Teleskop

Wird ein schwaches Leseglas von 1 dpt mit einem seltenen, starken konkaven Glas von –8 dpt kombiniert, so entsteht ein Teleskop, das achtfach vergrößert und ein aufrechtes Bild erzeugt. Bei dieser Vergrößerung stören die optischen Fehler von Brillengläsern jedoch derart, dass die Abbildung unscharf wird. Zudem war die Qualität dieser Gläser damals sehr unterschiedlich: Nur wenige eigneten sich für Fernrohre. Dies erkannte auch der niederländische Brillenmacher Hans Lipperhey.

Die erste schriftliche Bezeugung eines leistungsfähigen Teleskops ist das am

25. September 1608 von Lipperhey beantragte Patent. Obwohl sein Gerät hervorragende optische Eigenschaften aufwies, wurde sein Gesuch abgelehnt. Die Herstellung war so einfach, dass es damals bereits Nachbauten gab. Die große Erfindung von Lipperhey, die den Weg für astronomische Beobachtungen ebnete, war gemäß Rolf Willach nicht die Kombination der Linsen. Erst das Einsetzen einer Blende mit einem Durchmesser von 10 bis 15 Millimetern vor dem Objektiv verbesserte die Bildqualität derart, dass das Teleskop ein hochwertiges optisches Instrument wurde (siehe Bild rechts oben). Die Verwendung von Blenden und der damit einhergehende Lichtverlust erklären auch, warum Galileo Galilei den Orionnebel Messier 42 nicht sah (siehe SuW 11/2010, S. 32).

Schon im Jahr 1604 beschrieb Johannes Kepler den Wert von Blenden im Fall sphärischer Linsenoberflächen sowie der Regenbogenhaut (Iris) als Blende im Auge. Eines seiner vielen Verdienste ist die Erkenntnis, dass das Auge nicht wie eine Lochkamera funktioniert, wie andere vor



Kai Schneider, Augenklinik Petrisberg



Dieser als Bastelsatz erhältliche Nachbau des Teleskops von Galileo Galilei lässt eine Blende vor dem Objektiv erkennen. Sie schattet randnah einfallendes Licht ab und verbessert auf diese Weise die Bildqualität.

Christina Hof

ihm vermuteten. Die optischen Elemente unserer Augen haben eines mit alten Teleskoplinse gemein: Im Zentrum bilden sie gut ab, zum Randbereich hin jedoch schlechter. Die Regenbogenhaut, die unsere Augenfarbe bestimmt, fungiert als Blende und erfüllt zwei Aufgaben. Erstens schützt sie das innere Auge vor zu viel Licht. Wichtiger für unsere Betrachtung ist aber ihre zweite Funktion: Bei Akkommodation und ausreichender Helligkeit verbessert sie die Bildqualität wesentlich, da sie sich verengt und so die optisch minderwertigen peripheren Anteile der Augenoptik abblendet.

Heutzutage erhältliche Kaufhausteleskope mit einem angeblichen Objektivdurchmesser von 50 Millimetern und einem Öffnungsverhältnis von $f/10$ besitzen oft versteckte Blenden: Ihre Objektive sind keine zweilinsigen Achromate, sondern Einzellinsen. Um ihre Abbildungsqualität zu verbessern, werden direkt hinter dem Objektiv Blenden mit einem Durchmesser von 23 bis 35 Millimetern eingebaut, so dass es sich effektiv um Optiken mit

Öffnungen von 23 bis 35 Millimetern und Öffnungsverhältnissen von $f/15$ bis $f/22$ handelt. Die Konstrukteure historischer Fernrohre konnten erst dann auf die Blenden verzichten, als keine Brillengläser mehr eingesetzt wurden – sondern, wie wir nun sehen werden, asphärische Linsen mit langen Brennweiten.

Kepler und Galilei

Bereits Archimedes (287 – 212 v. Chr.) und einige seiner Zeitgenossen berechneten, dass ein Brennspeigel nicht sphärisch sondern parabolisch geformt sein sollte. Trotzdem galten der Kreis und die Kugel seit der Antike als physikalisches Ideal sowie als Grundlage von Weltraum und Auge. Im Jahr 1604 überwand Kepler dieses Dogma der Physik und fand heraus, dass alle optischen Teile des Auges und höherwertige optische Gläser asphärisch sein sollen. »Asphärisch« bezeichnet mathematisch definierte Rundungen, die von der Kreisform abweichen.

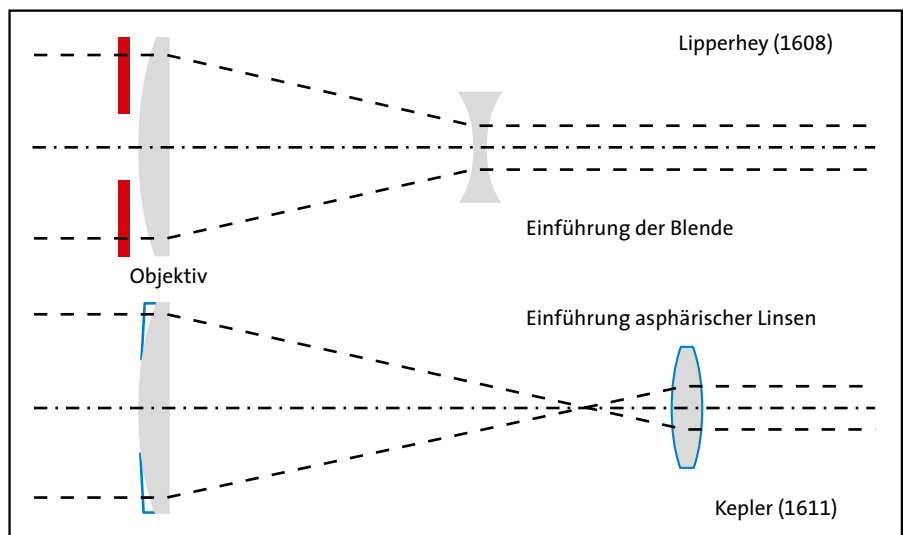
Nachdem Kepler die Optik vom falschen Ideal der Sphären befreit hatte, ge-

lang es ihm in seinem 1609 erschienenen Werk »Astronomia Nova«, auch die Astronomie vom Joch der idealen Kugelschalen zu befreien und damit erst zu beweisen, dass sie eine mathematisch exakte Wissenschaft ist. Kepler revolutionierte die Optik mit seinen herausragenden Büchern »Paralipomena« und »Dioptrice«, die 1604 beziehungsweise 1611 erschienen. Er verstand und beschrieb als Erster:

- die optische Funktion des gesunden Auges, seiner optischen Fehler und die Funktion von Brillen,
- die Kombination von Linsen oder Spiegeln unterschiedlicher Geometrie zu Teleskopen unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Auges,
- die Notwendigkeit, dass optisch hochwertigere Linsen asphärisch sein müssen.

Keplers Ausführungen über die Optik sind schwer zu lesen, und schon viele seiner Zeitgenossen verstanden sie nicht. So schrieb ihm der Theologe und Mediziner Johannes Papius im Jahr 1606: »Mir ist in meinem ganzen Leben ... nichts ebenso Schweres vorgekommen. Opfern Sie doch Ihrem langjährigen, dem Greisenalter sich nähernden Freunde [er war damals 48 Jahre alt] ein paar günstige Stunden ... Fast bei jedem Ihrer Lehrsätze bin ich im Zweifel, ob ich auch nur den kleinsten Teil Ihrer Darlegung begriffen habe.« Einer der wenigen, die Keplers komplizierte Rechnungen verstanden, war der Jesuit Christoph

Das von Hans Lipperhey erfundene und von Galileo Galilei genutzte Linsenteleskop (oben) bestand aus einer sphärischen Sammellinse und einer bikonkaven Zerstreuungslinse mit ebenfalls sphärischen Oberflächen. Die Abbildungsqualität ließ sich durch eine Blende (rot) verbessern. Den entscheidenden Schritt erbrachte jedoch die von Johannes Kepler erdachte Bauweise (unten). Hierbei weichen die Oberflächen der Linsen von der Kugelform ab (blau).



Suw-Grafik



Die Fähigkeit, die Augenlinse von Fern- auf Nahsicht anzupassen, ermöglicht es, durch ein Objektiv wie durch ein keplersches Fernrohr zu sehen. Zum Anpassen wird der Daumen vor das fixierende Auge gehalten.

Scheiner, der 1613 ein Fernrohr mit zwei konvexen Linsen baute. Die Richtigkeit der Theorien Keplers bestätigte er durch Untersuchungen an Tieraugen. Zudem beschrieb er als Erster die Akkommodation als eine Änderung des Krümmungsradius der Augenlinse.

Galileo Galilei sagte im Jahr 1614, er finde Keplers Erklärung für die optische Wirkung einer Vereinigung beider Arten von Linsen in einem Teleskop so dunkel, dass »der Verfasser sie selbst nicht verstanden haben werde«. Indes hat er selbst niemals Rechnungen zum Teleskop veröffentlicht, wahrscheinlich kannte er sie nicht. Seine wissenschaftliche Leistung bei der Entwicklung des Teleskops wird oft überbewertet. Der Erfolg seiner Fernrohre

beruhte auf der ausgezeichneten Qualität der norditalienischen Gläser und dem handwerklichen Können der Glasschleifer.

Um die Saturnringe in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erkennen zu können, benutzte der niederländische Physiker und Astronom Christian Huygens im Jahr 1656 ein sieben Meter langes Teleskop und später mit Giovanni Domenico Cassini bis zu 40 Meter lange Teleskope. Zudem gab es »Luftfernrohre«: getrennt fixierte Okulare und Objektive ohne ein verbindendes Rohr. Mit der Etablierung der Spiegelteleskope im 17. Jahrhundert und der Entwicklung der zweilinsigen Linsenobjektive (Achromaten) im 18. Jahrhundert ließen sich hohe Vergrößerungen mit kürzeren Instrumenten erreichen.

Mit Auge und Linse teleskopisch sehen

Das menschliche Auge besitzt die Fähigkeit zu akkomodieren: Es kann von Ferne auf Nähe scharf einstellen. Beim Nahsehen wird die Mittendicke der Linse im Auge größer, die Linse konvexer. Kurzsichtige Augen sehen mit und ohne Akkommodation nur in der Nähe scharf – sie sind oft zu lang gebaut. Übersichtige Augen können nur mit Akkommodation in der

Ferne und Nähe scharf sehen; sie sind oft zu kurz gebaut. Durch Akkommodation können junge Menschen die Augenlinse – bei unveränderter optischer Qualität – dicker werden lassen. Diese Fähigkeit geht im Lauf des Lebens verloren, denn die Linse verliert allmählich ihre Elastizität. Zwischen dem vierzigsten und fünfzigsten Lebensjahr wird deshalb meist eine Lesebrille nötig.

Die Akkommodation ermöglicht auch das teleskopische Sehen: Das ausgebaute Objektiv eines Linsenfernrohrs, frei vor das Auge gehalten, wird mit der Akkommodation – an Stelle des Okulars – zu einem vollwertigen Teleskop. Wenn ein junger Mensch eine Linse mit 900 Millimeter Brennweite als Objektiv einen Meter vor sein Auge hält und zehn Dioptrien akkommodiert, sieht er durch die Linse Entfernertes neunfach vergrößert, aber auf dem Kopf stehend. Die Qualität des durch Akkommodation erzeugten Bildes ist besser als durch ein sphärisches Okular, da die menschliche Linse asphärisch ist.

Es ist schwierig, eine Akkommodation von zehn Dioptrien spontan zu erzeugen. Der Daumen sollte als Akkommodationsreiz zehn Zentimeter vor das Auge in Richtung einer Objektivlinse gehalten werden (siehe Bild oben). Nun erkennt man das vergrößerte Bild von entfernten Gegenständen auf dem Kopf stehend und gestochen scharf. Die Vergrößerung lässt sich stufenlos variieren: Durch verstärkte Akkommodation wird das Bild herangezoomt, wenn sich der Kopf gleichzeitig ein wenig der Linse nähert. Der Akkom-

Adam Elsheimer malte den Mond auf dem Kopf stehend: Dargestellt ist ein unveränderter Ausschnitt aus dem Bild »Flucht nach Ägypten« (links) und derselbe Ausschnitt um 180 Grad gedreht (Mitte) im Vergleich zu einer Fotografie des Vollmonds (rechts). Das helle Viertel mit den Mondbergen ist im Originalgemälde oben, in der aufrechten und seitenrichtigen Fotografie jedoch unten.



AKG Images (2), Alfred Duffter

modationsanreiz mit Hilfe des Daumens ist wichtig, da sich ein Ungeübter dagegen sträubt, zu akkommodieren, um in der Ferne scharf zu sehen.

Das teleskopische Sehen durch eine Objektivlinse mit 900 Millimeter Brennweite ist auf einfache Weise möglich: Das Objektiv wird in Augenhöhe auf ein Fenster geklebt und der Horizont aus einer Entfernung von einem Meter mit zehn Dioptrien Akkommodation anvisiert. Einfacher ist es, eine Linse mit 500 Millimeter Brennweite etwa 60 Zentimeter vor das Auge zu halten. Dann lässt sich mit zehn Dioptrien Akkommodation nur eine fünffache Vergrößerung erreichen, aber das teleskopische Sehen ist in alle Richtungen möglich.

Kurzsichtigkeit und Übersichtigkeit

Menschen mit starker Kurzsichtigkeit (Myopie) können teleskopisch sehen, wenn sie ihre Brille ablegen. Junge Kurzsichtige können Myopie und Akkommodation kombinieren. Johannes Kepler erwähnte die Betrachtung eines »umgekehrten Bildes durch eine Konvexlinse« von Kurzsichtigen im Lehrsatz 78 seines 1611 erschienenen Werks »Dioptrice«, ohne auf die Akkommodation einzugehen. Bereits 1604 berichtet er im Satz 28 der »Paralipomena« über seine eigene Myopie. Wahrscheinlich errechnete Kepler das umgekehrte Bild nicht nur theoretisch, sondern kannte es auch aus eigener Erfahrung.

Im Fall einer Übersichtigkeit (Hyperopie) der Augen können Menschen, die eine Brille mit +3 Dioptrien benötigen, auch ohne diese Sehhilfe durch ein Objektiv mit 1000 Millimeter Brennweite eine dreifache Vergrößerung erzielen. Hierfür muss es in einer Entfernung von 67 Zentimetern vor das Auge gehalten werden. Das so betrachtete Bild steht aufrecht. Die Akkommodation schwächt die Vergrößerung



AKG Images

ab. Ein älterer Mensch ohne Augenfehler kann solche Experimente durchführen, indem er eine »falsche« Brille aufsetzt.

Allerdings lassen sich diese Experimente mit handelsüblichen Brillengläsern als Objektiv kaum durchführen, da diese meniskusförmig gewölbt und nur für den Einsatz in unmittelbarer Nähe des Auges hergestellt sind. Beim teleskopischen Sehen würden solche Gläser das Bild stark verzerren. Daher ist es für entsprechende Experimente besser, aus einem Teleskop mit einem Objektivdurchmesser von mindestens 50 Millimetern und einer Brennweite von mindestens 400 Millimetern das

Das Gemälde »Judith erschlägt Holofernes« schuf Adam Elsheimer um das Jahr 1601. Die große Kerze links erinnert an eine vergrößerte Projektion der kleineren Kerze am rechten Bildrand. Einen Hinweis auf diesen Zusammenhang liefern die beiden auf dem Tisch platzierten Schusterkugeln, die ein keplersches Fernrohr bilden. Das Bild befindet sich im Wellington Museum in London.

Zwei unterschiedlich große Glaskugeln bilden die Flamme einer Kerze vergrößert und aufrecht ab – wie in Adam Elsheimers Gemälde »Judith erschlägt Holofernes«.



Kai Schneider, Augenklinik Petrisberg

Objektiv auszubauen. Je größer der Objektivdurchmesser ist, desto größer ist auch das Gesichtsfeld.

In der Vergangenheit werden verschiedene Menschen die teleskopische Wirkung der Kombination einer schwachen Konkavlinse und der Akkommodation erlebt haben. Hierauf beruhen wohl einige aus dem Mittelalter und der Neuzeit erhaltene Berichte. Da im Mittelalter weder die Akkommodation noch die Kurzsichtigkeit verstanden waren, blieben derartige Berichte damals suspekt: Warum gelang das teleskopische Sehen einigen Menschen, die akkommodieren konnten oder grob fehlsichtig waren, während anderen, die nicht akkommodierten, dies nicht gelang? Diese Fragen konnte bis zu den Arbeiten von Johannes Kepler und Christoph Scheiner niemand beantworten.

Möglicherweise wusste schon Roger Bacon, der im 13. Jahrhundert lebte, vom teleskopischen Sehen ohne Okular. In seiner Jugend gab er viel Geld für Experimente aus und kannte die vergrößernde Wirkung eines Kugelsegments. Der Optikermeister Rolf Riekher, Autor des Klassikers »Fernrohre und ihre Meister«, übersetzte aus dem im Jahr 1267 von Bacon veröffentlichten »Opus Majus«: »Ebenso kann was sehr weit entfernt ist sehr nahe gesehen werden und umgekehrt ... und können wir aus unglaublicher Entfernung die kleinsten Buchstaben lesen. Und da wir den Sehwinkel beliebig vergrößern können, so muß ein Knabe wie ein Riese, eine Mauer wie ein Berg erscheinen und ebenso was weit entfernt ist ganz nahe und umgekehrt ... ja, wir würden Sonne und Mond gleichsam vom Himmel herabziehen kön-

nen ...« Ist vielleicht sein doppelter Zusatz »und umgekehrt« als Hinweis auf das auf dem Kopf stehende Bild beim teleskopischen Sehen durch Akkommodation oder, wie im Folgenden beschrieben, mit zwei unterschiedlich großen Schusterkugeln zu deuten? Als Bacon das von Papst Clemens IV angeforderte »Opus Majus« beendet hatte, schickte er es ihm zusammen mit einer Schusterkugel nach Rom.

Der Kosmos des Adam Elsheimer

Der bedeutende Maler Adam Elsheimer wurde im Jahr 1578 in Frankfurt am Main geboren und starb 1610 in Rom. Er hatte eine hohe Sensibilität für optische Phänomene. Nach seinem frühen Tod beklagte Peter Paul Rubens, der mit ihm befreundet war, Elsheimer sei in der Lage gewesen, »Dinge, die keiner gesehen hat und

Durch zwei Kugeln geblickt: So funktioniert das »Elsheimer-Fernrohr«

Wird eine große Glaskugel vor eine kleinere platziert, lässt sich ein Objekt aufrecht und seitenrichtig vergrößert an eine Wand projizieren (siehe Bilder S. 41 unten). Stellen wir jedoch die kleine Kugel (als Okular) vor die größere (als Objektiv), so verhalten sich die beiden Elemente wie ein keplersches

Fernrohr. Eine damit betrachtete ferne Landschaft – oder den Mond – sehen wir vergrößert und auf dem Kopf stehend (siehe Bilder unten): Im oberen Bild sind die Kugeln und das gegenüberliegende Ufer der Mosel zu sehen, das anvisierte Areal ist durch ein Rechteck markiert. Nähert der Beobachter sein Auge lang-

sam der kleinen Kugel, so erscheint das anvisierte Areal vierfach vergrößert und auf dem Kopf stehend, mit zunehmender Verzerrung zum Rand hin. Diese Zusammenhänge waren Adam Elsheimer wahrscheinlich bekannt: In seinem Gemälde »Judith erschlägt Holofernes« findet sich eine Anordnung zweier Glaskugeln.



Zwei unterschiedlich große Glaskugeln ergeben ein Teleskop. Das von Martin Wenzel nachgebaute »Elsheimer-Fernrohr« vermag eine entfernte Landschaft etwa dreifach vergrößert auf dem Kopf stehend darzustellen.



Kai Schneider, Augenklinik Petrisberg

keiner je sehen wird« darzustellen. Die »Flucht nach Ägypten« ist mit 31 × 41 Zentimeter eines der größten Bilder, das Elsheimer schuf. Diese Komposition wurde von bedeutenden Künstlern wie Rubens und Rembrandt übernommen und modifiziert – und von vielen anderen kopiert.

Elsheimer arbeitete sehr langsam, weshalb die genaue Datierung seiner Bilder oft fraglich ist. Auf der Rückseite des Bildes »Flucht nach Ägypten« findet sich der nachträglich angebrachte Vermerk »Adam Elsheimer fecit 1609« (Adam Elsheimer hat es 1609 angefertigt). Wahrscheinlich war das Werk schon im Jahr 1608 nahezu vollendet, als Rubens Rom verließ und Elsheimer letztmalig sah. In jenen Tagen kamen in Holland die Linsenteleskope auf.

Die detaillierte Darstellung des nächtlichen Himmels in der »Flucht nach Ägypten« gilt als Novum in der Kunstgeschichte. In diesem Gemälde ist die Milchstraße erstmals als eine Ansammlung von Einzelsternen wiedergegeben – insgesamt mehr als 1200. Wie konnte Elsheimer 1608 gewusst haben, dass die Milchstraße kein Nebel ist? Im Jahr 1609 besaß der in Rom lebende Gelehrte Federico Cesi bereits ein »holländisches Teleskop«. Hätte Elsheimer dieses Instrument genutzt, sollte er dann nicht dem Besitzer sogleich seine Beobachtung gezeigt haben?

Beim genaueren Betrachten der Details des gemalten Mondes fällt auf, dass wir hier nicht das uns bekannte »Mondgesicht« sehen – stattdessen steht der Erdtrabant auf dem Kopf! Dabei trug der Künstler in die nur etwa einen Zentimeter große Mondscheibe Details ein, die wir im Bild nur mit einer Lupe und am freien Himmel mit Teleskopen erkennen können (siehe Bilder S. 40 unten).

Als Elsheimer im Alter von 22 Jahren nach Rom kam, konnte er noch gut akkommodieren. In späteren Jahren wurde er wahrscheinlich auch kurzsichtig. Schon Kepler vermutete, dass Naharbeit bei schlechter Beleuchtung, wie sie Elsheimer ausübte, die Entwicklung einer Kurzsichtigkeit fördert – und diese Theorie findet auch heute noch viele Befürworter. Erst 1613, drei Jahre nach dem Tod des Malers, gab es die moderneren Teleskope nach Kepler mit konvexer Okularlinse, die ein umgekehrtes Bild erzeugen. Eines dieser extrem seltenen und teuren Instrumente stand dem Maler für seine »Flucht nach Ägypten« nicht zur Verfügung: Wahrscheinlich diente ihm – der in armen Ver-

hältnissen lebte – lediglich ein einfaches, schwach konvexes Lesebrillenglas zum teleskopischen Sehen mit Akkommodation und/oder Kurzsichtigkeit.

Eine zweite Erklärung ist ebenso denkbar: Elsheimer kannte die optischen Möglichkeiten von Schusterkugeln. Auf mehreren seiner Gemälde, die nächtliche Szenen innerhalb von Räumen darstellen, sind sie zu sehen. So zeigt das 1601 vollendete Bild »Judith und Holofernes« zwei unterschiedlich große Glaskugeln auf einem Tisch. Das Bild wird von zwei Kerzen beleuchtet, einer kleinen rechts auf dem Tisch und einer viel größeren links oben. Wenn wir mit nur einer Kerze und zwei Glaskugeln experimentieren, können wir die zweite Kerze aufrecht und an eine Wand projizieren und erzielen ähnliche Größenunterschiede wie bei den Kerzen in Elsheimers Bild. Die zweite Kugel dient zur Aufrichtung des zunächst umgekehrten Bildes. Die beiden unterschiedlich großen Glaskugeln verhalten sich auch wie ein keplersches Fernrohr. Noch heute können wir dieses »Elsheimer-Fernrohr« in optischen Versuchen nachahmen (siehe Kasten links).

Ob es in den zwei Jahrtausenden, in denen optische Linsen und Schusterkugeln bekannt waren, nicht auch Menschen gab, die mit Hilfe ihrer Akkommodation oder mit zwei Glaskugeln spielerisch-experimentell das teleskopische Sehen entdeckten? Sollten wir mit diesem Wissen die frühen optischen Berichte neu lesen? ©



WILHELM SEGGEWISS war langjähriger Leiter des Observatoriums Hoher List der Universitätssternwarte Bonn bei Daun in der Eifel.

Seine Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung massereicher Sterne sowie die Populationen der Galaxis und der Nachbargalaxien. Zu seinen Arbeitsgebieten zählen auch Aspekte der Astronomiegeschichte. Ferner engagiert er sich in der Lehrerfortbildung.



MARTIN WENZEL leitet als Augenarzt eine operative Klinik in Trier und forscht im Rahmen seiner außerplanmäßigen Professur an der

medizinischen Fakultät der RWTH Aachen vorzugsweise über künstliche Linsen im menschlichen Auge sowie historische Themen zur Optik und Augenheilkunde.

Literaturhinweise

Dupré, S.: Die Ursprünge des Teleskops – von der Lesebrille zum astronomischen Fernrohr. In: *Sterne und Weltraum* 1/2009, S. 44 – 54

Kepler, J.: *Ad Vitellionem Paralipomena* (1604) und *Dioptrice* (1611).

In: Riekher, R. (Hg.): *Schriften zur Optik*. Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch, Frankfurt 2008

Lemcke, M.: *Johannes Kepler*. Rowohlt, Hamburg 1995

Riekher R.: *Fernrohre und ihre Meister*. VEB Verlag Technik, Berlin 1990

Rienitz, J.: *Historisch-physikalische Entwicklungslinien optischer Instrumente*. Pabst Verlag, Lengerich 1999

Siebert, H.: Die Entdeckung des Orionnebels – Historische Aufzeichnungen aus dem Jahr 1610 neu gesichtet. In: *Sterne und Weltraum* 11/2010, S. 32 – 42

Thielemann, A., Gronert, S. (Hg.): *Adam Elsheimer in Rom – Werk-Kontext-Wirkung*. Hirmer, München 2008

von Rohr, M., Boegehold, H.: *Das Brillenglas als optisches Instrument*. Springer, Berlin 1934

Wenzel, M.: Warum malte Adam Elsheimer den Mond auf dem Kopf? Teleskopisches Sehen ist ohne Teleskop möglich. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 232, S. 1105 – 1109, 2015

Willach, R.: Der lange Weg zur Erfindung des Fernrohres. In: Hamel, J., Keil, I. (Hg.): *Der Meister und die Fernrohre*. *Acta Historica Astronomiae* 33, S. 34 – 126, 2007

Valleriani, M.: Galileis astronomische Werkstatt. In: *Sterne und Weltraum* 2/2009, S. 42 – 51

Dieser Artikel und Weblinks im Internet: www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1398639