

Universität Ulm
Medieninformatik

Sehen in 3 D
Dagmar Peters

Proseminar
Computergrafik
Betreut von Stefan Fiedler

Sommersemester 2002

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	03
Überblick über die Geschichte des dreidimensionalen Sehens	04
Der Aufbau des Auges	07
Die Bilderzeugung	07
Reizaufnahme	08
Das räumliche Sehen	08
Kurz	09
Die drei Abstufungen des Sehens	10
Entwicklung zum Linsenauge	10
Das Facettenauge	10
Die Auswirkung des Auges auf das Leben	11
Brechkraft	12
Kurzsichtigkeit	12
Weitsichtigkeit	12
Stabsichtigkeit	13
Farbenblindheit	13
Tiefenwirkungen	14
Größenkonstanz	14
Verdeckung	14
Luftperspektive	14
Bewegungsparallaxe	15
Quellen und Literatur	16

Einleitung

Unsere Umgebung ist dreidimensional und unser ganzes Sehen hat sich darauf ausgerichtet.

Als man entdeckte, dass die Bilder auf die Netzhaut verkehrt herum projiziert werden, glaubte man zeitweise, dass Babys nicht gut sehen können, weil sie die Welt auf dem Kopf ansehen müßten. Tatsächlich spielt das für die Verarbeitung von Informationen überhaupt keine Rolle. Beispielsweise hat ein Textverarbeitungsprogramm auch keine Probleme mit der Rechtschreibkorrektur, wenn man den Monitor umdreht.

Man sieht einen Gegenstand, greift danach und hält ihn in den Händen. Ohne das Vermögen räumlich, also dreidimensional, zu sehen, wäre uns dies nicht möglich. Schon 280 vor Chr. wurde die Tiefenwahrnehmung zum ersten Mal bewusst wahrgenommen. Seit damals hält die Begeisterung und das Forschen in diesem Bereich an. Heutzutage ist man schon in der Lage einen räumlichen Eindruck künstlich herstellen, doch wie dieser Seheindruck wirklich in das Bewußtsein kommt, ist bisher unverstanden. Hier ist die derzeitige Grenze der Wissenschaft. Um eine künstliche Tiefenwirkung erzielen zu können, muss man das menschliche Sehsystem verstanden haben und seinen Aufbau betrachten. Im Folgenden möchte ich hierzu einen Einblick in das dreidimensionale Sehen geben.

Überblick über die Geschichte des dreidimensionalen Sehens

Schon lange befassen sich die Menschen damit wie aus einem zweidimensionalen Bild der räumliche Eindruck entsteht, aber wie der Seheindruck in das Bewusstsein kommt, ist bisher unverstanden

- ca. 280 v. Chr. Dem Mathematiker Euklid wurde bewusst, dass eine Tiefenwahrnehmung, also die 3. Dimension, nur mit zwei Augen wahrgenommen werden kann.
2. Jhd. n. Chr. Claudius Galen kann als Entdecker des räumlichen Sehens bezeichnet werden, wegen seiner genauen und richtigen Darlegung.
- ca. 1833 Der englische Physiker Sir Charles Wheatstone zog den Schluss, dass die zwei unterschiedlichen Teilbilder, die beim räumlichen Sehen in jedem Auge erzeugt werden, auch künstlich hergestellt werden können. Wenn man die künstlich hergestellten Bilder getrennt den Augen zeigt, entsteht ein dreidimensionaler Effekt. Er erfand auch ein Gerät, das Stereoskop, in dem man diese zwei unterschiedlichen zweidimensionalen Teilbilder, dreidimensional betrachtet werden konnte. Er erkannte, dass es in den zwei Teilbildern identische Stellen gab. Diese Erkenntnis ist Grundlage der geometrischen Zusammenhänge der Stereoskopie, dem räumlichen Sehen. Man kann ihn als den Erfinder der Stereoskopie, der Ausdruck stammt auch von ihm, ansehen.
- 1844 Der englische Physiker Sir David Brewster fand heraus, dass bei der Betrachtung von sich wiederholenden Mustern mit kleinen gegenseitigen Abweichungen dreidimensionale Effekte gesehen werden können. Dieser Effekt geht darauf zurück, dass das Gehirn verschiedene Einheiten der sich wiederholenden Muster zusammenfasst. Dabei wird die Tiefe durch die Dauer der Wiederholungen der Muster festgelegt. Da inzwischen die Fotografie erfunden worden war, konstruierte David Brewster eine Kamera, die die Gesetze der Stereoskopie umsetzte. Er kann somit als Erfinder der Stereofotografie bezeichnet werden.
- 1853 Der deutsche Wilhelm Rollmann und 1858 der Franzose J. Ch. D'Almeida entwickelten unabhängig voneinander das Anaglyphenverfahren. Die von der Stereoskopie entstandenen Teilbilder werden übereinander gelegt und komplementär eingefärbt. Mittels farbiger Gläser, die den Augen dann wieder zwei verschiedenen Bilder liefern, entsteht ein dreidimensionaler Eindruck.

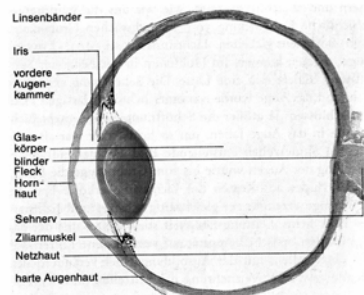
- 1890 William Friese-Green erstellte erste stereoskopische Filmaufnahmen im Hyde-Park.
- 1903 Die Gebrüder Lumiere stellten zur Weltausstellung in Paris erste dreidimensionale Kurzfilme vor, welche allerdings nicht auf eine Leinwand projiziert werden konnten, sondern mit Hilfe eines „Betrachters“ anzusehen waren.
- 1922 Carl Pulfrich entdeckte bei einem Pendelexperiment das nach ihm benannte Phänomen, bei dem durch unterschiedliche Helligkeiten in beiden Augen, die Reize auf neuronaler Ebene zeitversetzt wahrgenommen werden und deshalb ein pseudo-dreidimensionaler Eindruck entsteht.
- 1928 Die „Deutsche Gesellschaft für Stereoskopie“ (DGS) wurde gegründet. Diese organisiert jährlich einen Raumbildtag, welcher auch von den Nachbarstaaten rege genutzt wird.
- 1940 Das erste Random-Dot Stereogram (RDS), Zufallspunkte werden im Gehirn zusammengefasst, wurde zufällig von einer Spitziere über Köln aufgenommen. Dass diese Aufnahme ein RDS ist, wurde erst später von Bela Julesz entdeckt.
- 1948 Dennis Gábor erfand die Holographie. Dies ist eine Technik zur Speicherung und Wiedergabe von Bildern in dreidimensionaler Struktur, die in zwei zeitlich voneinander getrennten Schritten, durch das kohärente Licht von Laserstrahlen erzeugt werden. Er erhielt 1971 für diese Erfindung den Nobelpreis für Physik.
- 1962 Bela Julesz und J. E. Miller zeigen anhand eines RDS-Paares, dass aus Zufallspunkten eine Tiefenwirkung erzeugt werden kann. Bis zu diesem Zeitpunkt glaubt man, dass die stereoskopische Wahrnehmung auf der Netzhaut der beiden Augen stattfindet. Mit Experimenten bei RDS-Bildern bewies er, dass dreidimensionale Eindrücke im Gehirn entstehen.
- 1975 Mehrere stereoskopische Landesverbände gründeten eine internationale Organisation, die „International Stereoscopic Union“ (ISU). Diese führt im zweijährigen Rhythmus internationale Kongresse durch.
- 1983 C. W. Tylor erstellte das erste Single-Image Random-Dot Stereogramm (SIRDS), auch bekannt als Autostereogramm, basierend auf der Wiederholung zufällig erzeugter Muster. Er benutzt hierzu einen Apple II Computer und die Programmiersprache BASIC.
- 1989 In Deutschland wird die DIN 4531 für Stereogramm-Formate eingeführt.

1990

C. Tylor und M. B. Clarks beschrieben einen einfachen, aber asymmetrischen Algorithmus zur Produktion von Stereogrammen aus Mustern, SIRDS. Asymmetrisch bedeutet, dass manche Menschen den dreidimensionalen Effekt nur wahrnehmen, wenn sie das Bild verkehrt herum anschauen.
Autostereogramme werden zum ersten Mal in Amerika in den Handel gebracht.

Der Aufbau des Auges

Abb.1 Augenquerschnitt



Die Wand des Auges wird von der *harten Augenhaut* gebildet. Es folgen nach innen die *Aderhaut* und die *schwarze Pigmenthaut*. Der dunkle Farbstoff (Pigment) verhindert die Reflexion des einfallenden Lichts. Die innerste Schicht ist die Netzhaut oder *Retina*. Sie ist von einem eigenen Blutgefäßnetz überzogen. Der Hohlraum des Auges wird von dem durchsichtigen *Glaskörper*

ausgefüllt.

Den vorgewölbten und durchsichtigen Teil der harten Augenhaut nennt man *Hornhaut*. Die Regenbogenhaut oder *Iris* liegt vorn der Linse auf. Sie umschließt eine kreisförmige Blendenöffnung, die *Pupille*. Die Pupille wird enger, wenn sich die Lichtintensität erhöht, und weiter, wenn die Lichtintensität absinkt. Die Pupille regelt also den Lichteinfall in das Auge.

Die Netzhaut enthält die Sinneszellen. Zwei Stellen fallen in ihr besonders auf: der *gelbe* und der *blinde* Fleck. Der *gelbe Fleck* ist eine flache Einsenkung in der Mitte des Augenhintergrundes. Man nennt ihn auch *Sehgrube* oder *Fovea centralis*. Er ist die Stelle des schärfsten Sehens. Hier stehen die Sinneszellen besonders dicht.

Der blinde Fleck liegt an der Austrittsstelle des Sehnervs. Dort fehlen die Sinneszellen. Trotzdem haben wir kein „Loch“ in unserem Gesichtsfeld, denn der fehlende Bildteil wird im Gehirn aus der Umgebung ergänzt.

Die Bilderzeugung

Die Lichtstrahlen, die von einem Gegenstand in das Auge einfallen, werden durch den optischen Apparat so gesammelt, dass auf der Netzhaut ein umgekehrtes und verkleinertes Bild entsteht.

Es können vom Menschen Wellenlängen zwischen ca. 360 und 700 nm (1 Nanometer = 10^{-9} m) des elektromagnetischen Spektrums, auch sichtbares Licht (mit den Spektralfarben rot, orange, gelb, grün, blau und violett) genannt, wahrgenommen werden.

An der Lichtbrechung sind Hornhaut und Linse beteiligt, wobei die Brechkraft der Hornhaut größer ist als diejenige der Linse, da ihre Vorderseite an Luft grenzt. Sie beträgt 43 Dioptrien.

Die Brennweite ist die Distanz von einer Linse, in der das Bild eines Gegenstandes zum Liegen kommt. Die Brechkraft ist $1 : \text{Brennweite}$ und wird in Dioptrie gemessen. Eine Dioptrie (= 1 D) entspricht der Brechkraft einer Linse von 100 cm Brennweite. Eine Linse von 2 D hat eine Brennweite von $100 : 2 = 50$ cm ($1 : 0,005$ m), eine solche von 60 D eine Brennweite von $100 : 60 = 1,67$ cm.

Je größer die Dioptriezahl, desto kleiner ist die Brennweite.

Reizaufnahme

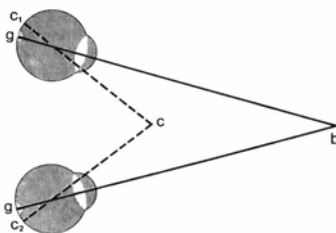
In der Netzhaut dienen der Reizaufnahme zwei Arten von Sehzellen, die Stäbchen und die Zapfen. Auf einen Zapfen kommen beim Menschen 18 Stäbchen. Auf jedem Quadratmillimeter der Netzhaut sitzen durchschnittlich 400000 Sehzellen, in der ganzen Netzhaut etwa 125 Mio. Stäbchen und Zapfen sind nicht gleichmäßig über die Netzhaut verteilt. Im gelben Fleck kommen nur Zapfen vor. In seiner Umgebung sind Stäbchen und Zapfen durchgemischt. Die Randteile der Netzhaut enthalten fast nur Stäbchen, diese sind sehr viel lichtempfindlicher als die Zapfen. Da es nur eine Sorte von Stäbchen gibt, ist das „Stäbchen-Sehsystem“ farbenblind. Von den Zapfen gibt es drei verschiedene Typen, die von jeweils unterschiedlichen Wellenlängen erregt werden, so dass Farben unterschieden werden können. Allerdings sprechen sie wegen ihrer geringen Lichtempfindlichkeit in der Dämmerung nicht mehr an. Im Mondlicht kann man also keine Farben erkennen. Im Hellen sehen wir dafür fast ausschließlich mit den Zapfen.

Bei Erregung durch Licht wird der lichtempfindliche Farbstoff der Stäbchen, Sehpurpur oder auch Rhodopsin genannt, aktiviert und es wird eine Kette von chemischen Prozessen ausgelöst, bis uns der Seheindruck übermittelt wird. Bei starken Reizen kann die Empfindung den Reiz viele Sekunden lang überdauern. Schaut man z. B. in eine Lampe und danach auf eine einheitliche Fläche, sieht man dort die scheinbare Lampe, dies wird positives Nachbild genannt.

Unser Auge passt sich den verschiedenen Helligkeiten an, das nennt man Adaption. Kommt man von einem hellen Ort in einen dunklen, so erscheint einem der dunkle Raum noch viel dunkler. Genauso ist es umgekehrt, kommt man vom Dunklen ins Helle ist man erst einmal geblendet. Nach einiger Zeit hat sich das Auge dann an die neue Umgebung gewöhnt und man kann wieder normal sehen.

Das räumliche Sehen

Abb. 2 Abbildung auf der Netzhaut



Wir sehen einen Gegenstand, den wir mit beiden Augen betrachten einfach, obwohl zwei etwas verschiedene Bilder entstehen. Das ist dadurch zu erklären, dass sich die Gesichtsfelder beider Augen weitgehend überdecken und die Augen so eingestellt werden, dass die gleichen Bilder auf einander entsprechende

Netzhautstellen fallen. Solche Stellen sind der gelbe Fleck, aber auch alle Stellen, die in beiden Augen in derselben Richtung und Entfernung vom gelben Fleck liegen. Bilder dieser Art lösen im Gehirn eine einheitliche Empfindung aus. Entstehen die Bilder jedoch nicht auf den einander entsprechenden Stellen der Netzhaut, dann werden zwei Bilder wahrgenommen. Dies ist z. B. der Fall, wenn man den Daumen direkt an die Nase hält. Mit dem zweiäugigen Sehen hängen das räumliche Sehen und die Tiefenwahrnehmung zusammen. Da das linke Auge den Gegenstand mehr von links, das recht mehr von rechts sieht, entsprechen sich die beiden Bilder nicht völlig. Dies wird deutlich, wenn man den Daumen in Armeslänge weghält und ihn abwechselnd mit dem

rechten und dem linken Auge betrachtet. Der Unterschied zwischen dem Linksbild und dem Rechtsbild löst den Eindruck des körperlichen aus. Dieser Eindruck ist bei nahen Gegenständen größer als bei entfernten. Weiterhin berücksichtigt das Gehirn den Winkel zwischen den Achsen beider Augen und den Akkomodationszustand, also die Krümmung der Linse.

Kurz

Man kann das Auge auch mit einem Fotoapparat vergleichen, wobei eine Kamera diese fünf Hauptteile hat:

- Das auf die Entfernung einstellbare Linsensystem (Objektiv)
- Die Blende zur Regulierung des Lichteinfalls
- Den Bildträger (Film)
- Den Verschluss
- Das Gehäuse

Entsprechend findet man beim Auge:

- Eine starre Frontlinse, die Hornhaut, und eine verstellbare Linse, die Augenlinse, bilden das Linsensystem
- Die Regenbogenhaut als Blende
- Die Netzhaut ist der Bildträger
- Vor dem Auge liegen wie eine Objektivklappe die Lider, die somit das Verschlussystem bilden
- Die Lederhaut, und im weiteren Sinne auch noch die von Knochen umgebene Augenhöhle, bilden das Gehäuse

Eine Blende ist nur dann wirksam, wenn das Licht nur durch das Loch in der Mitte, nicht aber durch den Blendenkörper selbst hindurch kann. Die Regenbogenhaut ist daher an ihrer Rückseite mit einem stark pigmentierten Teil der Netzhaut überzogen. Diese schimmert bläulich durch die Regenbogenhaut durch und bedingt die Farbe der blauen Augen. Beim braunen Auge ist zusätzlich noch Pigment in der Regenbogenhaut selber eingelagert.

Die drei Abstufungen des Sehens sind

- Helligkeitssehen, als einfachste Form
- Richtungssehen, als nächste Entwicklungsstufe
- Bildsehen, das „wirkliche“ Sehen

Das Auge ist, entwicklungsgeschichtlich gesehen, ein Hirnteil. Im Gegensatz zu den Gehirnhäuten, die lose aufeinander liegen, sind diese Häute beim Auge fest zu einem Organ verbunden, dem Augapfel (Bulbus oculi).

Entwicklung zum Linsenauge

Die Flachaugen (bei Quallen, Seesternen, Ringelwürmern) enthalten relativ wenige Sehzellen. Weil ein optischer Apparat fehlt, können solche Augen nur die ungefähre Richtung des einfallenden Lichts bestimmen.

Bei anderen Tieren, wie den Strudelwürmern und Schnecken senkt sich der pigmentumhüllte Sehleck becherförmig ein, dies wird Pigmentbecherauge genannt. Durch das Einsenken wird zwar das Sehfeld verkleinert, dafür kann aber die Richtung der Lichtquelle besser bestimmt werden. Zudem kann das Pigmentbecherauge eine ungefähre Vorstellung von der Helldunkelverteilung in der Umgebung vermitteln. Von diesem leitet sich das Grubenaug, oder Lochkameraauge, ab (primitive Tintenfischarten, manche Arten von Würmern und Schnecken). Es entsteht, wenn die Einsenkung Blasenform annimmt und die Öffnung sich bis auf ein kleines Loch verengt. Das Bild ist lichtschwach und nicht besonders scharf. Je enger das Sehloch, desto lichtschwächer, aber auch schärfer ist das Bild.

Vom Grubenaug kann man sich die Entwicklung zum Linsenauge denken. Im Hohlraum in der Nähe der Sehöffnung bildete sich die Linse. Die Sehöffnung erweiterte sich, und das Auge wurde mit einer lichtdurchlässigen Haut abgeschlossen. Je größer die Sehöffnung, um so mehr Licht konnte in das Auge fallen, um so lichtstärker war also das auf den Sinneszellen entstehende Bild. Bei der Höherentwicklung des Auges wurde bis zum Grubenaug die Sehschärfe des Bildes auf Kosten der Lichtstärke erhöht. Erst das Linsenauge erzeugte ein gleichzeitig scharfes und lichtstarkes Bild. Seine Leistungsfähigkeit stieg weiter mit der Fähigkeit das Auge auf verschiedenen Entfernungen einzustellen, mit der Ausbildung einer veränderlichen Blende sowie der Vermehrung der Sehzellen und der Vergrößerung sowohl des Auges, als auch der zugehörigen Zellen im Gehirn.

Das Facettenauge

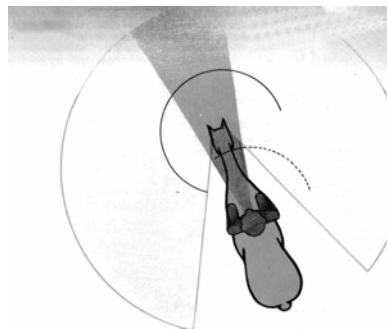
Bei den Facettenaugen (Komplexaugen) der Gliederfüßer sind zahlreiche, optisch voneinander isolierte Einzelaugen zu einem zusammengesetzten Auge vereinigt. Das Einzelaug (Ommatidium) besteht aus einem Lichtbrechungsapparat, Pigmentzellen zur Abschirmung von anderen Einzelaugen und Sinneszellen. Die optischen Achsen nebeneinander liegender Einzelaugen weichen voneinander ab, jedes Einzelaug „blickt“ also in eine andere Richtung.

Damit bildet jedes Einzelaug ein anderes Ausschnitt aus der Umgebung ab. Das von den Einzelaugen entworfene Gesamtbild ist aufrecht und setzt sich mosaikartig aus so vielen Bildpunkten zusammen, wie es Einzelaugen gibt. Die Bildschärfe des Facettenauges hängt daher von der Anzahl der Einzelaugen ab. Ein Einzelaug bildet eine relativ große Fläche der Umwelt ab, so dass sich die Intensität vieler Bildpunkte addieren. Daher haben die meisten von gut ausgebildeten Facettenaugen erzeugten Bilder etwa die gleiche Lichtintensität wie die von Linsenaugen. Auch die Bildschärfe ist bei kleinen Augen in etwa gleich.

Die Auswirkung des Auges auf das Leben

Die Gesichtsfelder unsere Augen überlappen sich, dadurch wird der Gegenstand in beiden Augen auf der Netzhaut abgebildet, wodurch wir räumlich sehen können. Wir haben aber keine Rundumsicht wie es manche Tiere haben. Als Grundregel kann man sagen, dass jagende Tiere ihre Augen vorne haben und Gejagte seitlich am Kopf haben. Für die jagenden Tiere ist räumliches Sehen wichtig, um besser zupacken zu können. Tiere, die allerdings überwiegend gejagt werden, müssen schnell die Gefahr sehen und deshalb sind bei ihnen die Augen seitlich am Kopf angebracht. Sie sehen in jedem Auge dann verschiedene Bilder, was man als Monokulares Sehen bezeichnet. Dies verleiht ihnen eine große Rundumsicht. Beispiele hierfür sind Kaninchen, Hühner, Goldfische oder Pferde. Hühner haben nur ein recht schwaches räumliches Sehen, gerade ausreichend, um gezielt picken zu können, ansonsten ist es für sie wichtiger schnell Gefahren zu erspüren.

Abb. 3 Rundumsicht beim Pferd



Pferde haben ein Gesichtsfeld von etwa 300° im Gegensatz zum Menschen, bei dem es nur etwa 100° sind, dies ermöglicht ihnen auch Gefahr, die von hinten kommt rechtzeitig wahrzunehmen und schnell die Flucht zu ergreifen. Bei ihnen gibt es sogar gar keine Überlappungen, da es für sie keinen Nutzen hätte.

Brechkraft

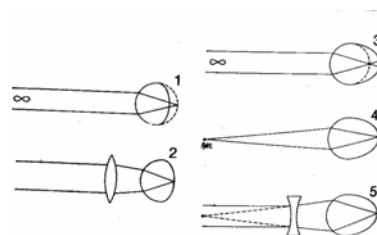
Die Linse wird durch den *Ciliarkörper* in ihrer Lage festgehalten. Sie ist also kein starres Gebilde, sondern kann die Krümmung besonders der vorderen Linsenfläche und damit die Brechkraft ziemlich stark verändern. Die Brechkraft schwankt zwischen 19 D bei Ferneinstellung und 33 D bei Naheinstellung. Die Einstellung erfolgt mit Hilfe des Ciliarkörpers. Er besteht aus dem Ciliarmuskel, der die Linse ringförmig umgibt. Von seiner Innenseite ziehen feine Fasern, die Linsenbänder, zum Rande der Linse. Sie zerren bei der Ferneinstellung des Auges ringsum an der Linse und flachen sie ab. Zum Betrachten naher Gegenstände „akkomodiert“ das Auge. Dabei kontrahieren sich die Fasern des Ciliarmuskels. Dadurch werden die Linsenbänder entspannt, und die Linse kann sich, ihrer natürlichen Elastizität folgend, der Kugelform nähern. Dieser Vorgang vergrößert ihre Brechkraft.

Der nächste Punkt, den man ohne Akkomodation scharf sieht, liegt 5 – 6 m vom Auge entfernt. Mit zunehmendem Alter verliert die Linse an Elastizität, so dass der nächste Punkt, der mit Akkomodation scharf gesehen wird, der Nahpunkt, immer weiter vom Auge abrückt. Bei Siebzigjährigen ist die Linse meist starr und kann sich nicht mehr auf Nahsehen einstellen.

Scharfe Bilder bekommt man beim Fotografieren nur dann, wenn das Bild genau auf den Film, den Bildträger, geworfen wird. Ebenso muss beim Auge das Bild exakt auf der Netzhaut liegen und darf auch nicht verzerrt sein. Dies setzt voraus, dass Größe und Form des Augapfels genau auf die Brechkraft des optischen Systems abgestimmt sind. Mit Hilfe von Brillen kann man heutige Sehschwächen sehr gut korrigieren.

Kurzsichtigkeit (Myopie, gr. *Mýops* = kurzsichtig)

Abb. 4 Fehlsichtigkeiten



Kurzsichtigkeit beruht meist auf einer Verlängerung des Augapfels. Deshalb entsteht das Bild entfernter Gegenstände bereits vor der Netzhaut und ist daher unscharf, während das Bild naher Gegenstände auf die Netzhaut fällt. Durch Vorsetzen einer Streulinse kann das

Bild nach rückwärts verlagert und damit dem Kurzsichtigen geholfen werden.

Weitsichtigkeit (Hyperopie = Hypermetropie, gr. *Métron* = Maß)

Bei angeborener Weitsichtigkeit, im Unterschied zu der Altersweitsichtigkeit, ist der Augapfel zu kurz. Daher werden nahe Gegenstände unscharf gesehen. Dem Weitsichtigen nützt eine Sammellinse, welche das Bild nach vorn zieht.

Stabsichtigkeit (Astigmatismus)

Verzerrungen können z. B. dann entstehen, wenn die Hornhaut nicht gleichmäßig gekrümmt ist. Ist diese z. B. in der Horizontalen anders gekrümmt als in der Vertikalen, so entsteht die Stabsichtigkeit (Astigmatismus). Diese kann durch Vorsetzen von Zylindergläsern ausgeglichen werden. Die Stabsichtigkeit kann mit Kurz- oder Weitsichtigkeit verbunden sein. Auch Hornhautnarben bedingen Verzerrungen des Bildes, die dann meist nicht durch eine Brille auszugleichen sind. In solchen Fällen helfen manchmal Kontaktlinsen. In schweren Fällen ist eine Hornhautverpflanzung nötig.

Farbenblindheit

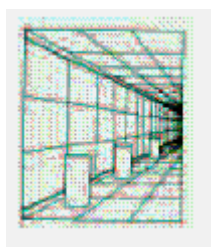
Die Unfähigkeit Farben zu sehen oder zu unterscheiden, nennt man Farbenblindheit. Bei der seltenen totalen Farbenblindheit können keine Farben mehr unterschieden werden, sondern man sieht nur noch Graustufen wie in einem Schwarzweißfilm. Häufiger ist aber die teilweise Unfähigkeit Farben zu erkennen, wie z. B. die Rotgrüschwäche. Die betroffenen Personen können die verschiedenen Farben dann nur noch an ihrer unterschiedlichen Helligkeit erkennen.

Tiefenwirkungen

Es gibt verschiedene Methoden, um einen räumlichen Eindruck zu vermitteln. Jedoch lernt der Mensch dies erst im Laufe seines Lebens über seine Wahrnehmungserfahrungen. Man kann einen räumlichen Eindruck mit Hilfe von: Größenkonstanz, Verdeckung, Luftperspektive und Bewegungsparallaxe erreichen. Diese Tiefenwirkungen kann man auch mit nur einem Auge wahrnehmen.

Größenkonstanz

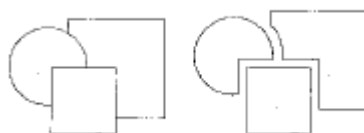
Abb.5 Größenkonstanz



Der Mensch hat gelernt, dass Gegenstände ihre Größe nicht in wenigen Sekunden ändern können. Alles hat eine bestimmte, spezifische Größe, die Dinge sind somit größenkonstant. Kleinere, identische Motive nimmt man darum wegen ihrer Größenkonstanz als entfernter liegend an.

Verdeckung

Abb. 6 Verdeckung



Wir erhalten eine sehr einfache Tiefenwirkung, wenn Objekte andere verdecken. Das verdeckte Objekt muss weiter hinten liegen, als das Verdeckende. Allerdings erhalten wir von dieser Information keinen

Hinweis wie groß der Abstand der einzelnen Objekte untereinander ist, sondern nur, dass ein Objekt vor dem anderen ist.

Luftperspektive

Abb.7 Luftperspektive

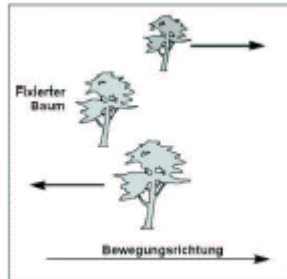


Weit entfernte Objekte erscheinen in Folge der Lichtstreuung in der Luft farblich entsättigt. Sie scheinen auch bei einer größeren Entfernung oft unscharf und bläulich. Dies liegt daran, dass kleine Partikel wie Staub, Wassertröpfchen und verschiedene Verschmutzungen innerhalb der Atmosphäre das Licht abschwächen und

es gebrochen wird.

Bewegungsparallaxe

Abb.8 Bewegungsparallaxe



Wenn sich der Betrachter bewegt, scheinen sich die Bilder von verschiedenen weit entfernten Objekten mit verschiedener Geschwindigkeit über die Netzhaut zu bewegen. Dabei bewegen sich Objekte, die weiter entfernt sind als der fixierte Punkt, in die gleiche Richtung wie das Auge selbst. Bei Objekten, die näher liegen als der Fixierpunkt, scheint es dass sie sich gegen die eigene Bewegungsrichtung bewegen.

Literaturverzeichnis

Linder Biologie, J. B. Metzler

Lehrbuch Anatomie, H. Lippert

Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere, A. S. Romer

Reiten im Bild, H. Werner

http://www.traxdale.de/deutsch/stereogramme_d/theorie_d/theorie_html

<http://home.t-online.de/home/uf-3d-foto/geschichte/kurzgeschichte/kurzgeschichte.html>

<http://www.heise.de/ct/99/07/158/>

<http://www2.inf.fh-rhein-sieg.de/mi/lv/mf/aktuell/stud/Mueller.Roland/>

- Abb. 1 Das Auge
J. B. Metzger; Linder Biologie
- Abb. 2 Das räumliche Sehen
J. B. Metzger; Linder Biologie
- Abb. 3 Das Gesichtsfeld
H. Werner; Reiten im Bild,
- Abb. 4 Brechungsfehler
H. Lippert; Anatomie
- Abb. 5 Größenkonstanz
Schnotz, Wolfgang: Vorlesungsfolien. Psychologie des Visuellen, Landau 1999
- Abb. 6 Verdeckung
<http://www.uni-bielefeld.de/idm/neuro/Gestaltwahrnehmung.html>
- Abb. 7 Luftperspektive
http://www.psychol.uni-giessen.de/pieper/2_5_1/img1.htm
- Abb. 8 Bewegungsparallaxe
http://www.icg.informatik.uni-ostock.de/Lehre/CG1/skripte_hs/CG1_Kap5_6Folien.pdf

