

IMKEREI

Sachanalyse

Die Welt durch Bienenaugen



Licht

Licht ist Leben - und für Menschen, Tiere und Pflanzen unverzichtbar. Lange Zeit stand nur das natürliche Tageslicht zur Verfügung, bis die Menschen künstliches Licht nutzen konnten.

Der Mensch orientiert sich vor allem mit seinen Augen. Seine Umwelt ist eine Sehwelt. Mehr als **80%** aller Informationen nehmen wir über die Augen auf, sie sind unser **wichtigstes Sinnesorgan**. Ohne Licht wäre dies unmöglich, denn Licht ist das Medium, das visuelle Wahrnehmung erst möglich macht.

Lange Zeit war die **Sonne** die einzige Lichtquelle des Menschen. Vor etwa 300.000 **Jahren** begann der Mensch das Feuer als Wärme- und Lichtquelle einzusetzen. Die Flamme ermöglichte ein Leben in Höhlen, in die nie ein Sonnenstrahl gelangte.

So können die Zeichnungen in der Höhle von Altamira nur bei **künstlichem Licht** entstanden sein. Das Licht der **Lagerfeuer**, der **Kienspäne** sowie der **Öl- und Taglampen** war im Leben der Menschen eine bedeutende Errungenschaft.

Heute wissen wir, dass **Licht** sowohl als **Welle** als auch als **Teilchen** zu verstehen ist- und dass es enorm schnell unterwegs ist.

Lichtschalter an, schon wird es hell.

Licht, Luft und Vakuum breitet sich mit einer Geschwindigkeit von knapp **300.000 Kilometer pro Sekunde** aus. Entsprechend erreicht uns das vom Mond reflektierte Sonnenlicht in etwa **1,3 Sekunden** und das Licht der Sonne in etwa **8 1/3 Minuten**.

Die Ausbreitung von Licht lässt sich gut mit **Lichtstrahlen** beschreiben. Licht aus einer punktförmigen Lichtquelle, das durch einen engen Spalt fällt, wird gebeugt. Hinter dem Spalt entsteht ein linienförmiges Muster.



Das Wellenmodell des Lichts, nach dem sich das Licht ähnlich einer Wasserwelle bewegt, entwickelte **Christiaan Huygens** bereits im **17. Jahrhundert**. Fast zeitgleich vertrat **Isaac Newton** die Theorie, dass Licht aus kleinsten Teilchen oder Korpuskeln = Körperchen besteht und sich geradlinig ausbreitet. Lange Zeit war unter den Wissenschaftlern keine Einigkeit darüber zu erzielen, welches Modell nun das Richtige sei.....

Das Licht - Sonnenlicht

Die von der Sonne ausgesandte Strahlung besteht neben dem für uns sichtbarem Licht aus **elektromagnetischen Wellen** mit sehr unterschiedlichen **Wellenlängen**. Da die meisten spektralen Anteile durch die Atmosphäre herausgefiltert werden, kommen auf der Erdoberfläche vor allem **das sichtbare** sowie das **infrarote Licht** an. Das Intensitätsmaximum der Sonnenstrahlung liegt im gelbgrünen Spektralbereich - das entspricht der -Wärmestrahlung der Sonnenoberfläche, die **rund 6000 Grad Celsius** heiß ist. Im Verlauf von vielen Millionen Jahren nimmt die Strahlungsleistung der Sonne allmählich zu. Ursache ist die astrophysikalische Entwicklung, die sie wie jeder Stern durchläuft. So ist die Leuchtkraft der Sonne heute um etwa **40 Prozent stärker** als kurz nach ihrer Entstehung vor rund **4,6 Milliarden Jahren**.



Der Anteil der Sonnenstrahlung der ungehindert durch Wolken auf der Erdoberfläche ankommt, wird **Direktstrahlung** genannt. Licht das zuvor an Wasser-, Eis- oder Staubteilchen reflektiert wurde, heißt **diffuse Strahlung**. Beide zusammen bezeichnet man als **Globalstrahlung**.

Das Licht - künstliches Licht



1783 wurde nach einem Verfahren von **Minckelaers** aus Steinkohle das **Leuchtgas** für die Gaslaternen gewonnen. Fast gleichzeitig begannen Versuche mit **elektrischen Bogenlampen**, die jedoch erst dann praktische Beleuchtung erlangten, als **Werner Siemens 1866** mit Dynamomaschinen Elektrizität auf wirtschaftliche Art erzeugen konnte.

Als dann **Thomas Alvar Edison 1879** die von dem deutschen Uhrmacher **Johann Heinrich Goebel** schon **1854** erfundenen **Glühlampe** neu erfand und zur technischen Anwendung entwickelte, begann das eigentliche Zeitalter der elektrischen Beleuchtung.

Auf die **Glühlampe** folgen die **Halogen-Glühlampe** die ersten Entladungslampen. Bis weit in die **1980er** Jahre hinein standen immer effizientere **Leuchtstofflampen** und elektronische Vorschaltgeräte im Mittelpunkt der technischen Entwicklung.

Mitte der **1990er** Jahre kamen die ersten **LEDs** auf den Markt. Licht wird seither immer dynamischer.

Das Licht - Polarisiertes Licht

Sonnenbrillen haben polarisierende Gläser. **Bienen nutzen die Polarisation des Lichts zur Orientierung.**

Polarisation - das klingt nach gegensätzlich, also nach Richtungen - und polarisiertes Licht hat auch mit Richtungen zu tun. Genauer mit der **Richtung**, in der die **Lichtwellen schwingen**.

Für die Erklärung von Polarisation ist die **Wellen-Eigenschaft** von Licht wichtig. Licht ist eine **Transversalwelle**, das heißt, es schwingt **senkrecht** zu seiner Ausbreitungsrichtung.



Die Freiheit, dass Licht in viele verschiedene Ausbreitungsrichtungen schwingen kann, nutzt das Licht auch. Das **Sonnenlicht** ist **unpolarisiert**. Das heißt, es schwingt in **beliebige** Richtungen, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

Wenn das aber nicht der Fall ist und Licht nur in einer Ebene schwingt, dann nennt man es polarisiert, genauer **linear polarisiert**. Menschen können diese Licht nicht sehen. Bienen nehmen es aber wahr und nutzen dies.

Bei der **Brechung** oder **Reflexion** an Wasseroberflächen beispielsweise, wird dem Licht eine bestimmte Schwingrichtung aufgezwungen, es ist polarisiert. Wichtig für die Orientierung der Biene ist die **Atmosphäre**. Hier wird das Sonnenlicht polarisiert. Das Besondere: An jedem Punkt des Himmels bleibt eine Vorzugsrichtung der Schwingung übrig. Es entsteht ein **Polarisationsmuster** im Himmel.

Die Polarisationsrichtungen, also die Schwingrichtungen des Lichts, bilden dabei **Kreise** um die **Sonne**. Sie stehen also im rechten Winkel auf der Richtung, in der die Sonne zu finden ist. Genau das nutzen die Tiere. Sie sehen nur nach oben, erkennen das Muster und wissen in welchem Winkel dazu die Sonne zu finden ist. Das funktioniert auch wenn es **bewölkt** ist.



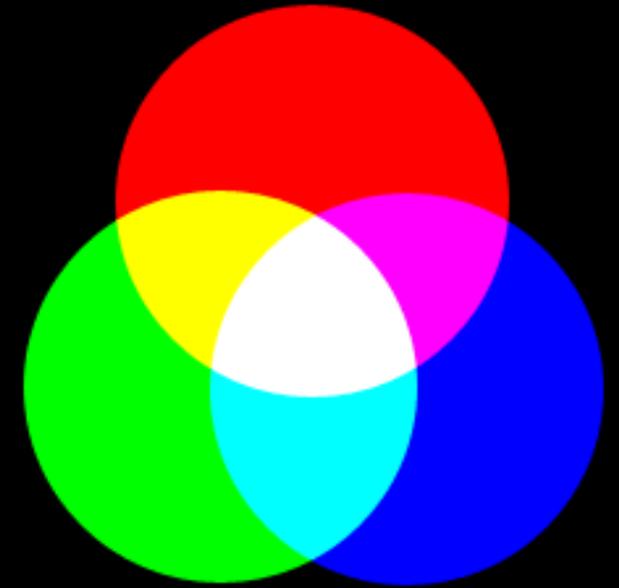
Brillenhersteller machen sich polarisiertes Licht zu nutze. Sie beschichten ihre Gläser mit einem Filter.

Dieser lässt nur eine Schwingungsrichtung des Lichts durch, alle anderen Richtungen werden abgeschwächt oder komplett ausgelöscht . Dadurch blendet beim Blick aufs Meer die Spiegelung der Sonne im Wasser nicht mehr.

Das Licht - Die Grundfarben

Tatsächlich ist das menschliche Auge nur für einen relativ kleinen Bereich innerhalb des elektromagnetischen Spektrums empfänglich. Die Wellenlänge der sichtbaren Strahlung liegt zwischen **380 nm** und **780 nm**. Zu den elektromagnetischen Strahlen gehören neben den Lichtwellen zum Beispiel auch die **Röntgenstrahlen**.

Schon Newton entdeckte, dass Sonnenlicht Farben enthält. Richtet man ein enges **Lichtbündel** auf ein **Glasprisma** und projiziert die austretenden Strahlen auf eine weiße Fläche, erscheint ein **farbiges Spektrum** - schön sichtbar auch in der Natur, wenn sich ein **Regenbogen** über die Landschaft spannt.





Jede **Farbe** entspricht einer bestimmten **Wellenlänge**. Vom **kurzwelligem Blau** (< 450 nm) über **Grün** und **Gelb** bis zum **langwelligem Rot** (> 600 nm) weist das Spektrum des Sonnenlichts eine fließenden Übergang auf. Die Mischung aller Farben ergibt **weißes Licht**.

Natürliche Farben sind relativ, denn wir sehen nur die Farben, die unter einer bestimmten Beleuchtungssituation **reflektiert** werden. So werden farbige Gegenstände auch nur dann richtig erkannt, wenn im Spektrum einer Lichtquelle auch alle Farben vorhanden sind. Dies ist etwa beim **Sonnenlicht**, bei **Halogenlampen** oder **LEDs** mit sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften der Fall.

Das Licht - UV und IR



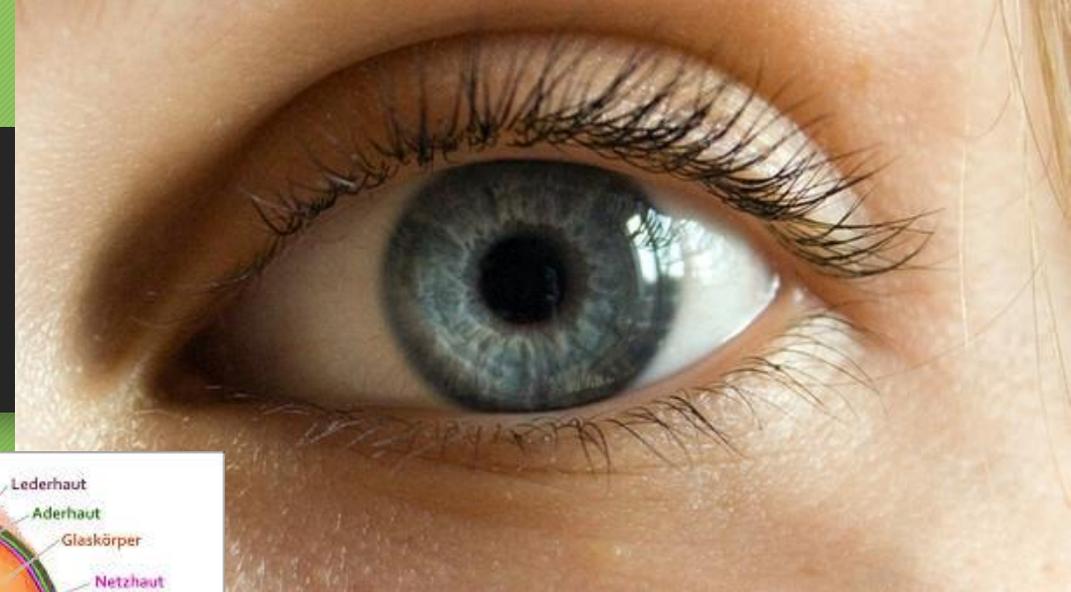
Oberhalb und unterhalb der sichtbaren Strahlung werden im Strahlungsspektrum der Infrarotbereich IR und der **Ultraviolettbereich UV** definiert.

Der IR- Bereich umfasst die Wellenlängen zwischen **780 nm** und **1 mm**. Erst wenn IR- Strahlung auf einen Gegenstand trifft, wird sie **absorbiert** und **in Wärme umgewandelt**. Ohne die Wärmestrahlung der Sonne würde die die Erde in ewigem Eis erstarren.

Sonnenlicht spielt auch bei der alternativen Energiegewinnung, zum Beispiel im Bereich der Photovoltaik und der Solartechnik, eine wichtige Rolle.

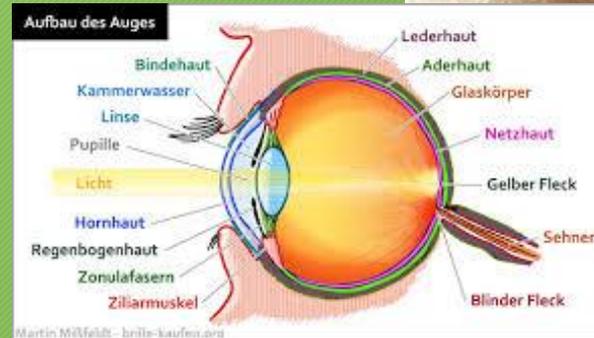
Für das Leben auf der Erde ist die richtige Dosierung der Strahlung im UV- Bereich wichtig. Neben der **positiven Wirkung** der **ultravioletten Strahlung** - beispielsweise für den Aufbau des Vitamins D = UV-B kann ein Zuviel davon auch zu Schädigungen führen. Die **Atmosphäre** der Erde **schützt** uns vor einem Übermaß an kosmischer Strahlung. Sie **reduziert** Licht, UV- und IR- Strahlung so weit, dass organisches Leben möglich ist.

Das Auge - Mensch/ Säugetier



Das Auge ist ein komplexes Sinnesorgan, das in einer Schädelhöhle, dem Augapfel, geschützt liegt. Nur ein kleiner Teil dieses Organs ist offen. Das Auge kann durch die Augenlider zum **Schutz** und zur **Erholung** geschlossen werden.

Wir können rund **150 Farbtöne** aus dem Spektrum des sichtbaren Lichts **unterscheiden** und zu einer halben Million Farbwerten kombinieren - dank unserer Augen. Sie nehmen die elektromagnetischen Wellen des Lichts auf und verwandeln sie in eine Folge von Nervenimpulsen, die an das Gehirn weitergeleitet werden. Dort entsteht das **eigentliche Bild** unserer Umwelt.



Im vorderen Teil des Auges sitzt die durchsichtige **Hornhaut**, etwa einen halben Millimeter dick. Sie stellt quasi das Fenster dar, durch das Licht einfällt. Zur bilderzeugenden Optik gehören weiterhin die **Linse** und das dazwischenliegende Kammerwasser, das die Hohlräume des Auges füllt und sich ständig erneuert. Hinter der Hornhaut liegt ringförmig die farbige **Regenbogenhaut = Iris**. Sie kann durch zwei Muskeln die **Pupille** in der Mitte verkleinern oder vergrößern, wie eine Kamerablende und die **Tiefenschärfe** verbessern.

Hinter der Pupille **bündelt** die **Augenlinse** das einfallende Licht. Sie ist **durchsichtig** und **klar**. Außerdem ist sie **elastisch** und kann durch entsprechende **Krümmung** die Sehschärfe auch auf unterschiedliche Entfernungen einstellen. Diese Fähigkeit heißt **Akkommodation** und nimmt im Alter durch zunehmende Verhärtung des Linsenkörpers ab.

Nachdem das Licht die **Hornhaut**, **Pupille** und den **Glaskörper** im Auge passiert hat, fällt es auf die **Netzhaut**. Sie ist die **Projektionsfläche** und trägt etwa **130 Millionen Sehzellen**. Die parallel eintreffenden Lichtstrahlen werden so gebündelt, dass sie genau in der **Sehgrube** zusammentreffen.



Linse und **Glaskörper** erzwingen dabei **auf dem Kopf** stehende Bilder unserer Umwelt, die das Gehirn dann in Echtzeit gerade rückt. In der **Sehgrube** sind die **Sehzellen** für das Tages- und Farbsehen besonders dicht angeordnet.

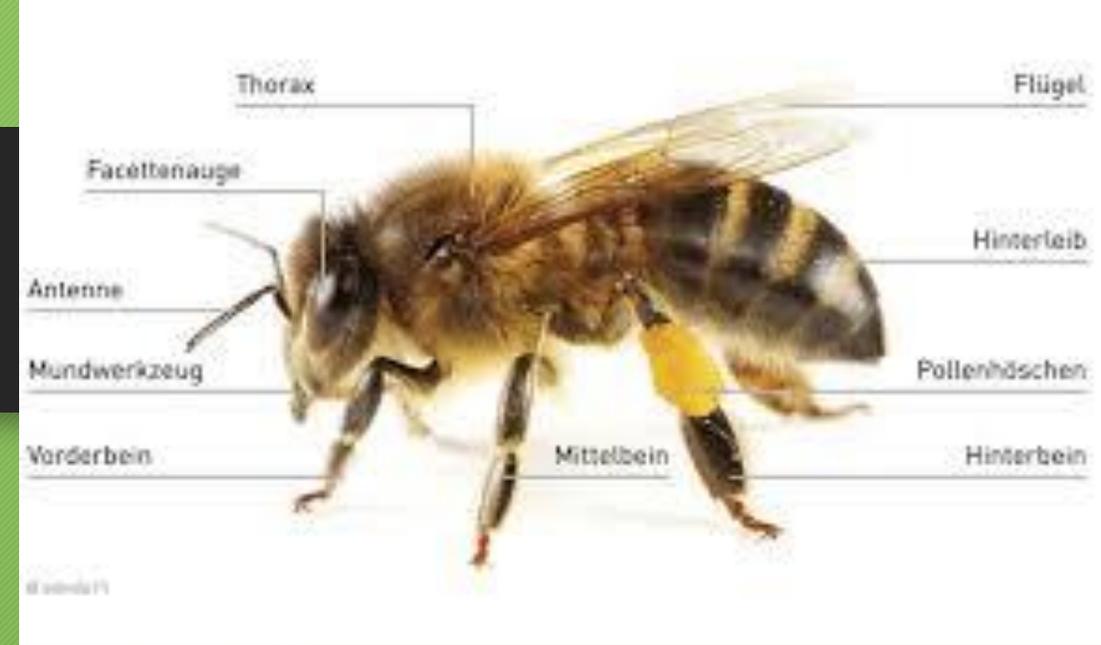
Die **Sehzellen** (Zapfen und Stäbchen) übernehmen je nach Helligkeit das Sehen. Sie haben eine unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit.

-**Zapfen** sind verantwortlich für das Tag- und Farbsehen und ermöglichen scharfes Sehen.

-**Stäbchen** dienen dem Dämmerungssehen, den Grautönen.

Die Biene - Entwicklung

Die Honigbiene durchläuft während ihrer Entwicklung eine **vollständige Verwandlung**. Ei - verschiedene Larvenstadien - Puppe - erwachsene Biene. Diese dauert bei der **Königin 16**, bei der **Arbeiterin 21**, bei der **Drohne 24** Tage. Die Embryonalentwicklung geschieht während der **dreitägigen Eizeit**. Zwei bis Drei Stunden nach der Eiablage geht bei besamten Eiern die Befruchtung vor sich. Im **fünf bis sechstägigen** Stadium der **Rundmade** durchläuft die in den ersten Tagen mit Futtersaft, später mit Honig und Pollen ernährte, schnellwachsende **Larve vier Häutungen**.



Dann wird sie zur **Streckmade** und spinnt sich ein. Arbeitsbienen versehen die Zelle/Wabe mit einem luftdurchlässigem Deckel. Im **Ruhestadium** werden alle Madenorgane eingeschmolzen und neu gebildet. Aus der **fünften Häutung** geht die **Puppe** hervor, die schon die Gestalt der Biene hat. Auf eine **sechste Häutung** folgt nach Durchnagen des Zelleckels der Schlupf der erwachsenen **Biene**.

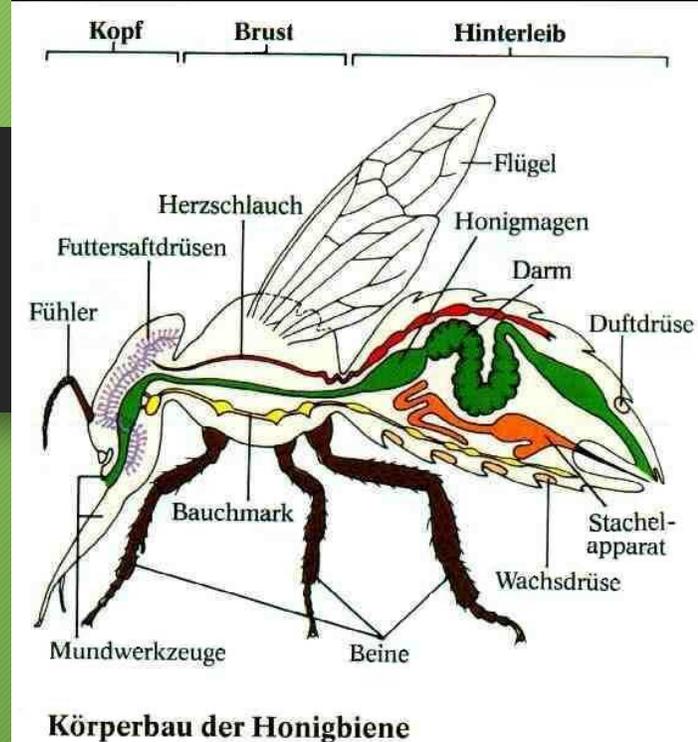
Die Biene - Körperbau und Funktionen

Der Körper der erwachsenen Biene teilt sich in **Kopf**, **Brustteil** und **Hinterleib**. **Chitin** bildet das äußere **Stützskelett**, an das alle Muskeln herantreten. Die Biene ist mit einem feingefiederten Chitin-Haarkleid bedeckt, in dem bei Blütenbesuchen Pollen leicht hängen bleiben. Der Hinterleib der Biene ist auf Grund von **Intersegmentalhäuten** beweglich: zum Beispiel für **Atmung** und **Nahrungsaufnahme**.

Kopfanhänge sind die beweglichen **Antennen**. Sie sind Geruchsorgane und verfügen auch über **Tasthaare**.

Am Kopf befinden sich zwei **Facettenaugen**. Die Biene hat außerdem auf der Stirn **drei Punktaugen**, die zum Messen der Helligkeit dienen. Im Kopf sitzt das pilzförmige **Gehirn**.

An dem muskulösen Brustteil befinden sich als Bewegungsorgane **zwei Flügelpaare** und **drei Paare** aus mehreren Gliedern zusammengesetzter **Beine**. Die Beine besitzen Vorrichtungen zum Abstreifen von Pollen aus dem Haarkleid sowie zum Packen und Eintragen von Pollenladungen.



Der Kau- und Verdauungsapparat besteht aus Mundteilen, Schlundrohr und Darmtrakt.

Mundwerkzeuge sind Ober- und Unterlippe, Ober- und Unterkiefer, Kinn mit Zunge und Löffelchen. Dem Kinn entspringen die Hinterkiefertaster; diese bilden beim Saugen von Nektar mit der Zunge den Rüssel. Mit dem Oberkiefer wird zum Beispiel Wachs geknetet. Die aufgenommene Nahrung durchläuft Speiseröhre, Honigblase, Mittel-, Dün- und Enddarm und die Afteröffnung. Am Ende der als Speichervorgang dienenden Honigblase befindet sich der Ventiltrichter, der geöffnet werden kann, um Nektar und Pollen in den als Verdauungsorgan funktionierenden Mitteldarm zu lassen. Am Übergang zwischen Mittel- und Dünndarm sind seitlich zahlreiche fadenförmige Gefäße mit Nierenfunktion. In der Kotblase wird der Kot gespeichert, bis er außerhalb des Stockes, meist im Flug abgesetzt wird.



Die Atmung geht über das Tracheensystem vor sich. Die in seitliche Atemlöcher mündenden Tracheenröhrchen bilden an den Enden feinste Ausläufer, die alle Organe umgeben und deren Versorgung mit Sauerstoff ermöglichen.

Das auf der Rückseite der Biene befindliche Herz ist ein Schlauch mit seitlich angeordneten Klappen. Das im Bienenkörper frei fließende farblose Blut dient nur dem Transport der Nähr- und Abfallstoffe.

Eine Anzahl von Drüsen liefert Stoffe, die für die Aufrechterhaltung des biologischen Gefüges und Sozialverhaltens im Bienenvolk von Bedeutung sind.

Die **Futtersaft-, Schlund- oder Kopfspeicheldrüse** erzeugt den **Futtersaft** für die Junglarven und die Larven der Königinnen. Die Drüse ist im **Kopf** gelagert.

Die **Wachsdrüsen** sind erforderlich für den Aufbau des Wabenwerkes. Sie sind nur bei der **Arbeiterin** vorhanden und befinden sich in vier Paaren an den **Bauchschuppen**.

Die **Duftdrüse** befindet sich auf der letzten sichtbaren Rückenschuppe der **Arbeiterin**. Das flüssige Sekret enthält Orientierungs- und Markierungspheromone und verdunstet unter dem Einfluss der Flügelbewegungen. gespeichert.



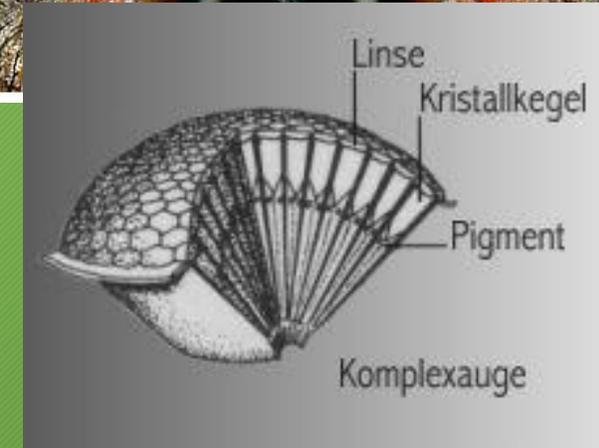
Männliche Keimdrüsen sind **Hoden**, in denen das Spermium erzeugt wird. **Weibliche Keimdrüsen** sind die paarartigen **Eierstöcke**. Die Eierstöcke nehmen den größten Teil des Hinterleibs der **Königin** ein. Sie münden im Eileiter, die sich zur Scheide vereinigen.

Auch die **Arbeiterin** hat **Eierstöcke**. Bei Verlust der Königin können die Arbeiterinnen beginnen unbefruchtete Eier zu legen. Die **Giftdrüse** befindet sich am **Stachelapparat** der weiblichen Tiere, **Königin** und **Arbeiterin**. Das Bienengift, ein saures Sekret, wird in der **Giftblase**

Das Auge - Biene/ Insekt

Auf den ersten Blick scheint es, als hätten Insekten zwei Augen. Dieser Eindruck täuscht, denn Insekten haben teils **einige wenige, bis zu tausend Augen**. Sie besitzen sogenannte **Komplexaugen/ Facettenaugen**. Jede dieser Facetten hat eine **eigene Linse** die das Gesamtbild im Gehirn zusammensetzt. Diese bestehen aus mehreren Einzelaugen, die als eigene Einheit arbeiten.

- Jedes Einzelauge nimmt einen **kleinen Ausschnitt** aus der Umgebung wahr, welcher im **Gehirn** zu einem **Gesamtbild** zusammengesetzt wird.
- Das Facettenauge/ Komplexauge ist **halbkugelförmig**. Jede Facette schaut in eine andere Richtung



- Die Augen ermöglichen eine **Rundumsicht** von beinahe **360°**. So kann das Insekt auch Feinde erkennen, die sich von hinten nähern.
- Bewegungen können sehr viel besser wahrgenommen werden. Was sich **sehr schnell bewegt**, erscheint **in Zeitlupe**. Unbewegte Gegenstände sind für Insekten unscharf.



- Allerdings ist das Facettenauge an sich unbeweglich und die Linse der Einzelaugen sind **nicht in der Lage zu fokussieren**. Je mehr Einzelaugen ein Facettenauge hat, desto schärfer ist das Gesamtbild.
- Sie liegen meist **seitlich** am Kopf. Daher können Insekten gleichzeitig nach vorne und zur Seite schauen.
- Insektenaugen haben ein **weites Blickfeld**, sind aber **starr** mit dem Kopf verbunden. Um Das Blickfeld zu verändern muss die Biene den Kopf oder sich selbst drehen.
- Die **Linsen** bestehen aus **Chitin**. Das Insektenauge ist daher unempfindlicher als ein Menschenauge. **Borsten**, die zwischen den einzelnen Facetten sitzen schützen es zusätzlich.

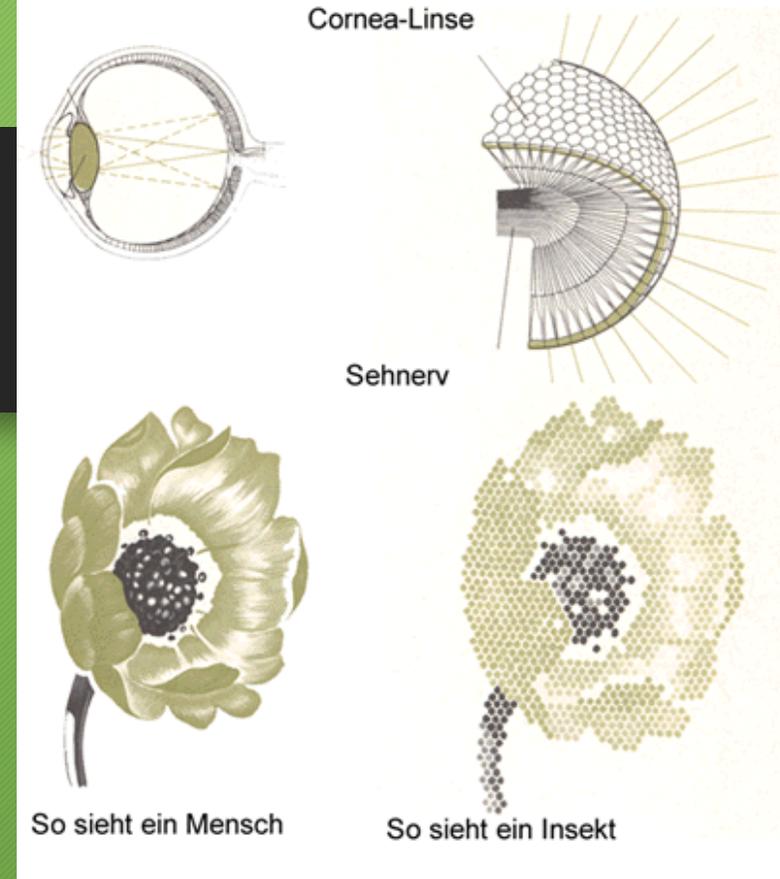
Das Auge - Unterschiede

So sieht die Biene:

Bienen sehen die Welt anders als Säugetiere. Rotes Licht wird von ihnen kaum wahrgenommen, dafür können sie jedoch **ultraviolettes Licht** sehen. Im Gegensatz zum Menschen. Eine Blüte, die für uns fast ausschließlich gelb aussieht, leuchtet in der Mitte ultraviolett und lässt die Biene sehr schnell erkennen, wieviel Nektar und Pollen in der Blüte enthalten sind. Zusätzlich verfügt die Biene **über drei Punktaugen**, mit denen sie hell und dunkel sehen kann. Sie sind mit dem Gleichgewichtsorgan verbunden und stabilisieren die Flugbahn.

So sieht ein Säugetier:

Säugetiere haben Linsenaugen, **drehbare Augäpfel** mit einer empfindlichen Oberfläche. Jedes Auge hat **eine Linse**, die das einfallende Licht auf der Netzhaut bündelt und so ein Bild erstellt. Im Gegensatz zu Facettenaugen können diese Augen ein Bild **scharf stellen**. Das räumliche sehen ist besser als bei Insekten.



Lehrwegtafel - Die Welt durch Bienenaugen

Die Welt durch Bienenaugen

Bienen haben Komplex- oder Facettenaugen. Damit sehen sie die Welt verpixelt. Zudem sehen sie im UV-Bereich, dafür nicht rot.

Licht erscheint normalerweise weiß. Sonnenlicht besteht aber aus allen Farben. Weißes Licht wird in der Natur beim Regenbogen durch Wassertropfen aufgespalten. Eine andere Möglichkeit ist, ganz feine Strukturen zu benutzen. Solche feine Strukturen, die man mit dem bloßen Auge gar nicht mehr erkennen kann, befinden sich z.B. auf einer CD.

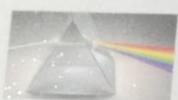
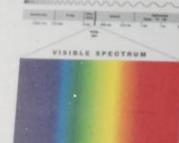
Auch in den Komplexaugen der Honigbiene finden sich drei verschiedene Rezeptortypen. Deren maximale Empfindlichkeiten liegen jedoch mit 350 Nanometern bereits im UV-Bereich des Spektrums, mit 450 Nanometern beim Blau und 530 Nanometern beim Grün. Die Biene nimmt also UV-Licht wahr, dafür aber kein Rot – diese Wellenlängen erscheinen ihnen wie Schwarz.

Alle Gegenstände reflektieren das Licht – es strahlt zurück. Im menschlichen Auge gibt es drei unterschiedliche Farbrezeptoren: Im Blaubereich (440 Nanometer), im Grünbereich (530 Nanometer) und im Gelb-Rotbereich (570 Nanometer).

Das behaarte Facettenauge setzt sich aus vielen Augenkeilen zusammen. Die Anzahl der Augenkeile bestimmt die Sehschärfe. Bei den Honigbienen besitzt eine Arbeiterin etwa 6300 Augenkeile. Neben den Facettenaugen kommen bei den Honigbienen auch noch drei Punktaugen vor, die zur Messung der Lichtintensität dienen.

Mach es wie die Bienen & Wikinger – Kompass ohne Sonne:
Bienen können den Stand der Sonne auch bei bedecktem Himmel wahrnehmen. Wie? Das Bienenauge kann auch polarisiertes Licht wahrnehmen, dessen Schwingungen in einer Ebene liegen.
Das gleiche machten auch die Wikinger mit dem sogenannten »Solstein« – einem Kalkit, der ihnen half, auf See ohne Kompass zu navigieren. Kalkit bricht Sonnenlicht in Abhängigkeit von seiner Position zur Sonne. Beim Blick durch den Stein sind zwei unterschiedliche Bänder des Sonnenlichts zu sehen. Sind beide Lichtbänder gleich stark, zeigt der Kristall genau die Richtung der Sonne an – probieren Sie es aus.

zum Ausprobieren:



Inhalt der Tafel zum Anfordern über QR-Code

Weitere Infos auf www.eichstaedt.com.de oder im Flyer (Tourist-Info Eichstätt)

Eichstätt

Quellen

- www.wissenschaft.de/archiv/-/journal-content/67/12054/1555387/gut-zu-wissen:-Das-Sonnenlicht/
- www.Licht.de/fileadmin/publikationen-downloads/1603_lw01_Kuenstliches-Licht_web.pdf
- www.br.de/wissen/polarisation-polarisiertes-Licht-100.html
- <https://www2.hu-berlin.de/bienenkunde/index.php?id=111>
- Alle Bilder wurden über die Google- Bildersuche gefunden