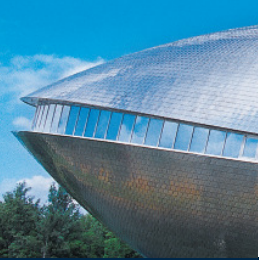


EINE REISE DURCH DAS UNIVERSUM[®] ZUM

SEHEN

HANDREICHUNG FÜR LEHRERINNEN UND LEHRER MIT
ARBEITSMATERIALIEN (SEK I / SEK II)
FÜR DAS UNIVERSUM[®] BREMEN





INHALT

- HINTERGRUNDINFORMATIONEN
- REISEFÜHRER ZUM SEHEN
(ARBEITSBOGEN FÜR
SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER)
- INTERNET-LINKS
- EINBINDUNG IN DIE RAHMENRICHTLINIEN
DES LANDES BREMEN
- EINBINDUNG IN DAS UNIVERSUM[®] BREMEN



HINTERGRUNDINFORMATIONEN

DAS AUGE

FERN- UND NAHSEHEN

AUFBAU DER NETZHAUT

PHOTOTRANSDUKTION

STÄBCHEN UND ZAPFEN

DAS SICHTBARE LICHT

RÄUMLICHE UND ZEITLICHE AUFLÖSUNG

FARBSEHEN

ADDITIVE UND SUBTRAKTIVE FARBMISCHUNG

ADAPTATION

KONTRASTSEHEN UND LATERALE HEMMUNG

TIEFENWAHRNEHMUNG

DAS GESICHTSFELD

DAS SEHEN

Schauen wir uns um und betrachten die Szenerie in unserer Umgebung, nimmt unser Sehsystem eine Unmenge von Reizen auf. Es löst diese Umwelteindrücke in Formen, Farben, Bewegung und Tiefe auf, verarbeitet diese parallel und fügt sie mit Hilfe des Gedächtnisses zusammen.

Erst dann entsteht daraus ein Bild: Die Sonne scheint, die Blumen im Garten sind bunt, ein Freund geht vorbei und winkt uns zu.

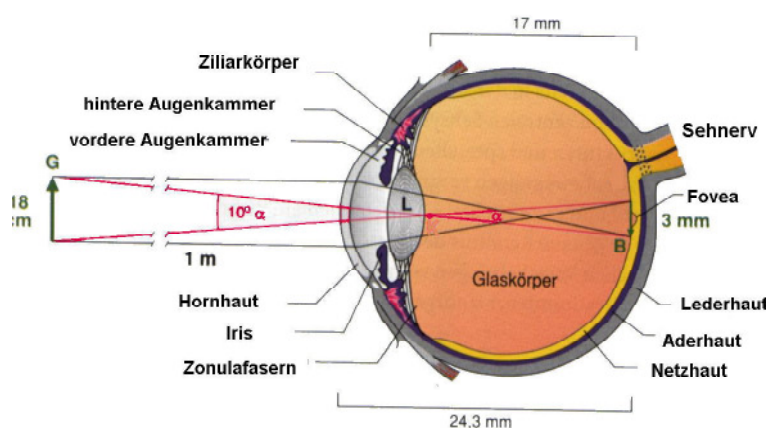
DAS AUGE

Betrachten wir das Auge von außen, fällt uns die farbige Regenbogenhaut, die Iris, auf, die das schwarz erscheinende Sehloch, die Pupille frei lässt. Daneben ist die weiße, von kleinen Blutgefäßen durchzogene Bindehaut zu sehen. Die Hornhaut ist durchsichtig, dahinter liegt die vordere Augenkammer. Im Inneren wird diese Kammer durch die Linse begrenzt, dahinter befindet sich der Glaskörper, dem die Netzhaut (Retina) anliegt. Es folgen Pigmentschicht, Aderhaut und Lederhaut.



Hornhaut, Linse, vordere Augenkammer und Glaskörper bilden ein optisches System. Es sammelt die Lichtstrahlen, die von einem Gegenstand auf das Auge treffen so, dass auf der Netzhaut ein verkleinertes, auf dem Kopf stehendes Abbild des Gegenstandes entsteht.

SCHNITT DURCH DAS MENSCHLICHE AUGE



Die Iris ist ein Muskel, der die Größe der Pupille und somit den Lichteinfall regelt. Mit zunehmender Lichtintensität wird die Pupille enger zusammengezogen: Gehen wir aus einem dunklen Raum ins helle Sonnenlicht, kann die Pupille ihren Durchmesser von ca. 7,5 mm bis zu 1,5 mm verringern. Dieser Reflex ist uns nicht bewusst und wird von unserem vegetativen Nervensystem gesteuert.

Die elastische Linse ist an den sie ringförmig umgebenden Zonulafasern aufgehängt, die mit der Leder- und Aderhaut verbunden sind. Das Kammerwasser im Glaskörper regelt den Augeninnendruck und stabilisiert die Form des Auges. Der Augapfel ist an sechs Augenmuskelpaaren aufgehängt, mit denen er horizontal und vertikal bewegt und gerollt werden kann. So können Objekte im Gesichtsfeld bei Eigen- und Fremdbewegung verfolgt und stabilgehalten werden. Ständige, sprunghaftige Bewegungen der Augen verhindern eine Überbeanspruchung der Sehzellen durch immer gleiches Licht. Die Fähigkeit, beide Augen parallel zu bewegen, ermöglicht es uns, einen Gegenstand in verschiedenen Entfernungen scharf wahrzunehmen.

Die Fähigkeit, beide Augen parallel zu bewegen, ermöglicht es uns, einen Gegenstand in verschiedenen Entfernungen scharf wahrzunehmen.

Die Fähigkeit, beide Augen parallel zu bewegen, ermöglicht es uns, einen Gegenstand in verschiedenen Entfernungen scharf wahrzunehmen.

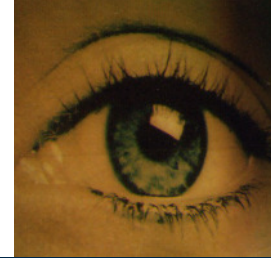
Die Fähigkeit, beide Augen parallel zu bewegen, ermöglicht es uns, einen Gegenstand in verschiedenen Entfernungen scharf wahrzunehmen.

FERN- UND NAHSEHEN

Beim Fixieren eines Gegenstandes werden die Augen so zueinander gedreht, dass der Gegenstand in beiden Augen in der Sehgrube, der Fovea centralis, abgebildet wird.

Da der Abstand zwischen Linse und Netzhaut nicht verändert werden kann, muss zum Scharfsehen die Brennweite der Linse verändert werden. Dieser Mechanismus wird als Akkomodation bezeichnet.

Wenn wir unsere Augen geschlossen halten oder in die Ferne sehen, werden die Zonulafasern durch den Augeninnendruck gespannt: Die Linse ist flachgezogen, das Auge ist fernakkomodiert. Beim Blick in die Nähe zieht sich der Zilliarmuskel zusammen: Die Linse wird wegen ihrer Eigenelastizität dicker, die Brennweite nimmt ab, das Auge ist nahakkomodiert.



AUFBAU DER NETZHAUT

Die Netzhaut ist der eigentliche Sinnesapparat des Auges. Sie übernimmt einen Grossteil der Bildauswertung, indem sie die 126 Millionen Informationseinheiten, die die Lichtsinneszellen verarbeiten können, auf ca. 800.000 zusammenfasst. Das einfallende Licht muss zunächst die weiterverarbeitenden Schichten der Netzhaut durchqueren, bis es auf die Lichtsinneszellen, die Photorezeptoren, trifft.

Die Photorezeptoren sind über Bipolarzellen und den Ganglienzellen mit dem Sehnerv verbunden. Quer dazu verschalten Horizontalzellen mehrere Photorezeptoren und Amakrine Zellen mehrere Ganglienzellen miteinander.

Bipolar-, Amakrine und Horizontalzellen bilden wie die Photorezeptoren keine Aktionspotentiale aus, sondern erzeugen ein elektrotonisches Feld. Die Ganglienzellen fassen die Information aus den Photorezeptoren zusammen und wandeln sie in Aktionspotentiale um, die über den Sehnerv an Sehzentren im Gehirn weitergeleitet werden.

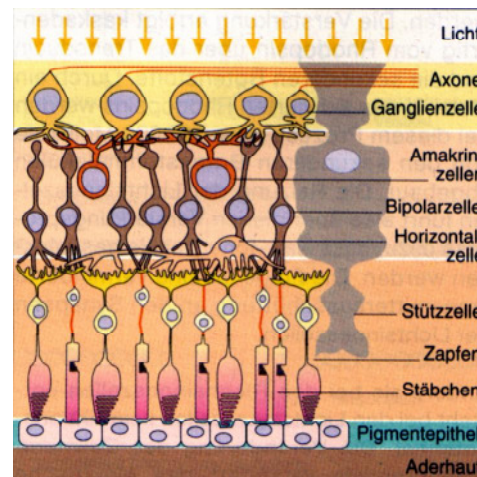
Die Nervenfasern der Ganglienzellen sammeln sich an einer Stelle der Netzhaut, dem Blinden Fleck, und bilden ab dort den Sehnerv. An dieser Stelle findet keine Sehverarbeitung statt. Unser Sehsystem kann die Lücke ergänzen, so dass ein zusammenhängendes Bild entsteht.

Die Nervenfasern der Ganglienzellen sammeln sich an einer Stelle der Netzhaut, dem Blinden Fleck, und bilden ab dort den Sehnerv. An dieser Stelle findet keine Sehverarbeitung statt. Unser Sehsystem kann die Lücke ergänzen, so dass ein zusammenhängendes Bild entsteht.

TRANSDUKTION

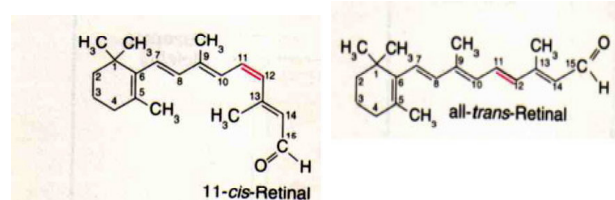
Die Photorezeptoren enthalten in ihren Außensegmenten lichtempfindliche Sehfärbstoffe, die aus dem Eiweiß Opsin und dem Farbstoff Retinal, einem Aldehyd des Vitamin A, bestehen. Das Retinal kann in zwei Formen vorliegen. Beim unbelichteten Auge liegt Retinal in seiner abgeknickten 11-cis-Form vor und ist fest an das Opsin gebunden. Trifft Licht auf die Sehzellen-

SCHEMATISCHER NETZHAUTQUERSCHNITT



Mod. nach Natura 2001

STRUKTURFORMEL DES PHOTOPIGMENTS RETINAL



Mod. nach Schmidt und Schaible 2001, Natura 2001



len, kommt es zum Zerfall des Sehfärbstoffs, indem sich das Retinal streckt und vom Opsin löst. Dieser Vorgang lässt sich als Ausbleichen der Netzhaut beobachten.

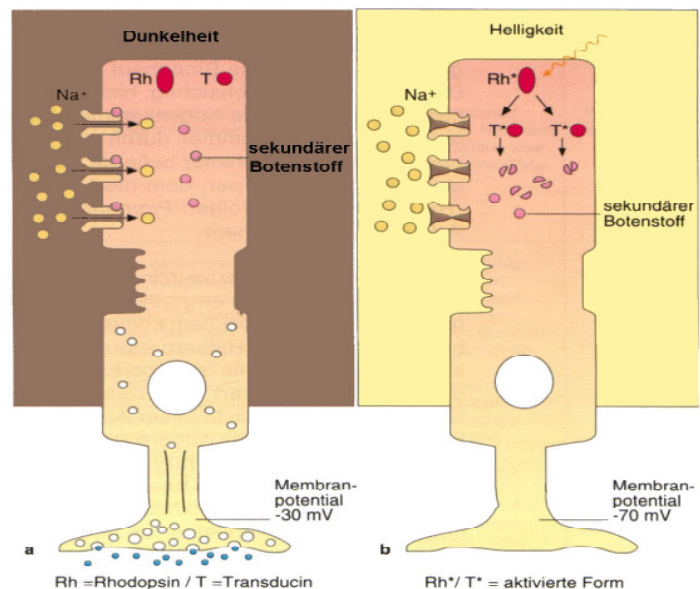
In der Dunkelheit sind die Photorezeptoren durch einen ständig erhöhten Natrium-Calci- um- Einstrom auf -30 mV depolarisiert. Die Zelle setzt dadurch ständig Botenstoffe frei, die die weiterverarbeitenden Zellen hemmen.

Bei Lichteinfall verändert das freie Opsin die Membrandurchlässigkeit für Natriumionen.

Die Natriumkanäle schliessen sich und das Membranpotential fällt auf seinen Ruhewert von -70 mV .

Das hat zur Folge, dass die Botenstoffe den Photorezeptor nicht verlassen und die weiterverschaltete Zelle ein Erregungssignal weiterleitet.

SCHEMATISIERTE DARSTELLUNG DER TRANSDUKTION



STÄBCHEN UND ZAPFEN

Für das Schwarz-Weiß Sehen sind 120 Millionen lichtempfindliche Stäbchen in unserer Netzhaut zuständig. Sie bestehen aus dem Sehfärbstoff Rhodopsin. Auf misslungenen Blitzlichtaufnahmen wird er manchmal als „rote Pupille“ sichtbar, daher stammt auch die Bezeichnung Sehpurpur.

Die Stäbchen sind gleichmäßig über die gesamte Netzhaut verteilt, bis auf zwei Stellen, den Blinden Fleck und die zentrale Sehgrube (Fovea centralis).

Die Anzahl der Stäbchen, die auf eine Ganglienzelle verschaltet sind, ist sehr hoch und wird zum Rand der Netzhaut immer größer. Das hat den Nachteil, dass wir in der Dämmerung nicht scharf sehen können und den Vorteil, dass sich viele Erregungssignale summieren und zum Sehen nur eine geringe Lichtstärke benötigt wird.



Die 6 Millionen Zapfen befinden sich hauptsächlich in der Mitte der Netzhaut, besonders konzentriert in der Sehgrube (Fovea centralis). Sie vermitteln das Tagsehen und das Farbsehen und enthalten den Sehfärbstoff Iodopsin. Die Anzahl der Zapfen, die auf eine Ganglienzelle verschalten, ist wesentlich geringer als bei den Stäbchen. In der Sehgrube ist sogar nur ein Zapfen mit einer Ganglienzelle verbunden. Diese 1 zu 1 Verschaltung ist der Grund dafür, dass wir einen Gegenstand am schärfsten sehen, wenn wir ihn fokussieren.

Beim Tagsehen wird das Stäbchensystem durch Amakrine Zellen gehemmt und somit die Fortleitung an den Ganglienzellen unterbrochen. Wird die Empfindlichkeitsschwelle der Zapfen in der Dämmerung unterschritten, fällt diese Hemmung weg, und die Stäbchen kommen wieder zum Einsatz.

UNTERSCHIEDE ZWISCHEN STÄBCHEN UND ZAPFEN

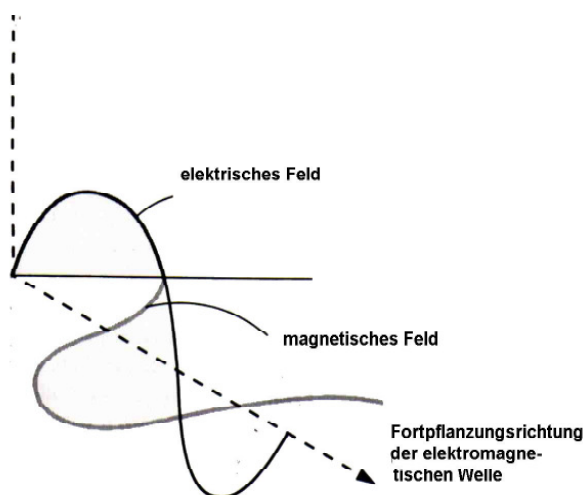
	Stäbchen	Zapfen
Sehrtart	Schwarz/Weiss	Farbe
Anzahl	120 Millionen	6 Millionen
Farbstoff	Rhodopsin	Iodopsin
Bevorzugte Lage	Am Rand der Netzhaut	In der Fovea
Sehschärfe/ räumliche Auflösung	Unscharf/Schwach	Scharf/Hoch
Lichtempfindlichkeit	Hoch	Niedrig
Zeitauflösung	Träge: Bewegungen wirken nachts schneller als am Tag	18-24 Bilder/Sek.
Bildwechsel	22-25/Sek.	Max. 80/Sek.
Weiterleitung des Sehreizes	Langsam	Schnell



DAS SICHTBARE LICHT

Die Atmosphäre unserer Erde läßt die Strahlung nur in zwei Wellenlängenfenstern bis zur Erdoberfläche durch: Das eine ist das „optische Fenster“ mit einer Wellenlänge von 400 bis 800 Nanometern, das andere ist das sogenannte „Radiofenster“ mit Wellenlängen von 1 Millimeter bis 18 Meter. Die Lichtwahrnehmung unseres Auges „deckt“ sich fast genau mit dem optischen Fenster.

AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN



Licht wird in Form von gekoppelten elektromagnetischen Feldern ausgestrahlt. Beide Felder wechseln sich in ihrer Stärke ab und breiten sich wellenförmig senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung aus (transversal). Wir kennen transversale Wellenausbreitung aus unserer Alltagserfahrung, wenn wir ein Seil gerade nach oben und unten schwingen. Je schneller das Seil schwingt, desto kleiner ist die Wellenlänge, je höher das Seil ausgelenkt wird, desto größer ist die Amplitude.

Wird das Seil im Wechsel zusätzlich seitlich ausgelenkt, findet eine Transversalschwingung in zwei Ebenen, wie auf der Abbildung, statt.

Wir nehmen die Größe der Amplitude als Lichtstärke und die Wellenlänge als Farbeindruck wahr.

RÄUMLICHE UND ZEITLICHE AUFLÖSUNG

Die Sehschärfe und das räumliche Auflösungsvermögen des Auges sind von der Anzahl der Photorezeptoren in unserer Netzhaut abhängig, die mit einer nachgeschalteten Ganglienzelle verbunden sind. Der Bereich in der Netzhaut, der auf eine Ganglienzelle verschaltet ist, wird als rezeptives Feld der Ganglienzelle bezeichnet.

Bei wenigen auf eine Zelle verschalteten Photorezeptoren, wie den Zapfen in der Sehgrube, werden mehr Bildpunkte getrennt wahrgenommen, die Sehschärfe ist sehr hoch. Zum Rand der Netzhaut hin, an dem sich nur Stäbchen befinden, wird das rezeptive Feld immer größer und somit die Sehschärfe und räumliche Auflösung schwächer. Aus diesem Grund können wir bei Tageslicht schärfer sehen als in der Dämmerung.

Versuchen wir z.B. nachts einen lichtschwachen Stern zu fixieren, gelingt es uns nicht, da sich in dem Bereich des schärfsten Sehens, der Sehgrube, keine Stäbchen befinden! Wir können den Stern nur am „Rande“ wahrnehmen, wenn wir an ihm vor-



beischauen.

Dafür hat das Dämmerungsehen einen anderen Vorteil: Bei vielen auf eine Ganglienzellen verschalteten Zellen wie den Stäbchen laufen viele Erregungen zusammen und summieren sich. Das Dämmerungsehen benötigt daher eine wesentlich geringere Lichtstärke als das Tagsehen.

Auch die zeitliche Auflösung ist bei Tageslicht höher als beim Dämmerungsehen. Zapfen verarbeiten die Lichtreize schneller als Stäbchen.

Unser Auge kann im Hellen ungefähr 18 bis 24 Lichtreize pro Sekunde unterscheiden, nachts sind es deutlich weniger.

Nachts sind also nicht nur alle Katzen grau, sondern sie bewegen sich scheinbar auch schneller!

FARBSEHEN

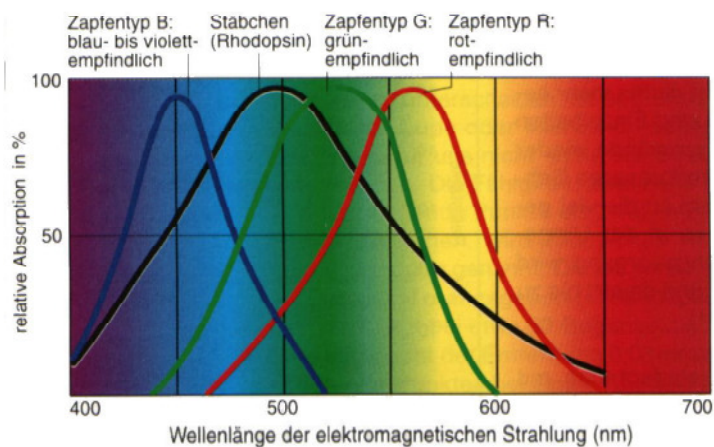
Das menschliche Auge ist in der Lage ca. 150 verschiedene Farben zu unterscheiden. Diese Farben können von uns als unterschiedlich intensiv und hell eingestuft werden. Das ergibt insgesamt den Wert von ca. 7 Millionen auflösbarer Farbstufen!

Das Sonnenlicht regt 3 farbeempfindliche Photorezeptoren, die Zapfen, in unserer Netzhaut, an. Jeder Zapfentyp enthält ein anderes Photopigment, das Lichtquanten aus einem bestimmten Wellenlängenbereich absorbiert. Jeder Zapfentyp besitzt ein Absorptionsmaximum in "seinem" Bereich: Für kurzwelliges (420 nm, blau), mittelwelliges (535 nm, grün) und langwelliges (565 nm, rot) Licht.

Die unterschiedlichen Empfindlichkeitsbereiche überlappen sich und decken das gesamte wahrnehmbare Lichtspektrum ab.

Die Farbwahrnehmung ist keine Eigenschaft der Netzhaut, sondern entsteht erst im Gehirn durch komplexe Verrechnung der Wellenlängeninformation. Entspricht die Wellenlänge genau der maximalen Empfindlichkeit des „grünen“ Zapfen, entsteht in unserem Gehirn der Farbeindruck grün. Eine Wellenlänge, die den „roten“ Zapfen wesentlich stärker anregt als den „grünen“ wird im Gehirn zu dem Farbeindruck oran-

ABSORPTIONSBEREICHE DER PHOTOREZEPTOREN



Mod. nach Natura 2001



gerot ausgewertet.

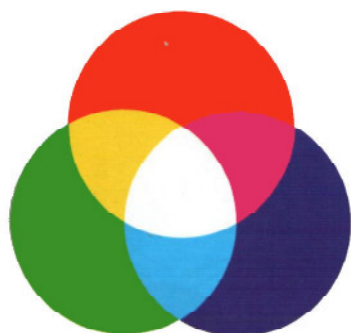
Das menschliche Auge ist für bestimmte Wellenlängen empfindlicher als für andere. Diese Wellenlängen erscheinen heller und benötigen eine geringere Empfindlichkeit, um sie wahrnehmen zu können. Stäbchen sind blauempfindlicher, Zapfen grünempfindlicher.

Daher erkennen wir z.B. die Farbe eines blauen T-Shirts bei schlechten Lichtverhältnissen besser als die Farbe eines grünen T-Shirts.

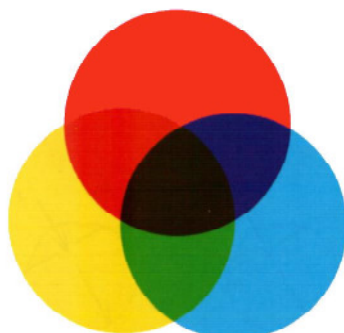
ADDITIVE UND SUBTRAKTIVE FARBMISCHUNG

Fällt Licht verschiedener Wellenlänge auf die Netzhaut, erfolgt in unserem Sehsystem eine additive Farbmischung. Die Photorezeptoren in unserer Netzhaut addieren die Wellenlängeninformationen. Treffen verschiedene Lichtstrahlen aufeinander, so ist das Ergebnis heller als die einzelnen Anteile; die Intensitäten der Strahlen addieren sich. Deshalb spricht man von einer additiven Farbmischung. So entstehen z.B. die Farbempfindungen beim Farbfernsehen durch Mischung sehr dicht beieinander liegender roter, grüner und blauer Punkte. Die roten Punkte senden langwelliges Licht und die grünen Punkte Licht mittlerer Wellenlänge aus. Beide Wellenlängeninformationen werden addiert und ergeben den Farbeindruck gelb. Die drei Grundfarben Blau, Rot und Grün ergeben den Farbeindruck weiß, da alle drei Zapfentypen zu gleichen Teilen erregt werden.

ADDITIVES UND SUBTRAKTIVES FARBMISCHEN



Mod. nach Gregory 2001



Bei der rein physikalischen, subtraktiven Farbmischung ist das nicht möglich. Hier werden Wellenlängen nicht addiert, sondern absorbiert. Malerfarben absorbieren z.B. wie Farbfilter Anteile des weißen Lichts. Die nach der Subtraktion verbleibenden Wellenlängen bestimmen dann die gesehene Farbe. Mischt man die Farben Gelb und Blau im Farbkasten, ergibt sich Grün, weil die blaue

Farbe den langwelligen und die gelbe Farbe den kurzwelligen Anteil des Lichts absorbiert und nur der mittlere Wellenlängenbereich des Grüns übrigbleibt. Werden alle Farben miteinander gemischt, wird gar kein Licht mehr reflektiert und wir sehen Schwarz.



ADAPTATION

Gehen wir aus dem hellen Sonnenlicht in einen dunklen Raum, brauchen die Stäbchen in unserer Netzhaut mindestens eine halbe Stunde, um sich an die Dunkelheit anzupassen. Die Dunkeladaptation dauert deshalb so lange, weil der Sehfärbstoff Rhodopsin in den Stäbchen ausgebleicht ist und seine Komponenten Alltrans-Retinal und Opsin getrennt und inaktiv vorliegen. Es dauert 30 Minuten, bis das Alltrans-Retinal wieder in die 11-Cis-Form zurückgeführt wird und für eine neue Photoreaktion zur Verfügung steht. Mit zunehmender Regeneration des Rhodopsin erhöht sich auch die Empfindlichkeit der Stäbchen.

Die Anpassung an Helligkeit geschieht wesentlich schneller. Durch den großen Intensitätsunterschied kommt es vorübergehend zur Blendung, innerhalb von 60 Sekunden sehen wir wieder deutlich. Die größere Anpassungsgeschwindigkeit an die Helligkeit lässt sich dadurch erklären, dass der Sehfärbstoff bei der Helladaptation abgebaut und nicht regeneriert werden muss. Der Rhodopsinzerfall der Stäbchen dauert nur kurze Zeit, dann kommen die für das Tagsehen zuständigen Zapfen zum Einsatz.

Das Farbsystem kann sich in ähnlicher Weise anpassen. Das Farbpigment in den Zapfen wird innerhalb von 8 - 10 Minuten abgebaut und innerhalb weniger Sekunden wieder regeneriert. Betrachten wir z.B. eine rote Farbfläche mit dem rechten Auge und halten das linke geschlossen. Öffnen wir das linke Auge nach 30 Sekunden, erscheinen uns rötliche Gegenstände mit dem adaptierten Auge blass, und mit dem „frischen“ Auge intensiv.

Eine besonders verblüffende Form der Adaptation ist die Farbkonstanz. Eine rote Tomate bleibt für uns sowohl im hellen Morgenlicht als auch am Abend bei künstlichen Lichtverhältnissen rot, obwohl sich die von der Tomate reflektierten Wellenlängen physikalisch unterscheiden. Unser Gehirn interpretiert die jeweils kürzeste Wellenlänge als Blau und die längste als Rot und ordnet alle anderen Wellenlängen entsprechend ein. Dieses Phänomen hat natürlich auch seine Grenzen. Ist die künstliche Lichtquelle zu weit vom natürlichen Sonnenlichtspektrum entfernt, treten Fehleinschätzungen auf.

NACHBILDER

Es können auch einzelne Bereiche der Netzhaut adaptieren. Deutlich wird dies bei Nachbildern: Fixiert man eine kontrastreiche Fläche und blickt dann auf eine weiße Fläche, sieht man ein negatives Nachbild.

Bei farbigen Nachbildern entsteht der Eindruck von weißem Licht abzüglich der Komplementärfarbe: Weiß statt Schwarz, Blau statt Gelb, Grün statt Rot.



KONTRASTSEHEN - LATERALE HEMMNUNG

Die Wahrnehmung von Helligkeit hängt sehr stark von der jeweiligen Umgebung ab. Ein graues Kleid wirkt vor einer hellen Fläche viel dunkler und vor einer dunklen Fläche wesentlich heller. Oder betrachten wir den Himmel über dem Meer, am Horizont erscheint er uns heller und das Meer dunkler. Dieser Mechanismus zur Kontrastverschärfung beruht auf dem Prinzip der lateralen Hemmung in der Netzhaut. Er ermöglicht es Flächen eindeutig voneinander zu unterscheiden und schärfer zu sehen, z.B. einen weißen Handschuh im Schnee.

In der Netzhaut werden mehrere Photorezeptoren über Bipolarzellen senkrecht auf eine Ganglienzelle verschaltet. Die Ganglienzellen fassen die Information aus den Photorezeptoren zusammen und leiten sie über den Sehnerv weiter. Jeder Photorezeptor hat zusätzlich über eine querverschaltete Horizontalzelle die Möglichkeit, einen benachbarten, weniger stark erregten Photorezeptor zu hemmen. Gelangen Flächen in das rezeptive Feld, die sich hinsichtlich der Helligkeit, Farbe oder Struktur unterscheiden, wird das Signal an den entsprechenden Rezeptoren verstärkt oder gehemmt. Das hat zur Folge, dass Kanten deutlicher wahrgenommen werden.

TIEFENWAHRNEHMUNG

Unser Tiefenwahrnehmungssystem ist in der Lage, Gegenstände bis zu einem Winkel von 3,6 Bogensekunden - das entspricht ungefähr einem Brotkrümel in 35 cm Entfernung - aufzulösen. Astronomische Instrumente benötigen dazu einen „Augenabstand“ von 150 km.

Unser räumliches Sehen funktioniert mit zwei Augen (binokular) besser als mit einem Auge (monokular). Das wird deutlich, wenn wir einäugig oder beidäugig einen Faden in eine Nadel fädeln!

Wenn wir einen Finger senkrecht vor unsere Nasenspitze halten, ihn abwechselnd mit einem Auge fixieren und dabei das zweite geschlossen halten, scheint er sich gegenüber dem Hintergrund seitlich zu verschieben. Je näher sich der Zeigefinger an unserem Gesicht befindet, desto größer ist die horizontale Abweichung. Diese unterschiedliche Breitenabweichung heißt Querdisperation und bildet die Grundlage für die Tiefenwahrnehmung.

„Beide“ Finger werden unabhängig voneinander als zweidimensionales Einzelbild auf der Netzhaut jedes Auges, bei Scharfeinstellung auf den Sehgruben, abgebildet.

Beide Sehgruben haben den gleichen Ortswert, das heißt, sie stellen korrespondierende Netzhautstellen dar (entsprechend gibt es zu jedem Ort auf einer Netzhaut



eine entsprechende, korrespondierende Stelle auf der anderen Netzhaut). „Bilder“ korrespondierender Netzhautstellen verschmelzen im Gehirn zu einem dreidimensionalen Seheindruck.

Gegenstände, die vor oder hinter dem fixierten Finger liegen, werden seitlich von den korrespondierenden Netzhautstellen abgebildet.

In den Sehzentren des Gehirns befinden sich Zellen, die nur auf bestimmte räumliche Abweichungen optimal reagieren und so zur Tiefenwahrnehmung beitragen.

Das räumliche Auflösungsvermögen ist umso besser, je größer die Sehschärfe und der Abstand der Augen ist. Der Finger erscheint uns in 10 cm Abstand vor unserer Nase viel plastischer als in 50 cm Entfernung. Ab etwa einem Kilometer Entfernung ist eine Tiefenauflösung nicht mehr möglich.

Menschen mit nur einem funktionstüchtigen Auge müssen auf andere Mechanismen der Tiefenwahrnehmung zurückgreifen. Sie können z.B. ihre Alltagserfahrung nutzen: Nahe Gegenstände können weiter entfernte Gegenstände verdecken, weiter entfernte Gegenstände erscheinen kleiner als nahe Gegenstände u.s.w.

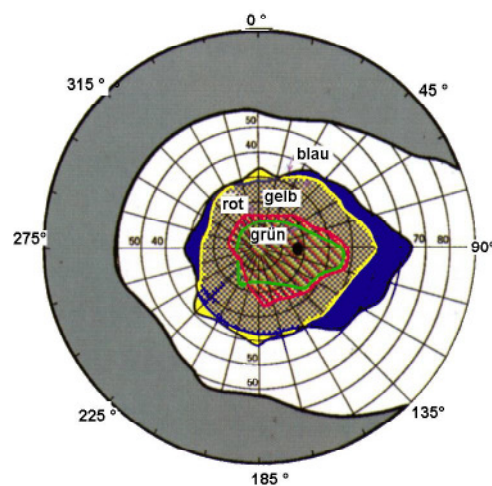
Eine andere Möglichkeit mit einem Auge räumlich zu sehen ist es, den Kopf hin und her zu bewegen: Der Tisch bewegt sich scheinbar viel schneller als die dahinter liegende Wand.

DAS GESICHTSFELD

Unsere parallel stehenden Augen weisen uns als „Räuber“ aus, im Gegensatz zu so genannten „Flüchtern“ mit seitlich angebrachten Augen wie Pferden oder Hasen. „Räuber“ können einen wesentlich kleineren Bereich der Umwelt mit den Augen wahrnehmen als „Flüchter“, dafür können sie meistens viel schärfer sehen.

In unserem Gesichtsfeld gibt es einen Bereich, der mit beiden Augen gesehen werden kann (binokulares Gesichtsfeld) und je einen seitlichen Bereich, den jeweils nur das rechte oder linke Auge sehen kann (monokulares Gesichtsfeld). Augenbewegungen können das Blickfeld natürlich wesentlich erweitern.

MONOKULARES GESICHTSFELD DES RECHTEN AUGES



Mod. nach Ditzinger 1997

Durch die unterschiedliche Verteilung von Stäbchen und Zapfen in der Netzhaut unterscheidet sich auch das Gesichtsfeld für Schwarz/Weiß und Farbsehen.

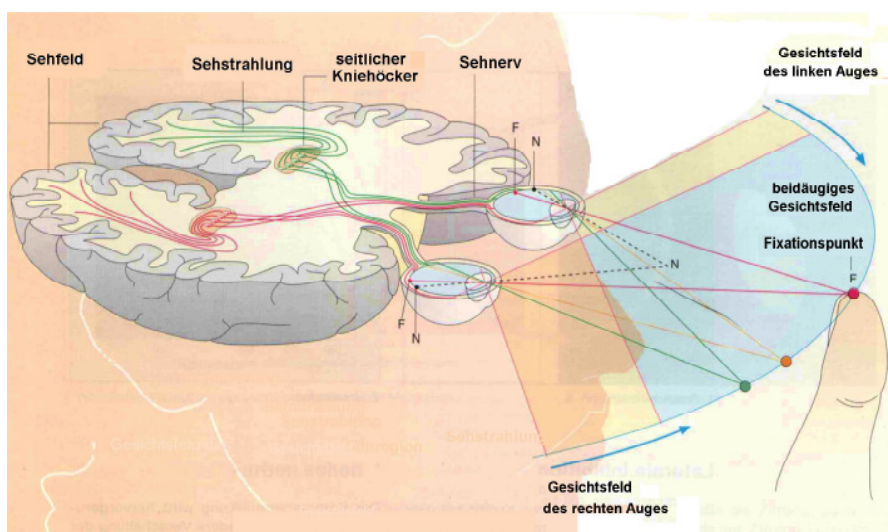


Die Stäbchen sind hauptsächlich am Rand der Netzhaut verbreitet, im zentralen Bereich sind sie gar nicht zu finden. Das Gesichtsfeld der „blauen“ Zapfen ähnelt demjenigen der Stäbchen, aus denen sich dieser Zapfentyp vermutlich entwickelt hat. Blausehen ist daher früher als das Sehen der anderen Farben entstanden. Die Wahrnehmung von Gelb entsteht durch eine Reizung von grünen und roten Zapfen. Da am Rand der Netzhaut eine größere Anzahl von Zapfen auf eine Ganglienzelle verschalten, wächst damit auch die Anzahl der rot- und grünen Zapfenkombination. Gelbsehen ist daher noch weit ausserhalb der Grenzlinien für das Rot- und Grünsehen möglich.

Die Informationen, die die Lichtsinneszellen erfassen, werden über den Sehnerv in das Gehirn weitergeleitet. Das linke Gesichtsfeld wird auf der rechten Netzhautseite, das rechte Gesichtsfeld auf der linken Netzhautseite abgebildet. Hinter den Augen kreuzen die zur Nase liegenden Sehfasern zur gegenüberliegenden Seite des Gehirns, so dass die Information aus dem rechten Gesichtsfeld weiterhin in die linke Gehirnhälfte und die Information aus dem linken Gesichtsfeld in die rechte Gehirnhälfte geleitet wird.

Die Abbildung folgt dabei bestimmten Regeln: Nebeneinander liegende Orte im Gesichtsfeld werden in der Netzhaut und allen die Sehinformation weiterverarbeitenden Hirngebieten nebeneinander abgebildet (retinotope Abbildung). Die räumlichen Nachbarschaftsverhältnisse bleiben also bestehen, der Maßstab dagegen nicht: Bereiche mit grosser Ganglienzelldichte und hoher räumlicher Auflösung wie die Sehgrube sind vergrößert, der Netzhautrand entsprechend kleiner vertreten.

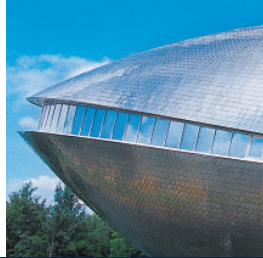
DAS GESICHTSFELD UND DIE ZENTRALE SEHBAHN



Mod. nach Natura 2001



Reiseführer zum Sehen



SEHEN

EXPONATE
Winkelanalyse
Farbräume
Drehscheibe
Doppelspirale
Klein und schwer

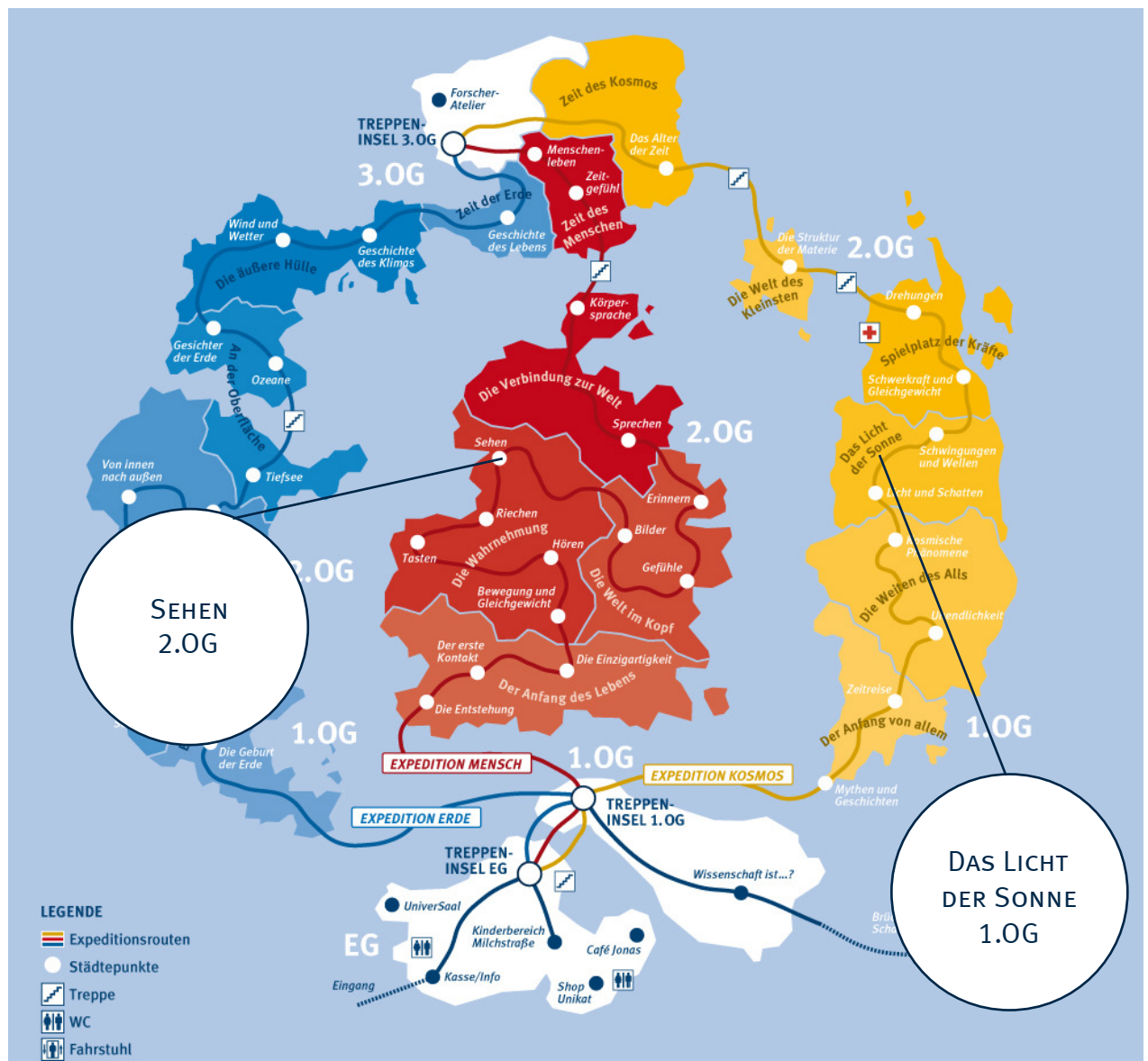
MODULE
Sehen

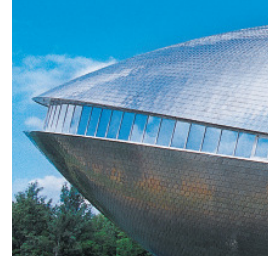
Dieser Reiseführer weist dir den Weg durch das Universum® und zeigt dir, wie du die Welt mit den Augen wahrnimmst. Du lernst die Leistungen deiner Augen kennen und erlebst, wie leicht sie sich täuschen lassen. Die Scouts, Texttafeln und die Animationen an den Infoterminals helfen dir bei Deiner Reise

DAS LICHT DER SONNE

EXPONATE
Gefrorene Schatten
Farbige Schatten
Dreh-Mandala

Die Reisestationen





1

GEFRORENE SCHATTEN

Deine Reise beginnt im 1. OG auf der Expedition Kosmos im Bereich "Das Licht der Sonne".

Warum können wir nicht sehen, was sich hinter einem Gegenstand oder Körper befindet? In dem Raum "Gefrorene Schatten" findest du es heraus.



.....

.....

Wir sehen einen Gegenstand, wenn Licht auf ihn trifft. Allerdings muss dazu das Licht vom Gegenstand zurück geworfen werden und in unsere Augen gelangen.

2

FARBIGE SCHATTEN

Gleich nebenan findest du das Exponat "Farbige Schatten". Stelle dich vor die weiße Wand und erzeuge mit deinem Körper farbige Schatten.

Was glaubst du, wie der gelbe Schatten zustande kommt? Betrachte dazu die verschiedenen Lampen.



.....

.....

Bitte einen Scout, einzelne Lampen zu verdecken.

3

DREH-MANDALA

An dem Exponat "Farbige Schatten" hast du die additive Farbmischung kennengelernt. An der Station "Dreh-Mandala" erlebst du die subtraktive Farbmischung.

Welche Unterschiede stellst du fest?

.....

4

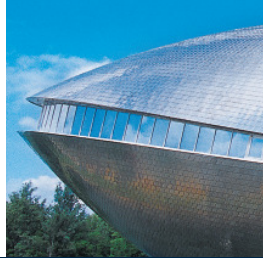
WINKELANALYSE

Deine Reise führt dich nun in den Bereich "Sehen" im 2. OG. Die parallele Blickrichtung unserer Augen ähnelt der frontalen Augenstellung von Adler oder Leopard. Sie kennzeichnet uns als "Jäger". Ein größeres Gesichtsfeld zeichnet "Flüchter", wie Pferde oder Rehe aus.



Bei welchem Sehwinkel erkennst du eine Bewegung?

Bei welchem Sehwinkel erkennst du die Farbe rot?



5

TRÄGHEIT

Mithilfe eines Stroposkoplichts siehst du einzelne Bilder einer scheinbar fließenden Bewegung.
Was beobachtest du?

.....

Findest du deine Erkenntnis erstaunlich? Wenn ja, warum?

.....

6

RADKINO

Drehe die schwarze Scheibe und blicke bei den Pfeilen von vorne durch die Schlitze der Scheibe auf einen der beiden Spiegel.
Was erkennst du?



.....

.....

Erläutere den Zusammenhang zur "Trägheit".

.....

.....

.....

7

VERRÜCKTE SICHT

Halte die Prismenbrille vor deine Augen. Versuche nun, mit deinem Zeigefinger von unten gegen den Seilknoten zu tippen.
Beschreibe deine Wahrnehmung.

.....

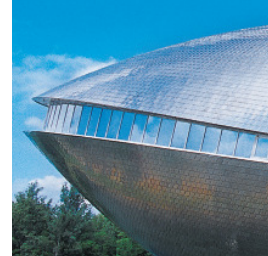
.....

Gelingt dir der Versuch nach einigem Üben besser? Versuche dann, ohne Prismenbrille von unten gegen den Seilknoten zu tippen.
Was stellst du fest?

.....

.....





8

GROSSE UND KLEINE PUPILLE

Blicke durch den Aufsatz in den Spiegel und betrachte dein Auge. Verändere die Helligkeit der Lampe.

Was beobachtest du?

.....

Wozu, meinst du, ist diese Reaktion deiner Augen gut?

.....

.....



9

FARBÄUME

Siehst du den roten und grünen Farbraum? Dort kannst du ausprobieren, ob sich unsere Augen auch an Farben gewöhnen.

Gehe zuerst ca. 30 Sekunden in den roten Raum. Nun gehe in den grünen Raum. Verändert sich deine Hautfarbe?

.....

Beschreibe deine Farbempfindung, wenn du zurück in den roten Raum wechselst!

.....



10

DOPPELSPIRALE

Deine Expedition geht nun weiter im Bereich "Bilder".

Beobachte die routierende Doppelspirale in der Ecke. Welche Bewegungen erkennst du?

.....

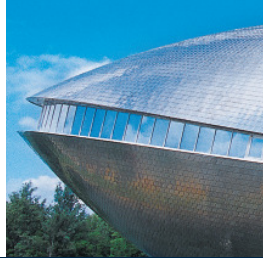
.....

Was meinst du, findet tatsächlich eine Auf- bzw. Abwärtsbewegung statt? Hole dir einen Klebezettel aus der Galerie der Ängste und markiere eine bestimmte Stelle der Spirale. Was stellst du fest?

.....

.....





11

DREHSCHEIBE

An der Wand befindet sich eine Drehscheibe mit Spiralmuster. Bringe sie mit Schwung zum Rotieren und fixiere sie etwa eine Minute lang. Jetzt richte deinen Blick auf einen unbewegten Gegenstand, etwa das Gesicht eines Freundes oder deine Hand. Was passiert? Versuche mit dieser Erfahrung den Satz zu vervollständigen

Das menschliche Wahrnehmungssystem kann sich nicht nur an Farbe und Helligkeit anpassen, sondern auch an

Wiederhole das Experiment. Nachdem du die drehende Scheibe betrachtet hast, schliesse deine Augen. Beschreibe deine Wahrnehmung.

.....
.....

12

COMPUTERMODUL "BILDER"



Setze dich an einen Infoterminal und klicke das Computermodul "Bilder" an. Hier erfährst du, wie sich unser Gehirn von Seheindrücken täuschen lässt. Es gleicht das, was wir sehen immer mit Erfahrungen und eigenen Gesetzmäßigkeiten ab.

Bei welcher optischen Täuschung hast du dich am meisten über deinen Sehsinn gewundert?

.....

13

RUND ODER OVAL

Umfahre mit einem Finger den Metallring, während du von oben durch das Glas blickst. Welche Form erfühlst du dabei?

- oval
- rund

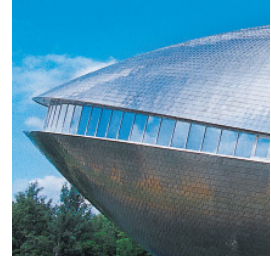
Schließe deine Augen und umfahre den Metallring noch einmal. Welche Form erfühlst du nun?

- oval
- rund

Hast du eine Idee, warum wir unserem Sehsinn meist mehr glauben, als unseren anderen Sinnen?

.....
.....





14

KLEIN UND SCHWER

Schätze das Gewicht der beiden Holzklötze mit den Händen ab. Welchen Klotz empfindest du als schwerer?

Überprüfe dein Ergebnis mit der Waage. Welcher Klotz zeigt auf der Waage das größere Gewicht?

Versuche es noch einmal mit geschlossenen Augen. Zu welchem Ergebnis kommst du ?



.....
.....

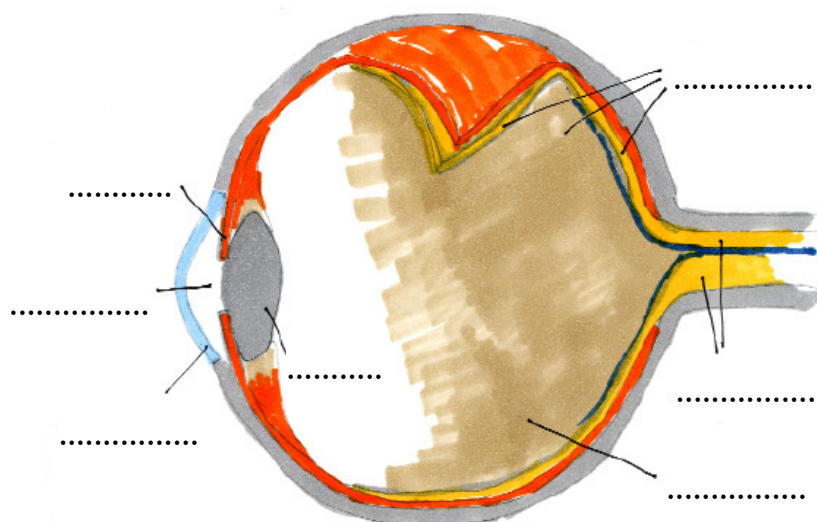
15

COMPUTERMODUL "SEHEN"

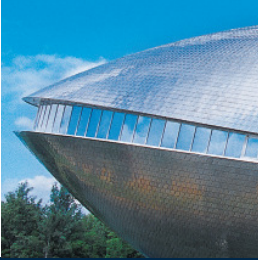
Im Computermodul "Sehen" findest du Informationen zum Aufbau des Auges. Beschrifte die untenstehende Zeichnung.

Wenn du dir den Aufbau der Netzhaut genau anschaust, kannst du dir jetzt auch erklären, warum unser Gesichtsfeld für Bewegung größer ist als für Farben (siehe "Winkelanalyse"):

.....
.....
.....



Jetzt ist deine Expedition zu Ende. Du hast viel über das Sehen erfahren. Sicherlich bist du auf weitere Fragen gestoßen. Vielleicht findest du ja die Antworten bei deinen Eltern, in einem guten Buch oder in deiner Fantasie. Viel Spaß dabei wünscht dir das Universum®-Team!



INTERNET-LINKS / LITERATUR

<http://faculty.washington.edu/chudler/neurok.html>

www.wissen.de

www.zum.de

Ditzinger, Thomas: Illusionen des Sehens, Südwestverlag 1997

Gregory, Richard L.: Psychologie des Sehens, Rowohlt 2001

Kandel, Eric: Principles of Neural Science, McGraw-Hill, 2000

Natura, Schulbuch für die Oberstufe: Neurobiologie und Verhalten, Klett Verlag 2001

Schmidt, Robert F., Schaible, Hans-Georg: Neuro- und Sinnesphysiologie, Springer 2001

EINBINDUNG IN DIE RAHMENRICHTLINIEN DES LANDES BREMEN

Dieser Reiseführer ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern Erfahrungen im Bereich Sinne und Wahrnehmung zu sammeln. Zu folgenden Themen führen die Schülerinnen und Schüler Experimente durch: Bau und Funktion eines Sinnesorganes, Zusammenhang zwischen Gehirn, Empfindung und Wahrnehmung, Bewegung und Koordination, Farbsehen, räumliches Sehen, Aufbau der Netzhaut, Rezeptor, Sinnestäuschung.

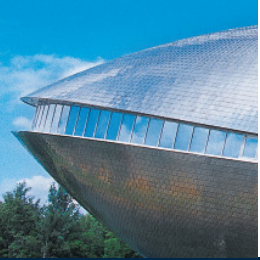
EINBINDUNG IN DAS UNIVERSUM® BREMEN

Dieser Reiseführer begleitet die Schülerinnen und Schüler in die Ausstellungsbereiche Sehen und Das Licht der Sonne in den Expeditionen Mensch und Kosmos. An folgenden Exponaten erleben sie Phänomene zu den Themen: Winkelanalyse, Trägheit, Radkino, Verrückte Sicht, Große und kleine Pupille, Farb Räume, Doppelspirale, Drehscheibe, Rund oder Oval, Klein und schwer, Gefrorene Schatten, Farbige Schatten und Dreh-Mandala. Informationen erhalten die Schülerinnen und Schüler durch das Computermodul Sehen und Bilder.

Weitere Informationen befinden sich auf der Internetseite:

www.universum-bremen.de





KURZBESCHREIBUNG

Dieser Reiseführer wurde für Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 9-12 entwickelt. Er führt sie durch das Universum® Bremen und zeigt ihnen Phänomene, bei denen sie etwas über ihren Gesichtssinn erfahren können. Die Schülerinnen und Schüler lernen die Leistungen ihrer Augen kennen und erleben, wie leicht diese sich täuschen lassen.



Universum® Bremen

DIESE HANDREICHUNG WURDE VOM UNIVERSUM® BREMEN UNTER DER MITARBEIT DES LANDESINSTITUTES FÜR SCHULE, BREMEN ENTWICKELT.

AUTORIN: BEATE FOX

