

## Das menschliche Auge

Grundsätzlich sei zunächst einmal festgestellt, dass zur Beobachtung des Sternenhimmels nicht unbedingt optische Hilfsmittel nötig sind. Der Anblick des Sternenhimmels in dunkler, mondloser Nacht mit seinen jahreszeitlich wechselnden vertrauten Bildern und Objekten kann in dieser umfassenden Gesamtschau durch kein Fernrohrbild ersetzt werden. Es liegt nahe, dass wir uns zuerst mit dem wichtigsten optischen Instrument befassen, das dem Menschen von Natur aus zur Verfügung steht, dem Auge. Zumal schon das Auge einige wichtige Eigenschaften aufweist, die zur Himmelsbeobachtung ohne und mit Teleskop sinnvoll angewendet werden können oder beachtet werden müssen. Vom optischen Aufbau her ist das Auge wie eine Kamera eingerichtet: Da ist eine Objektivlinse, die das Bild erzeugt, eine Blende, die je nach Helligkeit geregelt wird, und eine Mattscheibe, auf welcher die eingestellten Objekte zur Abbildung kommen. Und wie beim Fotoapparat, steht auch im Auge das Bild auf dem Kopf!

### Was bedeutet sehen?

Das menschliche Auge ist ein faszinierendes, kugelförmiges Gebilde mit einem Durchmesser von ca. 24 mm. Ein wichtiges Sinnesorgan, das uns intensiv unsere Umwelt erleben lässt und uns Orientierung schenkt. Maximale Sehfreude ist durch nichts zu ersetzen. Bei vielen Menschen ist das Sehvermögen allerdings eingeschränkt. Nicht jeder mag Brille oder Kontaktlinsen tragen sei es aus ästhetischen oder praktischen Gründen. Die refraktive Augen Chirurgie bietet heute interessante Alternativen. Unabhängig von bestehender Fehlsichtigkeit treten bei den meisten älteren Menschen Augenprobleme auf. Der „Graue Star“ ist eine typische Alterserscheinung, die im schlimmsten Falle zur Erblindung führen kann. Mit dem gleichnamigen Vogel hat der „Star“ nichts zu tun. Der Begriff entstammt dem Mittelhochdeutschen stara plint und bedeutet Erblindung durch das Erstarren.

### Anatomie und Sehfunktion

Sehen bedeutet, dass Lichtstrahlen, die ins Auge fallen, lichtempfindliche Rezeptoren und dadurch Nerven anregen, Signale ans Gehirn zu senden. Ins Auge gelangen die Lichtstrahlen durch die Pupille und Linse. Die Linse bündelt die Lichtstrahlen und führt zu einem klaren Abbild der Umgebung auf der Netzhaut, die sich an der Rückwand des Auges befindet. Die Netzhaut ist eine Schicht aus überaus feinen lichtempfindlichen Rezeptoren und dünnen Nervenzellen, die den Lichteindruck ins Gehirn weiterleiten. Die Photorezeptoren reagieren auf das Licht und schicken Signale über die dünnen Nervenfasern zum Sehnerv, der von der Rückwand des Auges in das Gehirn führt. Bestimmte Teile des Gehirns empfangen und verarbeiten die Signale. Man empfindet oder („sieht“) nun das Bild. Wenn man die Augen im Spiegel anschaut, kann man nur einen Teil davon sehen. Das ganze Auge hat etwa die Form einer kleinen Kugel mit einem Durchmesser von ca. 22 mm, deshalb spricht man auch vom „Augapfel“. Die Augen liegen geschützt in den Augenhöhlen (Orbita), die von Schädelknochen gebildet werden. Zusätzlichen Schutz bietet die äussere Haut des Auges aus festem weissen Gewebe (Lederhaut oder Sklera). Sie geht vorne in die durchsichtige Hornhaut (Kornea) über, die die Aufgabe hat, die Linse zu schützen. Die zweite Gewebsschicht des Auges ist dunkel und von vielen Blutgefässen durchzogen (Aderhaut oder Choroidea). Der vordere Teil dieser Schicht, die Regenbogenhaut oder Iris, liegt zwischen der Hornhaut und der Linse. In der Mitte hat die Iris ein Loch, die Pupille. Mit Hilfe von Muskeln kann die Regenbogenhaut (Iris) die Pupille vergrössern und verkleinern und dadurch steuern, wieviel Licht durch die Pupille auf die Linse und damit ins Auge fällt. Die Farbe der Iris – blau, grau, braun, usw. bezeichnet die Augenfarbe. Hinter der Pupille liegt die Linse. Von der Linse verlaufen feine Muskelfasern zu der festen, äusseren Haut des Augapfels, die die Dicke der Linse verändern können. Das ist notwendig, damit sowohl von nahegelegenen als auch von weiter entfernten Gegenständen ein scharfes Bild auf der Netzhaut entsteht. Die dritte Schicht, die innerste Auskleidung des Augapfels, ist die Netzhaut (Retina). Sie besteht aus einer Schicht von lichtempfindlichen Nervenzellen (Photorezeptoren) und Nervenzellen, die die Signale verarbeiten. Die Nervenzellen der Netzhaut stellen einen kleinen Computer dar, der bereits in der Netzhaut das Bild verbessert. Mit den Netzhautnervenzellen wird der Bildkontrast verbessert, die Farben

leuchtender gemacht und Bewegungen im Bild deutlicher dargestellt. Die Nervenzellen der Netzhaut stellen einen kleinen Computer dar, der bereits in der Netzhaut das Bild verbessert. Mit den Netzhautnervenzellen wird der Bildkontrast verbessert, die Farben leuchtender gemacht und Bewegungen im Bild deutlicher dargestellt. Der Augapfel ist mit einer durchsichtigen, gallertartigen Masse (Glaskörper) gefüllt, die die Bündelung der Lichtstrahlen fördert und dazu beiträgt, dass der Augapfel seine Form behält. Die Augen werden durch Ober- und Unterlider geschützt. Im Oberlid ist eine kleine Tränendrüse, aus der die Tränen kommen. Tränen sind nicht nur da, damit man weinen kann, sie halten auch die Augen feucht und sauber. Die Augenlider blinzeln ungefähr 20x pro Minute. Dadurch werden Staubteilchen von den Augen abgehalten und die Tränenflüssigkeit ständig über die Augenoberfläche verteilt.

### **Gut sehen, gut leben**

Das Auge hat etwa die Form einer Kugel und ist von der Lederhaut (Sklera) umschlossen. Deren vorderer Teil ist stärker gekrümmt, durchsichtig und bildet die Hornhaut, die etwa 12mm Durchmesser hat und etwa 0.5mm stark ist. Hinter der Hornhaut befindet sich die mit einer klaren Flüssigkeit angefüllte Vorderkammer, die nach innen von der Regenbogenhaut oder Iris begrenzt wird. Dahinter liegt die zweiseitig nach aussen gewölbte (bikonvexe) Augenlinse. Sie besteht aus zwiebelschalenartig übereinanderliegenden Schichten. An die Linse schliesst sich nach hinten eine gallertartige, durchsichtige Masse, der sogenannte Glaskörper an. Die innere Haut des Auges besteht aus Nervensubstanz; man nennt sie die Netzhaut. Durch den Sehnerv steht die Netzhaut mit dem Gehirn in Verbindung, wo die auf die Netzhaut auftreffenden Lichtreize umgesetzt und ins Bewusstsein gebracht werden. Ernährt wird die Netzhaut durch die Aderhaut, die Blutgefässe enthält. Die optische Achse der Augenlinse trifft die Netzhaut an einer etwas vertieften Stelle, der sogenannten Netzhautgrube. Das ist die empfindlichste Stelle der Netzhaut, wo sich die betrachtete Welt scharf abbildet. Die Oberfläche der Netzhaut besteht aus Zäpfchen und Stäbchen, welche die Lichtreize aufnehmen. Im Bereich der Netzhautgrube befinden sich nur Zäpfchen, die auf helles Licht und auf Farben ansprechen, weiter nach aussen sind Zäpfchen und Stäbchen vermischt, und etwa 5mm von der Netzhautgrube entfernt gibt es noch Stäbchen, die nicht mehr auf Farben, aber auf schwächste Lichteindrücke reagieren. Nun haben wir auch die naturwissenschaftliche Begründung für das Sprichwort „In der Nacht sind alle Katzen grau“: In der Dunkelheit sieht das Auge nur noch mit den Stäbchen, die eben nicht mehr farbempfindlich sind. Bei astronomischen Beobachtungen kann man sich diese Fähigkeit des Auges zu gesteigerter Lichtempfindlichkeit zunutze machen, indem man bei lichtschwachen Objekten wie z.B. Nebelflecken nicht genau in die Mitte des Fernrohres schaut, sondern seitlich zum Rand des Gesichtsfeldes schießt. Dieses sogenannte „Stäbchensehen“ lässt zunächst kaum erkennbare Objekte sofort deutlicher erscheinen und ist für den geübten Beobachter längst zu einer Routine geworden! Es ist eine bekannte Erscheinung, dass man in einem abgedunkelten Raum zunächst fast blind umhertappt, wenn man aus dem hellen Sonnenlicht kommt. Ebenso ist der sternbesäte Nachthimmel zuerst einmal schwarz und leer, wenn man aus dem beleuchteten Zimmer in die Nacht hinaustritt.

### **Der Aufbau des menschlichen Auges**

Das menschliche Auge funktioniert wie eine Kamera: Von aussen werden Bilder aufgenommen und durch Hornhaut, vordere Augenkammer, Pupille, Linse und Glaskörper weitergeleitet. Auf der Netzhaut bündeln sich die einfallenden Lichtstrahlen. Von dort werden die Bilder über den Sehnerv zum Gehirn gesendet. Durch eine Strukturänderung der Netzhaut, die als Hell- und Dunkelanpassung bezeichnet wird, stellt sich das Auge auf die schwächere Beleuchtung um, so dass nach etwa einer halben bis zu einer Stunde Aufenthalt im Dunkeln auch die schwächsten vom Auge überhaupt noch wahrnehmbaren Lichter erkannt werden können. Bei astronomischen Beobachtungen spielt diese sogenannte Dunkeladaption eine wichtige Rolle; es ist völlig unmöglich, aus dem erleuchteten Zimmer kommend sofort schwache Sterne oder Nebelobjekte zu sehen. Das Auge ist nach völliger Adaption fast eine halbe Million mal lichtempfindlicher als im hellen Sonnenschein.

Neben der Dunkelanpassung der Netzhaut spielt auch eine Veränderung der Pupillenöffnung eine wichtige Rolle: Am hellen Tag hat die Pupille des Auges eine Öffnung von etwa 2mm, in dunkler Nacht ist diese Öffnung bis auf 8mm erweitert. Mit fortschreitendem Alter wird die Nachtpupille kleiner, ab etwa 50 Lebensjahren muss man sich mit rund 6mm zufrieden geben. Bei der Begrenzung von Fernrohren ist die Grösse der Augenpupille massgeblich für die Lichtausbeute, die aus dem Fernrohrkular kommt. Bekanntlich sieht man auf der letzten Linse des Okulars, der Augenlinse, ein kleines Lichtscheibchen, wenn man das Fernrohr zum hellen Taghimmel richtet. Diese sogenannte Austrittspupille wird in ihrem Durchmesser von der Vergrösserung bestimmt. Man teilt den Durchmesser des Fernrohrobjektivs (in Millimetern) durch die benutzte Vergrösserung und erhält dann den Durchmesser der Austrittspupille am Okular. Beispiel: Eine 30fache Vergrösserung ergibt an einem 60mm Objektiv 2mm Austrittspupille. Bei schwächerer Vergrösserung wird demzufolge die Austrittspupille immer grösser. Das kann soweit führen, dass schliesslich die Austrittspupille grösser wird als der Pupillendurchmesser des Auges. Dann gelangt nicht mehr das ganze Okularlicht ins Auge, eine derart schwache Vergrösserung ist somit nutzlos geworden. Und noch etwas sollte im Hinblick auf die Dunkeladaption beachtet werden: Jeder helle Lichteindruck wie z.B. das Aufleuchten einer Taschenlampe kann die mühsame, zeitraubende Anpassung des Auges an die Dunkelheit jäh zunichte machen. Wer also während der Beobachtung in Sternkarten nachsehen möchte oder sonstigen Handgriffen Beleuchtung braucht, sollte rotes Licht verwenden, weil gedämpftes Rotlicht die Dunkeladaption kaum beeinträchtigt und das Auge schon nach Sekunden wieder die volle Lichtempfindlichkeit gewonnen hat! Eine weitere Eigenschaft des Auges, die Akkomodation, gestattet es, weit entfernte oder nahe gelegene Dinge im raschen Wechsel scharf zu sehen. Sie wird durch die Änderung der Augenlinsenwölbung bewirkt, die durch Muskeln gedehnt und zusammengedrückt wird. In Ruhelage und beim Schauen in die Ferne ist die Linse flach gestreckt und bei Beobachtungen im Nahbereich stärker gekrümmt. In älteren Lebensjahren geht diese Elastizität der Augenlinse allmählich verloren, dann wundert man sich plötzlich, dass man zum Lesen und zum Frühstück verschiedene Brillengläser braucht! Die Augenlinse ist an Bändern, die an ihrem Rand angreifen, aufgehängt und wird durch Muskeln mehr oder weniger gespannt. Durch diese Verspannungen entsteht bei der Beobachtung punktförmiger Lichtquellen und somit auch der Sterne ein Strahlenkranz: Die „Strahlen“ der Sterne! Es gibt immer wieder Leute, die diese Strahlen den Sternen zuschreiben möchten. Dabei kann man beobachten, dass sich diese „Sternstrahlen“ beim Drehen des Kopfes mitdrehen. Da die Falten und Spannungen am Rand der Augenlinse am grössten sind, erscheinen im Fernrohr bei stärkerer Vergrösserung die Sterne punktscharf, die Strahlen sind verschwunden. Das stark vergrössernde Fernrohr hat, wie wir schon erfahren haben, eine kleine Austrittspupille, das aus dem Okular austretende Lichtbündel trifft nur noch auf die nichtverspannte Mitte der Augenlinse. Zeigt ein Auge besonders auffällige Strahlen nach einer bestimmten Richtung, die auch bei der Fernrohrbeobachtung nicht verschwinden, dann ist es astigmatisch, seine optischen Teile haben eine unsymmetrische Brechkraft. Dieser Fehler, der sowohl von der Hornhaut als auch von der Linse herrühren kann, lässt sich durch entsprechende Brillengläser beseitigen. Ebenso soll man sich nicht mit Kurz- oder Weitsichtigkeit herumschlagen, sondern auch in diesem Falle die richtigen Brillengläser oder Kontaktlinsen tragen. Gerade Kurzsichtigkeit ist für den Sternengucker sehr lästig, wenn bei der Freiaugenbetrachtung der ganze Sternenhimmel nur noch aus verwaschenen Lichtern besteht. Bei Fernrohrbeobachtungen ist es zur Ausnutzung des Okulargesichtsfeldes zweckmässig, die Brille abzunehmen – das Fernrohrkular kann durch Verstellen des Okulartriebes allemal auf das Auge eingestellt und somit ein scharfes Bild erzielt werden!