

## Zum Thema

Leicht zu verwechseln und doch ganz verschieden: Grauer und Grüner Star sind zwei weit verbreitete und außerordentlich bedeutende Augenerkrankungen, die wegen ihres ähnlichen Namens oftmals für Verwirrung sorgen. Während vielen der Graue Star als Linsentrübung ein Begriff ist, vielleicht weil Großmutter oder Großvater darunter leiden oder sogar schon operiert wurden, wissen die wenigsten Genaueres über den Grünen Star. Noch weniger bekannt dürfte die altersbedingte Makuladegeneration sein, die ebenfalls Thema dieses Ratgebers ist. Alle drei hier »in einem Atemzug« genannten Krankheiten gefährden das Augenlicht, weil sie bis zur Erblindung führen können, sie kommen in höherem Lebensalter deutlich häufiger vor als bei jüngeren Menschen, und manchmal treten sie auch zusammen auf.

Grauer und Grüner Star sind sehr häufige Augenerkrankungen.

Beim **Grauen Star** – oder im Medizinischen die *Katarakt* – handelt es sich um eine Trübung der Augenlinse. Sie kann sich grundsätzlich in jedem Lebensalter entwickeln oder sogar angeboren sein. Meist tritt sie jedoch jenseits des 60. Lebensjahres auf. Dieser so genannte Altersstar betrifft praktisch jeden älteren Menschen, ist aber beim einen mehr, beim anderen weniger stark ausgeprägt. Je weiter sich die Trübung entwickelt, desto mehr schränkt sie in der Regel das Sehvermögen ein. Im Extremfall sind nur noch Handbewegungen vor dem Auge erkennbar.

Beim Grauen Star ist die Augenlinse getrübt.

Nun die gute Nachricht: Liegt gleichzeitig keine andere Augenerkrankung vor, dann kann eine Operation, in der die getrübe Linse entfernt wird, das Sehvermögen wiederherstellen. Wann operiert wird, entscheidet der Betroffene in den meisten Fällen selbst – in der Regel, wenn die Trübung das Sehvermögen so sehr behindert, dass davon das Alltagsleben eingeschränkt wird, wenn z. B. das Autofahren Probleme bereitet.

## Zum Thema

Über 600 000-mal im Jahr wird der Graue Star in Deutschland operiert. Die Staroperation ist bei uns mit Abstand die häufigste Operation. Diese beachtliche Zahl macht außerdem deutlich, wie häufig der Graue Star ist. Weltweit sind mehr als 20 Millionen Menschen daran erblindet. Besonders in Entwicklungsländern, in denen die modernen Behandlungsmöglichkeiten noch nicht zur Verfügung stehen, ist die Zahl der Erblindeten sehr hoch.

Beim Grünen Star wird der Sehnerv geschädigt.

Der **Grüne Star** oder *Glaukom* ist eine Erkrankung, die den Sehnerv schädigt. Leitsymptom und Ursache ist meist ein erhöhter Augeninnendruck. Die Folge ist eine fortschreitende Verschlechterung des Sehvermögens mit Gesichtsfeldausfällen bis hin zur völligen Erblindung. Im Gegensatz zum Grauen Star kann aber die einmal verlorene Sehkraft beim Grünen Star weder operativ noch medikamentös wiederhergestellt werden. Dem Grünen Star muss man viel früher begegnen! Nur wenn das Glaukom rechtzeitig erkannt und behandelt wird, lassen sich seine schwer wiegenden Folgen verhindern bzw. ein weiterer Verlust der Sehfähigkeit aufhalten.

In Deutschland sind über eine Million Menschen an Glaukom erkrankt, und etwa vier Millionen leiden an einer Vorstufe. Etwa 15 Prozent aller Erblindungen gehen auf ein oft zu spät erkanntes und deshalb zu spät behandeltes Glaukom zurück – vermeidbare Erblindungen, denn das Tückische an dieser Erkrankung ist, dass sie fast immer schleichend, zunächst völlig unmerklich verläuft, nicht schmerzt und ein Verlust des Sehvermögens erst dann wahrnehmbar wird, wenn bereits großer, irreparabler Schaden eingetreten ist.

Häufig werden Behandlungsmaßnahmen nur deshalb zu spät ergriffen, weil über diese Erkrankung zu wenig bekannt ist und Be-

troffene ohne Beschwerden den Augenarzt nicht aufsuchen. Die Gefahr, ein Glaukom zu entwickeln, steigt aber mit zunehmendem Lebensalter, insbesondere nach dem 40. Lebensjahr, immer stärker an.

Nur eine entsprechende Vorsorgeuntersuchung bietet wirklichen Schutz. Deshalb sollte sich jeder ab 40 regelmäßig augenärztlich untersuchen lassen. In einer solchen Vorsorgeuntersuchung prüft der Arzt nicht nur die Sehleistung. Zusätzlich untersucht er auch den Augenhintergrund sowie das Gesichtsfeld und misst den Augeninnendruck. Wenn Sie nun einer besonderen Risikogruppe angehören, über 40 Jahre alt sind oder wenn Glaukom in Ihrer Familie bereits auftrat, dann lassen Sie die Vorsorgeuntersuchungen unbedingt durchführen – selbst wenn ein geringer Eigenanteil zu den Untersuchungskosten zu zahlen ist.

Die **altersbedingte Makuladegeneration** – auch abgekürzt **AMD** genannt – ist eine Erkrankung der Makula, dem Gebiet des schärfsten Sehens, das sich auf der Netzhaut befindet. Als »Alterskrankheit« tritt sie mit der steigenden Lebenserwartung immer häufiger in Erscheinung. Man unterscheidet zwei Arten der Makuladegeneration: die trockene und die feuchte. Die so genannte feuchte Makuladegeneration schreitet schneller voran als die trockene. Sie ist die häufigste Ursache für schwere Sehbehinderung im Alter in den wohlhabenden Ländern. Die AMD kann jedoch durch Spritzen in das Auge hinein zum Teil erfolgreich behandelt werden.

Gut ist es, dass bei jeder augenärztlichen Untersuchung das Auge anatomisch als Ganzes erfasst wird und damit automatisch auch eine Überwachung bezüglich der beiden anderen Erkrankungen stattfindet.

### TIPP

#### ÜBER 40?

Dann gehen Sie alle zwei Jahre zur Glaukomfrüherkennung bei Ihrem Augenarzt!

Bei der Makuladegeneration wird das Gebiet des schärfsten Sehens geschädigt.

## Zum Thema

Kurz wird in diesem Buch auch auf die Auswirkungen des Typ-2-Diabetes auf die Netzhaut eingegangen, da sie der feuchten Makuladegeneration ähneln können.

In diesem Buch erfahren Sie mehr über Ursachen und Krankheitsverlauf der beiden so wichtigen Augenerkrankungen Grauer und Grüner Star sowie der Makuladegeneration. Sie lesen, wann Sie zum Arzt gehen sollten und welche bewährten und modernen Behandlungsmöglichkeiten es gibt, damit Sie Ihr Augenlicht auch bis ins hohe Alter erhalten.

# Das Auge – wie wir sehen

Den weitaus größten Teil aller Sinneseindrücke – Farben, Formen, Bewegungen –, all dies vermitteln uns die Augen. Ohne sie können wir uns nur schlecht in der Umwelt zurechtfinden. Um zu verstehen, was sich bei Augenerkrankungen wie dem Grauen und dem Grünen Star oder der altersbedingten Makuladegeneration abspielt, erfahren Sie in diesem Kapitel zunächst alles Wichtige über den Aufbau und die Funktionsweise des gesunden Auges.





## Hoch spezialisiert: der Aufbau des Auges

Präzise, gestochen scharfe und farbenprächtige Bilder – für den Gesunden sind sie etwas Selbstverständliches. Doch bis wir diese Bilder scheinbar mühelos sehen, müssen Auge und Gehirn erst zahlreiche und zum Teil äußerst komplizierte Arbeitsschritte leisten. Das Licht, das jeder einzelne Gegenstand zurückwirft, den wir betrachten, wird vom Auge aufgefangen und durchläuft viele Stationen: Im Auge wird das Licht gebündelt und auf die Netzhaut am Augenhintergrund projiziert. Dort wird es von spezialisierten Sehzellen eingefangen, in Nervensignale umgewandelt und über mehrere Nerven-Schaltstationen zum Gehirn weitergeleitet. Erst dort werden diese Signale, ähnlich wie in einem Computer, weiterverarbeitet und zu dem Bild umgesetzt, das wir bewusst wahrnehmen.

Für diese im Detail hoch komplexe Aufgabe ist das Auge bestens ausgerüstet. Oft wird der Vergleich mit einem Fotoapparat herangezogen, um seine Funktionsweise zu beschreiben. Dabei ist es eigentlich genau umgekehrt: Was sich Wissenschaftler, Erfinder und Tüftler bei der Entwicklung optischer Geräte und Kameras in vielen Jahren mühsam erarbeitet haben, konnte das Auge schon lange zuvor und noch besser. Wie in so vielem ist die Natur hier letztlich das Vorbild.

Das Objektiv einer Kamera besitzt beispielsweise mehrere Linsen, die das Licht sammeln, um das Bild auf dem Film scharf zu stellen. Mit der Blende kann zusätzlich die Helligkeit reguliert werden. Im Auge übernehmen diese beiden Funktionen die Augenlinse und die von der Regenbogenhaut gebildete Pupille. Für die Aufnahme des Bildes braucht die Kamera den Film. Im Auge ist hierfür die Netzhaut zuständig. Sie ist mit lichtempfindlichen Sinneszellen

ausgestattet. Und schließlich gibt es noch eine weitere Parallele: die Verarbeitung des Films im Labor oder mit dem Computer. Denn auch das, was die Netzhaut aufnimmt, muss erst vom Gehirn verarbeitet werden, damit das Bild entsteht, das wir »sehen«.

Dieser Vergleich mit einer Kamera ist einerseits anschaulich, andererseits stimmt er natürlich so nicht ganz. Was sich im Auge tatsächlich abspielt und wie es dafür aufgebaut ist, stellt sich weitaus komplizierter dar als selbst im modernsten Fotoapparat. Auch ist der Sehvorgang nicht nur reine Technik und die Verarbeitung der mit dem Auge gewonnenen Information keine »Einbahnstraße«.

Vielmehr laufen fortwährend auch Signale und Befehle über das Nervensystem zurück zum Auge. Unser Sehvermögen ist aus diesem Grund auch nicht immer gleich gut. Je nach Tagesform sehen wir bei Stress, Müdigkeit oder körperlicher Anstrengung vorübergehend schlechter. Das Sehen wird auch beeinflusst von unserem Befinden, unserem Gefühlsleben, unserer Aufmerksamkeit und vielem mehr. Und unsere Augen drücken viel von dem aus, was wir fühlen: Neugierige, strahlende, lebendige, traurige oder depressive Augen sind uns allen vertraut – Qualitäten, die das typisch Menschliche an ihnen ausmachen. Doch betrachten wir an dieser Stelle einmal nur die »funktionelle« Seite der Augen, ihren Aufbau und ihre Arbeitsweise.

### Leder-, Horn- und Bindehaut als Hülle und Schutzmantel

Die kleinen, fast kugelrunden Augäpfel sind weiche und empfindliche Gebilde. Sie sind fortwährend vielen Umweltreizen ausgesetzt wie Staub, Wärme, Kälte und auch Krankheitserregern, die sich über die Luft verbreiten. Wie das feste Gehäuse einer Kamera sein empfindliches Innenleben vor äußeren Einflüssen abschirmt,

Zwischen dem Auge und einer Kamera gibt es viele Parallelen ...



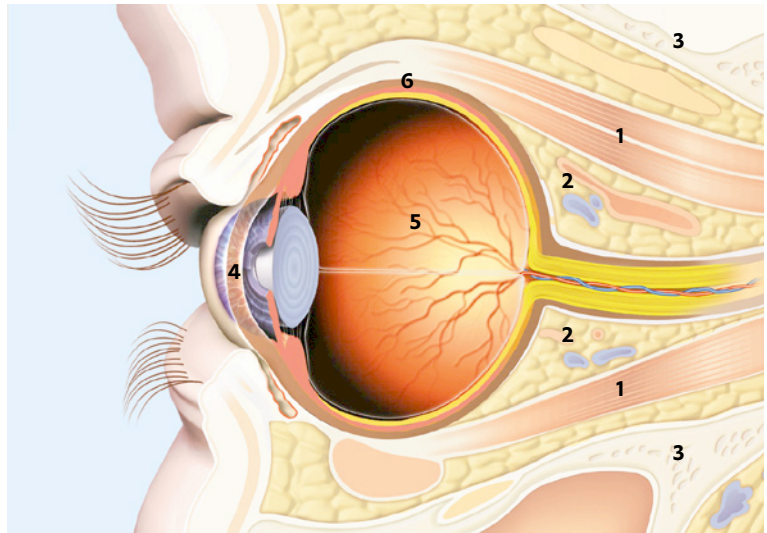
... die Vorgänge im Auge sind jedoch sehr viel komplizierter.

# Das Auge – wie wir sehen

Ein Augapfel misst im Durchmesser nur etwa zweieinhalb Zentimeter und wiegt gerade einmal siebeneinhalb Gramm.

müssen auch die Augen gut geschützt werden. Zum einen liegen sie in den beiden trichterförmigen, knöchernen Augenhöhlen. Dort sind sie in einen dicken Mantel aus Fett- und Bindegewebe eingebettet, der zusammen mit den Augenmuskeln etwa drei Viertel der Augenhöhle beansprucht. Nur ein Viertel des Platzes füllen die Augäpfel selbst aus. Die ledrig derbe und blutgefäßarme *Lederhaut* (medizinisch: *Sklera*) bietet mit ihrem zähen und festen Gewebe einen gewissen Widerstand gegen Schlag und Stoß.

Vorn am Auge geht die Lederhaut in die ebenfalls derbe, gleichzeitig aber gefäßfreie und völlig durchsichtige *Hornhaut* über. Kreisrund und wie ein Uhrglas gewölbt ist sie in die weiße Lederhaut



**Gut geschützt:** Die Augäpfel liegen eingebettet in einen Mantel aus Muskeln (1), Binde- und Fettgewebe (2) in den trichterförmigen, knöchernen Augenhöhlen (3). Vorn lässt die durchsichtige Hornhaut (4) das Licht ins Auge ein. Den Hauptteil des Augeninneren füllt der Glaskörper (5) aus, umhüllt von der Lederhaut (6).



eingelassen. Als »Fenster zum Augenninneren« lässt sie das Licht eintreten. Zusätzlich hat die Hornhaut eine besondere schützende Funktion: Wie ein Lichtfilter absorbiert sie schädliche Strahlung, etwa die ultravioletten Strahlen der Sonne.

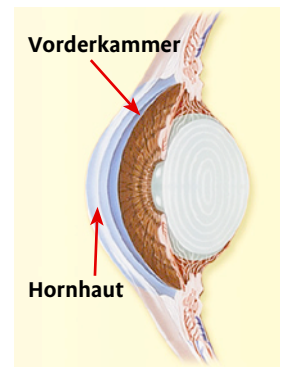
Dieser Schutz ist allerdings begrenzt. Übermäßige UV-Einstrahlung, wie sie z. B. in schneebedeckten Bergregionen beim Skifahren auftritt, aber auch unter der Höhensonne oder beim Schweißen ohne Schutzbrille, kann die Hornhaut erheblich schädigen. Sie wird durch zu viel UV-Licht gereizt, was man landläufig als Schneeblindheit bezeichnet.

Der Name rührt daher, dass man eine Zeit lang die Augen kaum öffnen kann, weil die Reizung außerordentlich schmerzhaft ist. Die Oberfläche der Hornhaut ist nämlich reich an Nervenfasern und damit tast- und schmerzempfindlich. Außerdem wird zusätzlich die schmerzempfindliche, nerven- und blutgefäßreiche Bindehaut in Mitleidenschaft gezogen, weshalb sich die Augen röten. In der Regel klingen die Symptome nach einiger Zeit von selbst wieder ab.

Weil die Hornhaut so empfindlich ist, löst auch jede andere Reizung, etwa schon die geringste Berührung durch feinste Staubkörnerchen, reflexartig den Lidschluss aus. Dabei wird auch mehr Tränenflüssigkeit gebildet, um Fremdkörper wie bei einer Scheibenwaschanlage wegzuspülen und die Hornhautoberfläche mit jedem Lidschlag zu reinigen.

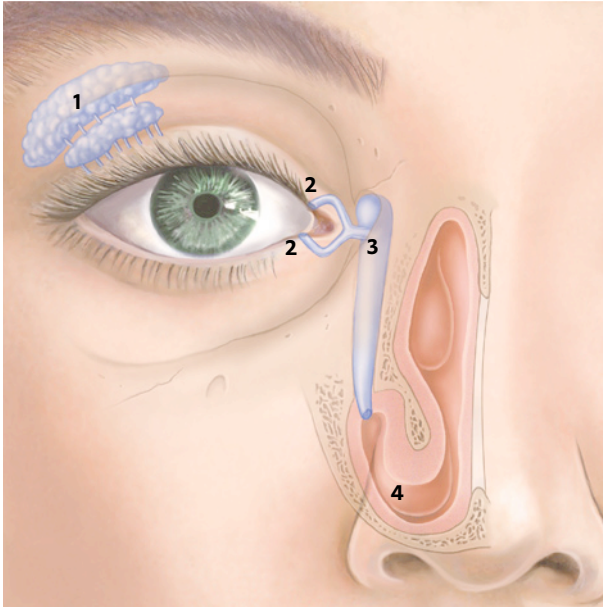
Die **Tränenflüssigkeit** hat noch weitere Aufgaben: Sie bewahrt die Augen vor dem Austrocknen und wehrt Krankheitskeime ab. Die salzige und auch nährstoffreiche Flüssigkeit wird fortwährend in kleinen Mengen von zwei Drüsen gebildet, die seitlich und ober-

Auch die Hornhaut gehört neben der festen Lederhaut zum »Schutzkonzept« des Auges.



*Fenster ins Augennere:  
Die glasklare Hornhaut lässt das Licht passieren. Nach innen – zur Vorderkammer (s. Bild) – ist die Hornhaut durch eine besondere Schicht abgegrenzt, durch die Hornhautendothelzellen. Das Hornhautendothel ist sehr wichtig für den Stoffwechsel der Hornhaut und damit für ihre Transparenz.*

# Das Auge – wie wir sehen



**Sinnvolle Tränen:** Die salzige Tränenflüssigkeit hat ernärende und reinigende Funktion: Sie wird von den Tränendrüsen (1) gebildet, fließt über die Hornhaut und die Bindehaut zu den Tränenpüktchen (2) und läuft dort über zwei Kanälchen in den Tränensack (3) zur Nasenmuschel (4) ab.

Die Bindehaut enthält reichlich ernärende Blutgefäße.

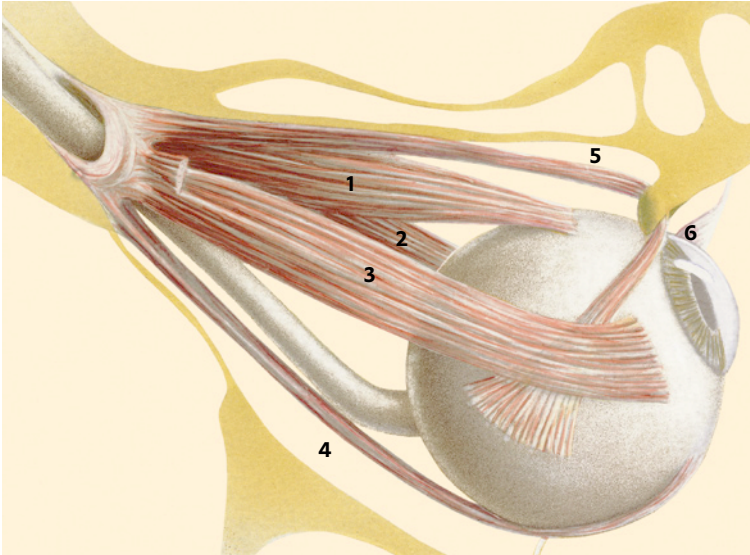
halb der Augen liegen (s. Abb.). So wird stets ein dünner Tränenfilm produziert, der beständig von oben nach unten über das Auge fließt, die Hornhautoberfläche sowie die Bindehaut benetzt und der Hornhaut gleichzeitig Nährstoffe zuführt. Die Tränen können über kleine Öffnungen an den beiden Lidrändern in der Nähe des inneren Lidwinkels wieder abfließen. Weil die Abflussöffnungen dort als winzige schwarze Püktchen zu erkennen sind, werden sie als obere und untere Tränenpüktchen bezeichnet. Von hier gelangt die Tränenflüssigkeit in den Tränensack und läuft in die Nase ab.

Die **Bindehaut**, eine dünne, durchsichtige, blutgefäßreiche Schleimhaut, kleidet die Lidspalte aus. Sie bedeckt die Lederhaut rings um die Hornhaut sowie die Innenseite der Lider. Mit den Lidern ist sie fest verwachsen. In der seitlichen Lid-

spalte und auf dem Augapfel lässt sie sich verschieben, sodass das Auge sich ungehindert bewegen kann. U. a. produziert die Bindehaut wichtige Bestandteile des Tränenfilms und hält dadurch Bakterien und andere Keime vom Auge fern.

## Sechs Augenmuskeln sorgen für Bewegung

Damit die Augen unsere Umgebung schnell und zielsicher »abtasten« können, müssen sie ausreichend beweglich sein. Als Motor für die fein aufeinander abgestimmten, exakten und überaus ra-



**Alles schnell im Blick:** Vier gerade (1–4) und zwei schräge Augenmuskeln (5–6) erlauben es dem Augapfel, gezielt die Blickrichtung zu wechseln.

schen Augenbewegungen dient das harmonische Zusammenspiel von sechs verschiedenen Augenmuskeln: vier so genannte gerade Augenmuskeln und zwei schräge, die mit der derben Lederhaut über kurze Sehnen verwachsen sind (s. Abb.). Auch die Lage der Augen im Kopf – dem höchsten Punkt des Körpers – sowie seine Beweglichkeit in alle Richtungen stellen einen guten Rundumblick sicher.

Damit das Auge »in Form« bleibt:  
Glaskörper und Kammerwasser

Mit knapp zwei Dritteln wird der weitaus größte Teil des Augeninernen vom durchsichtigen Glaskörper ausgefüllt (s. auch die Abb. auf Seite 20). Der Glaskörper verleiht dem Auge seine kugelige Ge-

# Das Auge – wie wir sehen

Der gelartige Glaskörper bildet räumlich den Hauptanteil des Auges. Beim Erwachsenen sind das rund 4 cm<sup>3</sup> von insgesamt 6,5 cm<sup>3</sup> des Gesamtauges.

Das Kammerwasser hält im Inneren des Auges den richtigen Druck aufrecht ...

... und ernährt die Linse.

stalt. Er besteht überwiegend aus Wasser, Hyaluronsäure und Kollagen. Diese gelartige Struktur wird von einer zarten Haut, der Glaskörpergrenzmembran, zusammengehalten und verflüssigt sich im Alter zunehmend. Damit der Augapfel seine kugelige Form behält und nicht »einfällt«, muss allerdings ein gewisser Innendruck im Auge herrschen.

Dieser Augeninnendruck wird hauptsächlich vom **Kammerwasser** aufrechterhalten. Die farblose und durchsichtige Flüssigkeit wird vom Gewebe des **Ziliarkörpers** gebildet, der hinter der Regenbogenhaut ringförmig der inneren Wand des Auges anliegt (s. Abb. Seite 26) und fortwährend neue Flüssigkeit produziert. Sie füllt den Raum zwischen Regenbogenhaut und Linse aus – die **hintere Augenkammer** – und fließt durch die Pupille nach vorn in die etwa drei Millimeter tiefe **vordere Augenkammer**.

Das Kammerwasser hat auch eine ernährende Funktion für die Linse: Es enthält alle wichtigen Substanzen, die die Linse für ihren Stoffwechsel braucht. Überschüssiges und verbrauchtes Kammerwasser kann in der vorderen Augenkammer über ein maschenartiges Kanalsystem im so genannten Kammerwinkel abfließen – dort, wo Regenbogenhaut, Hornhaut und Lederhaut zusammentreffen. Mehr über die Bedeutung des Kammerwassers und seiner Abflusskanäle im Kammerwinkel erfahren Sie im Kapitel »Grüner Star« ab Seite 111.

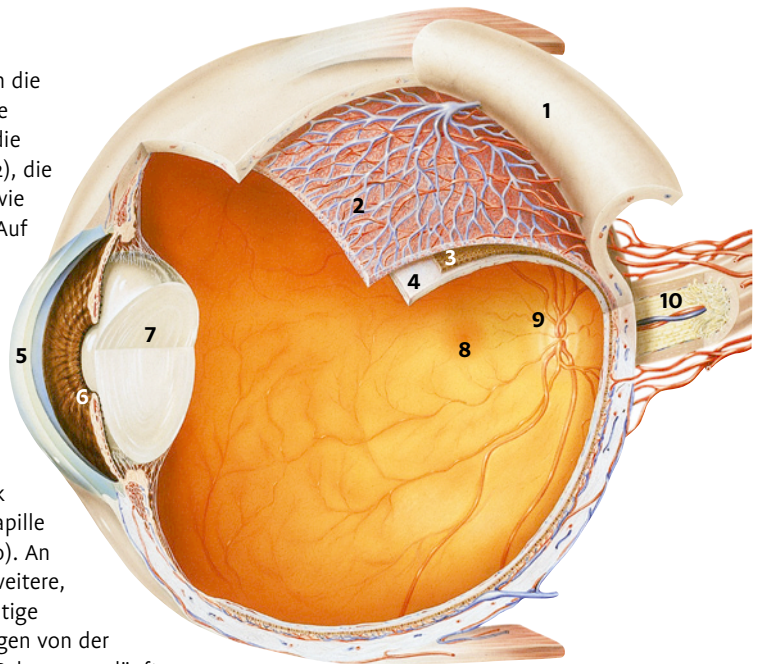
## Wichtig für gutes Sehen: Iris und Linse

Vor allem zwei Faktoren müssen stimmen, damit wir gut sehen: die Helligkeit, also die Lichtmenge, die ins Auge fällt, und die Bildschärfe.

## Die Iris dient als »Blende« im Auge

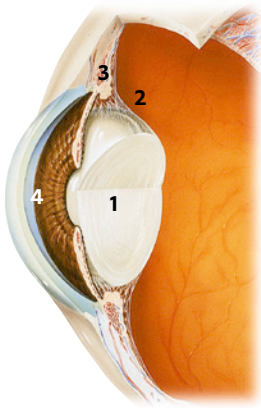
Beim Fotoapparat wird die richtige Lichtmenge über die »Blende« eingestellt. Im Auge übernimmt diese Funktion die **Regenbogenhaut (Iris)**. Sie liegt, wie in der Abbildung zu sehen, unmittelbar vor der Linse und bildet die **Pupille**, die Öffnung, durch die das Licht ins Auge eintritt. An ihrem inneren Rand ist die Regenbogenhaut mit kleinen, gegensätzlich arbeitenden Muskeln ausgestattet, mit denen sie die Größe der Pupille reguliert: Bei Dämmerung oder Dunkelheit weitet sie sich, damit möglichst viel Licht zur Netzhaut gelangt, bei Helligkeit verengt sie sich. Damit durch die Regenbogenhaut selbst kein störendes Licht dringt, enthält sie zahlreiche Farbpigmente, die darüber hinaus unseren Augen ihre blaue, grüne, graue oder braune Farbe verleihen.

**Innenansichten:** Schichtartig liegen die Augenhäute übereinander: außen die schützende Lederhaut (1), darunter die ernährende, gefäßreiche Aderhaut (2), die Pigmentschicht der Netzhaut (3) sowie die lichtempfindliche Netzhaut (4). Auf dem Weg zur Netzhaut muss das Licht zuerst durch die Hornhaut (5) und die von der Iris (6) gebildete Öffnung der Pupille dringen, um durch Linse (7) und den Glaskörper schließlich zum Augenhintergrund zu gelangen. Die Stelle des schärfsten Sehens liegt in der Netzhautmitte und wird gelber Fleck genannt (8). An der so genannten Papille (9) verlässt der Sehnerv das Auge (10). An dieser Stelle treten darüber hinaus weitere, für die Ernährung der Netzhaut wichtige Blutgefäße ins Auge ein. Diese zweigen von der Zentralarterie ab, die innerhalb des Sehnervs verläuft.



# Das Auge – wie wir sehen

Die Regenbogenhaut ist eigentlich keine eigenständige Struktur. Sie gehört vielmehr als Bestandteil zur so genannten **Aderhaut**, die im Inneren des Auges der Lederhaut direkt anliegt und sie rundherum auskleidet. Wie ihr Name bereits sagt, ist die Aderhaut von einem dichten Netz feinsten Blutgefäßchen durchzogen, die Sauerstoff und Nährstoffe, insbesondere für die am Augenhintergrund liegende Netzhaut, anliefern und Abfallprodukte des Stoffwechsels entsorgen.



*Die Auglinse (1): Sie ist über elastische Fasern (Zonulafasern, 2) am ringförmigen Ziliarkörper (3) aufgehängt, der auch das Kammerwasser produziert. Diese ernährnde Flüssigkeit füllt die schmale hintere Augenkammer – zwischen Linse und Regenbogenhaut – sowie die größere vordere Augenkammer (4) aus.*

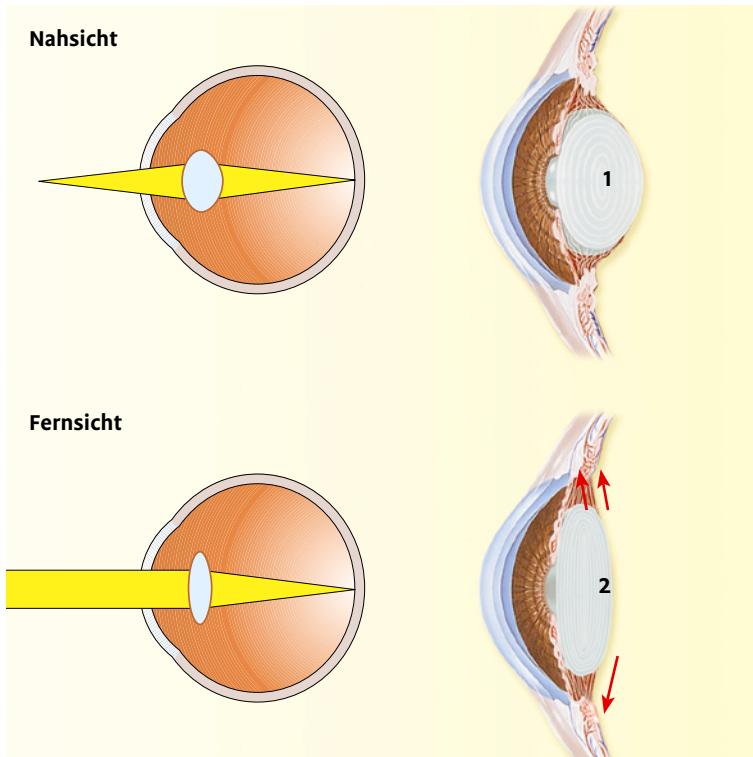
## Die Linse sorgt für scharfes Sehen

Die Auglinse ist zentral hinter der Pupille mit elastischen Fasern (*Zonulafasern*) am ringförmigen **Ziliarkörper** aufgehängt, der auch das Kammerwasser produziert (s. Seite 24).

Das Licht wird beim Eintritt ins Auge am stärksten in der Hornhaut gebrochen. Die **Auglinse** ist in der Lage, die einfallenden Lichtstrahlen genau so zu bündeln und zu lenken, dass sie an der richtigen Stelle auf die Netzhaut treffen, d. h. die Auglinse stellt das Bild scharf, egal ob wir entspannt in die Ferne schauen oder die Zeitung lesen. Erst mit der Linse kann sich das Auge also auf wechselnde Entfernungen einstellen.

Wie schafft sie das? In einem Fotoapparat müssen Linsen im Objektiv jeweils vor- oder zurückgeschoben werden, um die richtige Entfernung einzustellen. Die Auglinse löst das Problem auf eine andere Weise. Sie ist elastisch und kann ihre Form verändern: Für nahes Sehen, etwa beim Lesen, muss das Licht stärker gebrochen werden. Dann rundet sich die Linse ab. Für das Sehen auf große Entfernungen, etwa um einen Vogel in der Luft zu beobachten, muss das Licht weniger gebrochen werden. Dann ist die Linse flach.

Diese Fähigkeit zur Brechkraftänderung und damit zur Entfernungsanpassung nennt man **Akkommodation** (von lat. *accommodare* = anpassen). Genau genommen wird die Akkommodation



**Akkommodation:** Um sich von Fern- auf Nahsehen umzustellen, kann die Linse ihre Brechkraft mithilfe des Ziliarmuskels anpassen. Von Natur aus ist die Linse, wie oben zu sehen, beinahe kugelig und damit auf nahes Sehen eingestellt (1). Beim Blick in die Ferne (unten) wird sie vom ringförmigen Ziliarmuskel über die elastischen Ziliarbänder flach gezogen (2). Muskel und Bänder arbeiten dabei gegensinnig: Ist der Ziliarmuskel entspannt, sind die Bänder straff und üben Zug aus. Umgekehrt erschlaffen die Bänder, wenn sich der Ziliarmuskel anspannt. Dann kann die Linse ihre ursprünglich kugelige Form wieder annehmen.

# Das Auge – wie wir sehen

## **Akkommodation:**

An- und Entspannung des Ziliarmuskels steuert die Linsenform.

erst durch das Zusammenspiel von drei Elementen möglich: der elastischen Linse selbst, den Zonulafasern, mit denen die Linse am Ziliarkörper verankert ist, und den Muskeln des Ziliarkörpers als »Motor« für die Formänderung der Linse. Der Ziliarkörper enthält zahlreiche Muskelfasern, die zusammengenommen als **Ziliarmuskel** bezeichnet werden. Indem er sich an- und entspannt, zieht der Ziliarmuskel mal stärker, mal schwächer an den Aufhängebändern der Linse und bringt sie auf diese Weise in die jeweils gewünschte Form (s. Abb. Seite 27). Wenn wir entspannt schauen, ist das Auge auf Sehen in der Ferne eingestellt, weil sich der Ziliarmuskel dann im »Ruhezustand« befindet. Er wird erst dann aktiv, wenn wir uns auf nahe gelegene Objekte konzentrieren. Das merken wir beispielsweise daran, dass langes Lesen anstrengt und die Augen ermüden.

## Was ist Alterssichtigkeit?

In der Jugend ist die Fähigkeit zu akkommodieren am stärksten, im Laufe des Lebens lässt sie jedoch mehr und mehr nach. Grund ist, dass die Verformbarkeit der Linse mit zunehmendem Alter abnimmt und sie für das Nahsehen nicht mehr die nötige Brechkraft aufbringen kann. Wenn Kleingedrucktes unscharf und schlecht lesbar wird und wir unbewusst Buch oder Zeitung etwas weiter weg halten, dann brauchen wir eine Lesebrille. Diese so genannte Alterssichtigkeit – im Fachbegriff *Presbyopie* genannt – ist also nicht krankhaft, sondern Teil des natürlichen Alterungsprozesses.

Wann die Lesefähigkeit nachlässt, ist individuell verschieden und hängt vor allem vom ursprünglichen Brechungszustand des Auges ab, also davon, ob das Auge bisher normalsichtig war



oder etwa eine Kurz- oder Weitsichtigkeit besteht. Wer keinen Sehfehler hat, braucht in der Regel zwischen 45 und 48 Jahren eine Lesebrille, Weitsichtige meist schon früher, Kurzsichtige oft erst später.

### Wie das Bild entsteht, das wir sehen

Als »Filmebene« fungiert im Auge die innerste und lichtempfindliche Schicht, die Netzhaut beziehungsweise die Retina. Nachdem die Lichtstrahlen in der Linse richtig gebündelt wurden und durch den Glaskörper gedungen sind, kommen sie am Augenhintergrund an. Hier treffen sie auf die Sehzellen, die die Lichtsignale in Nervenimpulse umwandeln und über den Sehnerv zum Gehirn schicken.

#### Netzhaut – komplexes Nervennetz

Die Netzhaut ist ein Wunderwerk an Komplexität. Auf engstem Raum drängen sich hier viele Millionen Seh- und Nervenzellen dicht zusammen und bilden ein hoch kompliziertes Netz aus Nervenbahnen und Nervenverschaltungen. Dieser Aufwand ist erforderlich, weil die Retina nicht nur einen **Umwandler von Licht- in Nervenimpulse** darstellt, sondern gleichzeitig die im Licht enthaltene Information in einem ersten Schritt verarbeitet und für die weiteren Verrechnungsprozesse im Gehirn aufbereitet. Entsprechend ihrer hohen Leistung hat die Netzhaut einen sehr hohen Sauerstoffverbrauch.

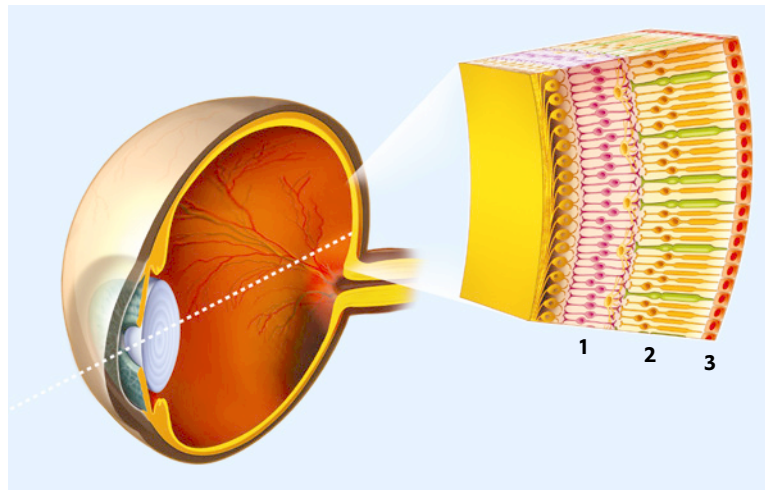
Wie die Verbindungen auf einem Computerchip sind die Nervenzellen der Retina auf komplizierte Weise miteinander verschaltet.

Bereits die Netzhaut ist in der Lage, Farben zu unterscheiden, Bewegungen zu erkennen und Kontraste zu verstärken. Das alles schafft die Retina, obwohl sie nur so klein ist wie eine Briefmarke

# Das Auge – wie wir sehen

und mit einem halben Millimeter hauchdünn. In ihrer Peripherie, an ihrem äußeren Rand, ist sie sogar nur einen viertel Millimeter schmal. Darüber hinaus bringt sie auf diesem engsten Raum unterschiedliche Zelllagen unter.

Die äußere, der Ader- und Lederhaut zugewandte Lage besteht aus pigment-, d. h. farbstoffhaltigen, lichtundurchlässigen Zellen. Diese **Pigmentschicht** hat mit der Lichtverarbeitung direkt nichts zu tun. Sie hat verschiedene andere Aufgaben, z. B. übt sie eine gewisse Schutz- und Ernährungsfunktion für die Sehzellen aus. Weiterhin verhindert sie, dass Lichtstrahlen nach hinten verloren gehen, und schluckt störendes Streulicht, das im Auge durch Reflexion entsteht. Damit ist die Pigmentschicht auch für das scharfe Sehen wichtig.



**Die Netzhaut:** Sie ist aus mehreren Zelllagen aufgebaut: Das Licht trifft zuerst auf eine Schicht verschiedener Nervenzellen, die untereinander vernetzt sind (1). Dahinter erst liegt die eigentliche Sehzellenschicht der Stäbchen und Zapfen (2). Den Abschluss bildet eine Pigmentschicht (3).

Erst die nächste Lage wird von den unvorstellbar vielen, 126 Millionen winzigen Sehzellen gebildet, die das Licht aufnehmen: die nach ihrer Form benannten langen, dünnen Stäbchen und die kürzeren, spitz zulaufenden Zapfen. Bei den **Stäbchen** und **Zapfen** handelt es sich um hoch spezialisierte Nervenzellen, die fähig sind, auf Lichtreize zu reagieren. Sie dienen damit als Lichtrezeptoren (*Rezeptor* = Empfänger). Die Lichtsinneszellen stammen direkt von Nervenzellen des Gehirns ab. Obwohl die Retina die innerste Augenschicht bildet, gehört sie also ursprünglich gar nicht zum Auge, sondern entsteht – schon in einem sehr frühen Stadium der Embryonalentwicklung – aus einem bestimmten Hirnabschnitt, dem so genannten Zwischenhirn.

Die Verbindung zwischen der Netzhaut und dem Gehirn wird vom Sehnerv gebildet (s. dazu die Abb. Seite 34). Der Sehnerv setzt sich aus den Ausläufern der Nervenzellen zusammen, die die anderen inneren, d. h. dem Glaskörper zugewandten Netzhautlagen bilden. In der Grafik links sind sie mit Ziffer 1 gekennzeichnet. Diese Nervenzellen sind untereinander wie die Drähte auf einem Computerchip vielfach verknüpft und verschaltet. Das Licht muss also auf dem Weg zu seinem Ziel – den Sehzellen – erst diese vorgelagerten Schichten aus Nervenzellen und -leitungen durchqueren.

## Aufgabenteilung in der Netzhaut

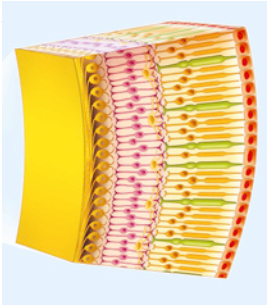
Kommen wir nochmals auf den Vergleich mit einer Kamera zurück: Wer fotografiert, kennt ein Problem, das auch das Auge zu lösen hat. Um bei Tag genauso schöne und farbtreue Bilder zu bekommen wie etwa bei einem Fest am Abend, muss man je nach Situation zwischen unterschiedlich empfindlichen Filmsorten, z. B. für Tages- oder Kunstlicht, auswählen. Wie schafft es das Auge,

## INFO

### Die Sehzellen

120 Millionen lange, dünne Stäbchen und 6 Millionen kurze, spitz zulaufende Zapfen stehen dicht an dicht auf der Netzhaut.

# Das Auge – wie wir sehen



Stäbchen (orange) und Zapfen (grün) sind unterschiedlich empfindlich (schematische Zeichnung).

all die verschiedenen Lichtverhältnisse und Farben getreu wiederzugeben? Es arbeitet – ganz ähnlich – mit verschiedenen Sehzelltypen. Zunächst unterscheiden sich die Stäbchen und Zapfen in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Licht: Den Stäbchen genügt bereits das wenige Licht bei Dämmerung, um etwas »zu sehen«. Die Zapfen dagegen brauchen eine höhere Lichtintensität. Sie sind daher erst bei Tag »aktiv«.

Auch die Empfindlichkeit für verschiedene Wellenlängen des Lichts, also für Farben, ist auf ähnliche Weise aufgeteilt. Nur die tagaktiven Zapfen sind in der Lage, Farben zu erkennen. Dabei sind die Zapfen selbst nochmals in drei verschiedene »Arbeitsgruppen« aufgeteilt, die jeweils den roten, den grünen und den blauen Anteil des Lichts verarbeiten. Vereinfacht gesagt, bilden sie drei verschiedene »Farbkanäle«. Aus den Informationen dieser drei Komponenten mischt das Gehirn später all die unzähligen Farbeindrücke und -nuancen, die wir kennen.

Stäbchen können dagegen keine Farben erkennen, sondern sind vielmehr für das Hell-Dunkel-Sehen zuständig, d.h. sie liefern »nur« Schwarzweißbilder. Dafür nehmen sie Bewegungen sehr gut wahr.

## Hell- und Dunkel-Sehen

Bei Tag können wir Farben erkennen, weil wir mit den Zapfen sehen. Bei Dämmerung erscheint dagegen alles grau in grau, da dann die Stäbchen aktiv sind, die das Schwarz-Weiß-Sehen vermitteln.

Die Anpassung an die unterschiedliche Helligkeit geschieht über den nach seiner Farbe benannten Sehpurpur der Stäbchen (*Rhodopsin*). Er bleicht unter hellem Licht aus und regeneriert sich in der Dunkelheit, um dann entsprechend wieder das Sehen in der Dämmerung und im Dunkeln zu vermitteln. Bei Helligkeit sind die Zapfen mit ihren Pigmenten in Funktion. Außerdem passt sich die Pupillenweite den unterschiedlichen Lichtverhältnissen an. In

der Peripherie sind teilweise mehrere Stäbchen zu einem Element zusammengeschaltet, was das Erkennen bei herabgesetzter Beleuchtung und Dunkelheit besser ermöglicht.

### Gelber Fleck: Stelle des schärfsten Sehens

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionen und Fähigkeiten sind Stäbchen und Zapfen nicht gleichmäßig auf der Retina verteilt. Die Stelle der Netzhaut, mit der Sie gerade diese Zeilen lesen, ist z. B. nur mit Zapfen besetzt. Wegen ihres Aussehens bezeichnet man sie als **gelben Fleck** oder im Fachbegriff *Macula lutea* (von lat. *macula* = Fleck und *luteus* = gelb). In der Abbildung auf Seite 25 ist die Lage des gelben Flecks, ungefähr in der Mitte der Netzhaut, gut zu sehen. Nur auf diesem stecknadelkopfkleinen Bezirk findet das eigentliche »scharfe« Sehen statt – die lichtempfindlichen Zapfen drängen sich hier besonders dicht.

Auch sonst unterscheidet sich der gelbe Fleck von seiner Umgebung. Das zarte Gewebe ist an dieser Stelle sehr dünn und bildet eine Mulde, weil die vorgelagerten Nervenzellen sich ein wenig zur Seite geschoben haben, um möglichst viel Licht zu den Sehzellen durchdringen zu lassen. Daher wird der gelbe Fleck auch *Fovea* oder Sehgrube genannt. Mitten im Zentrum der Fovea gibt es also nur Zapfen und keine Stäbchen. Dies ist auch der Grund, warum bei Dunkelheit das foveale Sehen nicht mehr funktioniert und wir nicht mehr so scharf sehen wie am Tag. Die Stäbchen, die in der Netzhautmitte fehlen, sind dafür auf dem übrigen Teil der Retina recht gleichmäßig verteilt. Die Anzahl der Zapfen nimmt dagegen zum Rand der Netzhaut hin ab. Im äußeren Bereich des Sehfeldes sehen wir daher zwar relativ unscharf und grau, dafür nehmen wir hier Bewegungen sehr gut wahr, weil die Stäbchen regelrechte »Bewegungsmelder« sind.

Die Zapfen in der Mitte der Netzhaut sind darüber hinaus für das genaue und »feine« Sehen bei Tag zuständig.

Stäbchen können zwar keine so scharfen Bilder liefern, nehmen dafür aber Bewegungen sehr gut wahr.