

Bau und Funktion des Auges

Das Auge ist das Sinnesorgan des **visuellen Systems** (lat. *visus*, Sehen). Es besteht aus drei Schichten (Abb. 70.1).

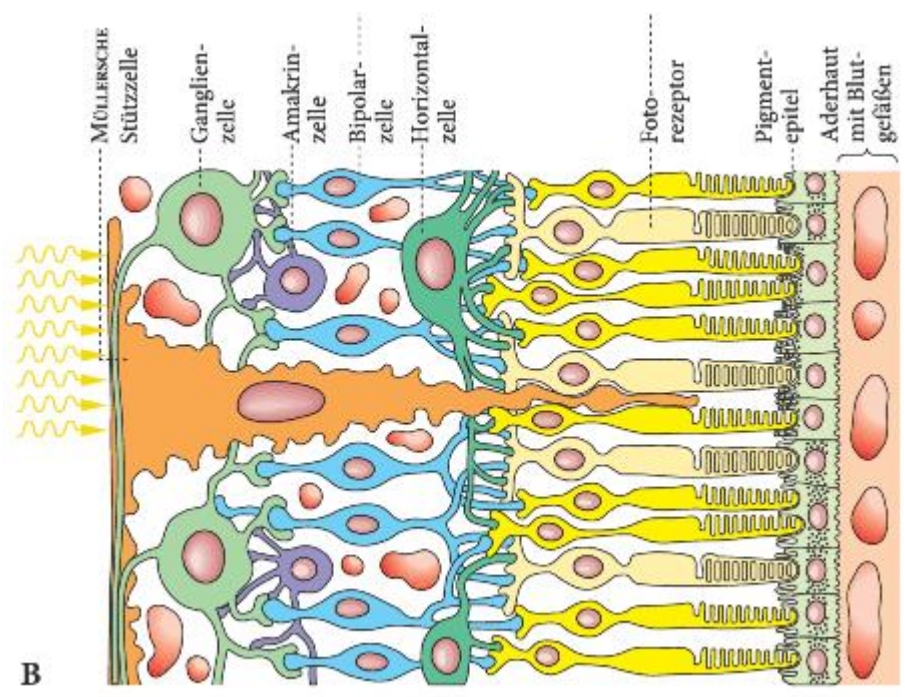
Die äußerste Schicht ist die **robuste Lederhaut**, die **vorne in die durchsichtige Hornhaut** übergeht. An der **Lederhaut setzen die Augenmuskeln** an, welche eine Bewegung des Augapfels in der Augenhöhle ermöglichen. Die **Hornhaut ist von der Bindehaut überzogen**, einer transparenten Schleimhaut. Sie schützt die Hornhaut vor Verletzung und Austrocknung.

Die **pigmentierte mittlere Schicht** besteht aus **Aderhaut, Ziliarkörper und Iris**. Die Aderhaut enthält zahlreiche Blutgefäße, welche die innere Schicht des Auges versorgen. Die nach außen gewandte Seite ist stark pigmentiert und lichtdicht. Dadurch wird sichergestellt, dass **Licht nur über die Pupille ins Auge** gelangt. Die Öffnungsweite der Pupille bestimmt den Lichteinfall ins Auge. Sie wird durch Muskelkontraktionen der **Iris** reguliert, die je nach Pigmentierungsstärke blau, grau, grün oder braun gefärbt ist (gr. *iris*, Regenbogen).

Zwischen **Iris und Lederhaut** liegt der ringförmige **Ziliarkörper**, der den **Ziliarmuskel** enthält. Durch **Muskelkontraktion** passt er die **Brechkraft der elastischen Linse** der Entfernung des betrachteten Objektes an. Dieser Vorgang wird **Akkommodation** genannt.

Die lichtbrechenden Elemente des Auges sind Hornhaut, Linse und Glaskörper. Sie projizieren ein Bild der Umwelt auf die mehrschichtige Netzhaut. In der Netzhaut befinden sich unterschiedliche Arten von Nervenzellen:

1. FOTOREZEPTOREN
2. Bipolarzellen
3. Ganglienzellen
4. Horizontalzellen und Amakrinzellen



Schematische Darstellung der Netzhaut

1. Fotorezeptoren:

Es sind die lichtempfindlichen Sinneszellen, die das auftreffende Licht in ein elektrisches Signal umwandeln. Entsprechend ihrer Struktur und Funktion werden Stäbchen und Zapfen unterschieden.

In der Netzhaut befinden sich etwa 120 Millionen Stäbchen – sie sind lichtempfindlicher und für das Sehen bei spärlichen Lichtverhältnissen angepasst.

Die Zapfen (etwa 6 Millionen Sinneszellen) hingegen benötigen höhere Lichtintensitäten und sie erreichen ihr Aktivitätsmaximum nur bei Tageslicht. Menschen besitzen drei verschiedene Zapfentypen: Blau-, Grün- und Rotrezeptoren, die jeweils bei unterschiedlichen Wellenlängen ihr Absorptionsmaximum haben. Die Zapfen sind hauptsächlich im Gelben Fleck konzentriert, dem Zentrum der Netzhaut. Von der Mitte ausgehend nimmt die Zapfendichte zum Rand des Gelben Fleckes rapide ab. Umgekehrt verhält es sich mit den Stäbchen: Im Zentrum fehlen sie, ihre größte Dichte haben sie im Randbereich des Gelben Fleckes. Dieser Bereich ermöglicht das Sehen bei Nacht.

2. Bipolarzellen:

Sie sammeln die Informationen der Fotorezeptoren und leiten sie an die Ganglienzellen weiter.

3. Ganglienzellen:

Die Axone der Ganglienzellen bilden zusammen den Sehnerv; erst in den Axonen der Ganglienzellen werden Aktionspotentiale ausgebildet; diese werden an das Gehirn weitergeleitet. Die Stelle, an der der Sehnerv das Auge verlässt, ist frei von Fotorezeptoren und wird blinder Fleck genannt.

Den insgesamt 126 Millionen Fotorezeptoren der Netzhaut stehen eine Million Ganglienzellen gegenüber. Im Zentrum des Gelben Fleckes sind die Fotorezeptoren eins zu eins auf eine Ganglienzelle verschaltet. Es ist deshalb der Netzhautbereich des schärfsten Sehens bei Tageslicht.

Mit zunehmender Entfernung vom Zentrum des Gelben Fleckes werden immer mehr Fotorezeptoren zusammen auf eine Ganglienzelle verschaltet.

Horizontalzellen und Amakrinzellen:

Der Signalfluss von den Fotorezeptoren über die Bipolarzellen zu den Ganglienzellen kann über Quervernetzungen durch weitere Neuronentypen – Horizontalzellen und Amakrinzellen- beeinflusst werden. Beide greifen hemmend im Bereich der Synapsen zwischen Fotorezeptoren und Bipolarzellen, bzw. zwischen Bipolar- und Ganglienzellen ein.

Die Netzhaut wird nach außen durch das **Pigmentepithel begrenzt** (71.1 B). Dieses vermittelt den **Stofftransport zwischen Aderhaut und den lichtempfindlichen Fotorezeptoren**, welche mit ihren Endgliedern in das Pigmentepithel eintauchen. Durch den hohen Pigmentanteil **verhindert das Epithel Lichtstreuungen im Auge**, indem es bis hierher vorgedrungenes Restlicht absorbiert. Damit erhöht es die Bildauflösung und Sehschärfe.

Bemerkenswert ist, dass die Fotorezeptoren auf der lichtabgewandten Seite der Netzhaut liegen. Das **Licht muss erst die anderen Netzhautschichten durchdringen, bevor es auf die Fotorezeptoren trifft** (Abb. 71.1 B). Dadurch müsste es eigentlich abgeschwächt und gestreut werden. Aufgrund dieser scheinbar verkehrten Konstruktion wird das **Wirbeltierauge** auch als **inverses Auge** (lat. *inversus*, umgekehrt) bezeichnet.

Neue Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass im Wirbeltierauge **fast keine Streuung und Intensitätsverluste auftreten**. Entscheidend für das gute Sehvermögen der Wirbeltieraugen sind **MÜLLERSche Stützzellen** (Abb. 71.1 B und C). Diese trichterförmigen Gliazellen durchspannen die Netzhaut von einer Seite zur anderen. Mit ihrem verbreiteten Vorderende sammeln sie das Licht und leiten es direkt zu den Fotorezeptoren weiter.

Die **Fotorezeptoren verbrauchen mehr Sauerstoff als jede andere Zelle** unseres Körpers. Für ihre Funktionstüchtigkeit und damit optimale Sehschärfe ist eine **effiziente Sauerstoff- und Nährstoffversorgung notwendig**. Diese wird durch die **unmittelbare Nachbarschaft zum Pigmentepithel und den Blutgefäßen** gewährleistet.