

Werner Gitt



Faszination Mensch

Faszination Mensch

Werner Gitt

gebunden, Bildband, Format: 17 x 24 cm, 160
Seiten

Artikel-Nr.: 255649

ISBN / EAN: 978-3-89397-649-2

Der Autor zeigt, dass der Mensch eine geniale Konstruktion Gottes ist. Er beschreibt Sinnesorgane wie das Auge, das Ohr, den Geruchssinn, den Geschmackssinn und den Tastsinn. Danach schildert er den Aufbau der inneren Organe wie Herz, Blutsystem, Niere, die Zellen, die Erbsubstanz DNS und das Gehirn. Anhand dieser Beispiele wendet sich Werner Gitt an den verlorenen Menschen und zeigt einen Schöpfer, der das Verlorene sucht, bis er es gefunden hat. Als wunderschöner, hervorragend gemachter Bildband ein ideales Geschenk für Christen wie für ...

Wenn Sie ein "echtes" Buch bevorzugen oder diesen Artikel verschenken möchten, können Sie diesen Download-Artikel ggf. auch käuflich erwerben, solange verfügbar.

Besuchen Sie für weitere Informationen bitte folgende Seite: www.clv.de





1. Auflage 1996
2. Erweiterte und aktualisierte Auflage 2003
3. Auflage 2016

© 1996 by CLV
Christliche Literatur-Verbreitung
Postfach 11 01 35 · 33661 Bielefeld
Internet: www.clv.de

Satz: CLV
Umschlag und Buchdesign: OTTENDESIGN.de, Gummersbach
Druck und Bindung: www.schreckhase.de

Bestell-Nr. 255.649
ISBN 978-3-89397-649-2

Faszination Mensch



Christliche Literatur-Verbreitung e. V.
Postfach 11 01 35 · 33661 Bielefeld

Inhalt

Vorwort	8
Teil I Der Mensch: Eine geniale Konstruktion	10
Die Sinnesorgane – genial konstruierte Werkzeuge für unsere Wahrnehmung	11
Das Auge – unser Fenster nach draußen	12
Das Ohr – das Sinnesorgan mit der genauesten Messtechnik	20
Der Geruchssinn – der Sinn ohne Worte	30
Der Geschmackssinn – nicht nur etwas für Feinschmecker	34
Der Tastsinn – verteilt auf der ganzen Haut	38
Unsere Sinnesorgane – in dieser und jener Welt	44
Das Herz – mehr als eine Pumpe mit technischem Pfiff	48
Das Blut – ein universelles Transportmittel	56
Die Niere – Filterung mit Rekorden	66
Die Zellen – Bausteine für ein Haus mit 100 Billionen Einzelteilen	70
Die DNS – von Computern unerreichte Speichertechnik	74
Das Gehirn – das komplexeste Gebilde im Universum	80
Leib, Seele, Geist – der Mensch ist mehr als Materie	90



Teil II Was ist der Mensch?

Der Mensch: Konzipiert als Ebenbild Gottes?

1. Der Mensch kann sprechen, wie Gott auch
 2. Der Mensch kann denken, wie Gott auch
 3. Der Mensch kann schreiben, wie Gott auch
 4. Der Mensch hat schöpferische Fähigkeiten, wie Gott auch
 5. Wir haben ein ästhetisches Empfinden und können künstlerisch gestalten, wie Gott auch
 6. Wir haben einen freien Willen, wie Gott auch
 7. Wir haben die Fähigkeit zur Bewertung und Beurteilung, wie Gott auch
 8. Wir haben die Fähigkeit zu lieben, wie Gott auch
 9. Wir haben die Fähigkeit, treu zu sein, wie Gott auch
 10. Wir haben die Fähigkeit, mit Gott Gemeinschaft zu haben, wie Gott auch mit uns
- Weitere Besonderheiten des Menschen, die ihn vom Tier unterscheiden

Hat Gott auch Sinnesorgane?

Jeder Mensch – bei Gott bekannt?

Der Mensch nach dem Fall: Zerrbild Gottes

Ein besonderer Mensch: Jesus

Jeder Mensch: von Gott gerufen

Zwei Gleichnisse aus der Seefahrt

Der Untergang der *Gustloff*

Der Untergang der *Titanic*

Was lehren uns die beiden Schiffskatastrophen

Informationen über die *Gustloff*

Informationen über die *Titanic*

Persönliche Zeugnisse: Jesus durch ein Buch gefunden

Von Auschwitz zu Jesus

Ein Buch bereite mir eine unruhige Nacht

Über die Babywäsche zum Glauben

Fragen, auf die wir eine Antwort suchten

Wie geschieht der Eintrag ins »Buch des Lebens«?

Oder: Wie geschieht der Umstieg ins Rettungsboot?

Der Mensch im Glauben: Geliebter Gottes

Der Mensch im Himmel: Herrlich wie Jesus!

H1: Der Himmel – der Ort vollkommenen Glücks

H2: Der Himmel – ein Ort des Genusses für die Sinnesorgane

H3: Der Himmel – ein Fest ohne Ende

H4: Der Himmel – ein Ort der Schönheit

H5: Der Himmel – der Ort des erfüllten Lebens

H6: Der Himmel – ein Ort mit einer Wohnung für uns

H7: Der Himmel – ein Ort des Regierens

H8: Der Himmel – der Ort, wo Jesus ist

H9: Im Himmel – dort werden wir Jesus gleich sein

H10: Der Himmel – ein Grund zu großer Vorfreude

Erklärung der verwendeten Abkürzungen für die biblischen Bücher

Verwendete Fachliteratur

Fotografen/Illustratoren/Der Autor

98

99

100

101

102

103

103

103

104

104

104

105

105

106

110

112

114

118

120

120

121

123

126

127

128

128

130

131

132

134

134

140

142

146

147

147

147

148

149

150

150

151

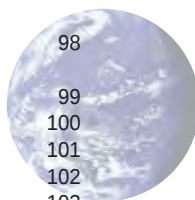
151

152

154

154

155



Vorwort

Was erwarten Sie von einem Buch mit dem Titel **Faszination Mensch**? Fragen wir zunächst nach der Wortbedeutung. Faszination hat seinen Wortstamm von dem lateinischen *fascinare*, das ursprünglich der Bedeutung von *bezaubern* entlehnt wurde, nun aber für begeistern und anziehen steht. Was wirkt auf uns anziehend? Was übt eine fesselnde Wirkung auf uns aus? Was begeistert uns echt? Ist es das Bild unseres Lieblingsmalers, die Geschicklichkeit eines Athleten, die Stimme einer Sängerin, das virtuose Spiel des Klavirkünstlers oder eine geniale technische Erfindung?

In diesem Buch bewegt uns mehr die generelle Frage: Was ist der Mensch? Ein Wissenschaftsjournalist formulierte dazu folgende Antwort:

»Der Mensch ist ein wundervolles, unvorstellbar kompliziertes Wesen. Seine Daten, ganz nüchtern: Eine vom Gehirn zentral geschaltete chemische Fabrik, Elektrowerk, Klima- und Kläranlage, Denkcomputer mit der Luxusausstattung »Liebe und Hass«. Ein Wesen, dessen Organismus sich über Jahrzehnte selbst am Leben erhält und durch ständige Selbstkontrollen dafür sorgt, dass es – nahezu – reibungslos funktioniert. Zusammensetzung: 100 Billionen mikroskopisch kleine Einzelteile, fantastisch aufeinander abgestimmt und eingespielt. In gesundem Zustand können sie sich auch ständig erneuern und sogar selbst reparieren. In Gang gehalten wird dieses Wunderwerk von einer faustgroßen Pumpe, dem Herzen, das 100 000-mal am Tage schlägt und in fünf Litern Blut die Nährstoffe durch den Körper schickt. Aus täglich 20 000 Litern Atemluft holen sich die Lungen den notwendigen Sauerstoff. Abgabe werden ausgeatmet. Normale Betriebstemperatur: 37 Grad Celsius. Aber leider: verschleißanfällig. Elektronenmikroskope können heute das Wunder Mensch mit 200 000-facher Vergrößerung fast bis in den letzten Winkel ausforschen.«

Hier ist schon einiges angesprochen, worüber es sich lohnt, näher nachzudenken. In diesem Buch geht es nicht um einen speziellen Menschen, der es zu Hochleistungen gebracht hat, vielmehr geht



es um jeden Einzelnen von uns. Wir wollen uns in einer Auswahl einige der genial durchdachten und konstruierten Details am Menschen näher ansehen. Wer sich begeistern kann, wird ins Staunen kommen. Wer mitdenkt, wird zu gewichtigen Schlussfolgerungen kommen.

Gliederung des Buches: Das Buch gliedert sich in zwei große Hauptteile. Zuerst werden zahlreiche ausgewählte Details dargestellt, die uns über das Wunderwerk Mensch sicherlich ins Staunen versetzen. Dies alles wird geschildert, um zu vermitteln, wie wunderbar wir gemacht sind. Das führt automatisch zu der Frage: Wessen Ideen stecken in uns? Wer ist unser Urheber? Nur zwei prinzipielle Antworten sind möglich: Entweder ich bin das Ergebnis eines ziellosen physikalisch-chemischen Prozesses, den niemand geplant hat, oder ich stamme aus der Hand eines genialen Schöpfers. Das genauere Betrachten der Konstruktion Mensch kann uns helfen, diese Antwort durch Schlussfolgerung zu finden.

Im ersten Teil des Buches tauchen viele Zahlenwerte auf. Dazu sei vorab ein wichtiger erklärender Hinweis gegeben. Liest man verschiedene Fachbücher oder Originalveröffentlichungen, so werden die Zahlenwerte von den Autoren keineswegs übereinstimmend genannt. Das liegt einmal daran, dass es bereits von Mensch zu Mensch eine nicht kleine Schwankungsbreite gibt. Zum anderen sind gerade die großen Zahlen (z. B. Anzahl der Körperzellen) nicht durch Abzählen, sondern durch Abschätzung bzw. Hochrechnung gewonnen worden. Aus diesen Gründen sind Abweichungen von Quelle zu Quelle unvermeidlich.

Im zweiten Teil des Buches gehen wir auf Fragen zum Wesen des Menschen ein: Warum ist der Mensch so wie er ist? Warum verhält er sich in dieser Weise? Warum ist es keiner Ideologie

gelingen, den Menschen positiv zu verändern? Was ist die Zukunft des Menschen? Ist mit dem Tode alles aus? Gibt es eine Ewigkeit? Wenn ja – was haben wir zu erwarten? Während im ersten Teil wissenschaftliches Fachwissen im Vordergrund steht, spielt im zweiten Teil die Bibel eine zentrale Rolle. In den meisten Fällen wurde wegen der kräftigen, oft würzigen Sprache die *Luther*-Übersetzung bevorzugt. Aus Gründen leichter Lesbarkeit, besserer Verständlichkeit oder genauerer Formulierung wurde gelegentlich auch eine andere Übersetzung herangezogen. Nach dem entsprechenden Zitat wird diese dann genannt.

Leserkreis und Ziel des Buches: Hinsichtlich Alter, Bildungsgrad, Geschlecht oder Beruf ist an keinen spezifischen Leserkreis gedacht. Die vielen staunenswerten Details am Menschen sind so faszinierend, dass wohl jeder daran Interesse findet. Ein besonderes Anliegen dieses Buches ist es, wissenschaftliche Fakten mit biblischen Aussagen zu verknüpfen. Das Hauptziel des Buches ist allerdings, Suchende und Zweifler, aber auch Atheisten und Gleichgültige für den Glauben zu gewinnen. Dabei ist nicht irgendein

Allerwelts Glaube gemeint, sondern der rettende Glaube an Jesus Christus. Aus diesem Grunde wird der Notwendigkeit der Errettung und der Beschreibung des Weges dorthin ein entsprechend breiter Raum eingeräumt. Wer zum Ziel kommt, wird fasziniert sein – nicht mehr von sich selbst, sondern von seinem Urheber, der ihn geschaffen hat und der ihm durch den Propheten sagen lässt: »Weil du so wert vor meinen Augen geachtet bist, musst du auch herrlich sein, und ich habe dich lieb« (Jes 43,4).

Dank: Das Manuskript wurde von Frau Dr. med. Jutta Nemitz (Braunschweig) und von Andreas Wolff (Gießen) gründlich durchgesehen, nachdem ich mit meiner Frau alles in gewohnter Weise durchgesprochen habe. Unser Sohn Carsten hat für den Bereich der Sinnesorgane einige Karikaturen angefertigt. Allen Beteiligten danke ich für die hilfreiche Mitarbeit an diesem Bildband. Schließlich möchte ich auch den Verantwortlichen des CLV-Verlages für die angenehme Zusammenarbeit und wohlwollende Förderung bei der Herausgabe danken.

Werner Gitt

Teil I

**Der Mensch: Eine geniale
Konstruktion**



Die Sinnesorgane

– genial konstruierte Werkzeuge für unsere Wahrnehmung

Die Sinne sind unsere Fenster zur Außenwelt. Nur über das Radarnetz der Sinne können wir unsere Umgebung wahrnehmen, erkennen, empfinden und verstehen. Durch die Sinne gewinnt unser bewusstes Leben ihre eigentliche Qualität, und viele Entscheidungen werden von ihnen beeinflusst. Sie lösen in uns eine breite Palette von Empfindungen aus wie z. B. Freude, Glück, Frohsinn und Zufriedenheit, aber auch Schmerz, Erschrecken, Angst und Trauer. Wenn wir an die Grenzen der Sinneswahrnehmungen kommen, versuchen wir diese durch technische Hilfsmittel wie Mikroskope, Teleskope und Stethoskope zu erweitern. Unsere Sinne gehen auf Entdeckungsreisen und suchen Neues. Wir verbringen einen Großteil unseres Lebens, um den Sinnen Besonderes zu bieten: Wir machen aufwendige Reisen, um neue Länder zu erkunden, um ferne Wüsten, Berge, Seen oder Strände zu erleben. Wir gehen in den Zoo, ins Kino oder Theater, hören klassische Musik oder fetzige Konzerte, kaufen exotische Düfte oder geben viel Geld für kulinarische Genüsse aus. Überall, wo wir bereit sind, hohe Eintrittsgelder zu zahlen, wollen wir unseren Sinnen etwas Besonderes bieten. Es wird deutlich: Die Qualität unseres Menschseins wird in entscheidendem Maße von unseren Sinnen beeinflusst. Darum wollen wir uns im Folgenden ausgiebig mit den vielfältigen Leistungen, aber auch den konstruktiven Details unserer Sinnesorgane befassen.





Das Auge

– unser Fenster nach draußen

»Das Auge sieht sich nimmer satt« heißt es schon in der Bibel im Buch Prediger (1,8). In der Tat ist das Auge eines unserer wichtigsten Sinnesorgane, über das wir weit mehr als die Hälfte aller Informationen aus der Umwelt aufnehmen. Mithilfe des Lichtsinns lesen wir Briefe, Zeitungen, Zeitschriften und Bücher, betrachten wir die Farben einer Blüte, die Weite einer Landschaft, die Schönheit eines Kleides, die künstlerische Gestaltung eines Gemäldes, insbesondere aber die Menschen, die uns lieb sind und mit denen wir es täglich zu tun haben. Unser gesamtes Antlitz bezeichnen wir als »Gesicht«, und damit abstrahieren wir alles auf das Sehen. Auch das französische Wort *visage* entspricht unserem Gesicht. Es hat ebenfalls den Bezug zum Sehen, da sich dieses von dem lateinischen Wort *videre* (= sehen) ableitet.

Physiologisch betrachtet liegen siebzig Prozent aller Sinnesrezeptoren unseres Körpers in den Augen. In der Tat bewerten und verstehen wir die Welt hauptsächlich dadurch, dass wir sie sehen. So ist es verständlich, dass den ansonsten sehr unterschiedlichen menschlichen Sprachen eines gemeinsam ist, sie sind sehr bildhaft. In Redewendungen und Sprichwörtern verwenden wir häufig Vergleiche, die zwar in übertragenem Sinne gemeint, aber visuell leicht eingängig sind. Einige Beispiele belegen dies sehr eindrücklich: »Es schüttet wie aus Kübeln«; »Er ist Hahn im Korb«; »Bis an den Hals in Schulden stecken«; »Das Herz auf der Zunge haben«.

In der Bibel befahl der Schöpfer am ersten Schöpfungstag: »Es werde Licht!« Damit war von Anfang an die Voraussetzung für das Sehen geschaffen. Bei der Beurteilung seiner Schöpfungswerke wird fünfmal die Redewendung wiederholt: »Und Gott sah, dass es gut war.« Auch in der abschließenden Gesamtschau dient das Sehen wieder zur Beurteilung: »Und Gott sah an alles, was er gemacht hatte, und siehe, es war sehr gut« (1 Mo 1,31).

Nachdem wir die Wichtigkeit des Sehens herausgestellt haben, wollen wir uns nun mit dem Organ beschäftigen, das uns diese Möglichkeit verleiht.

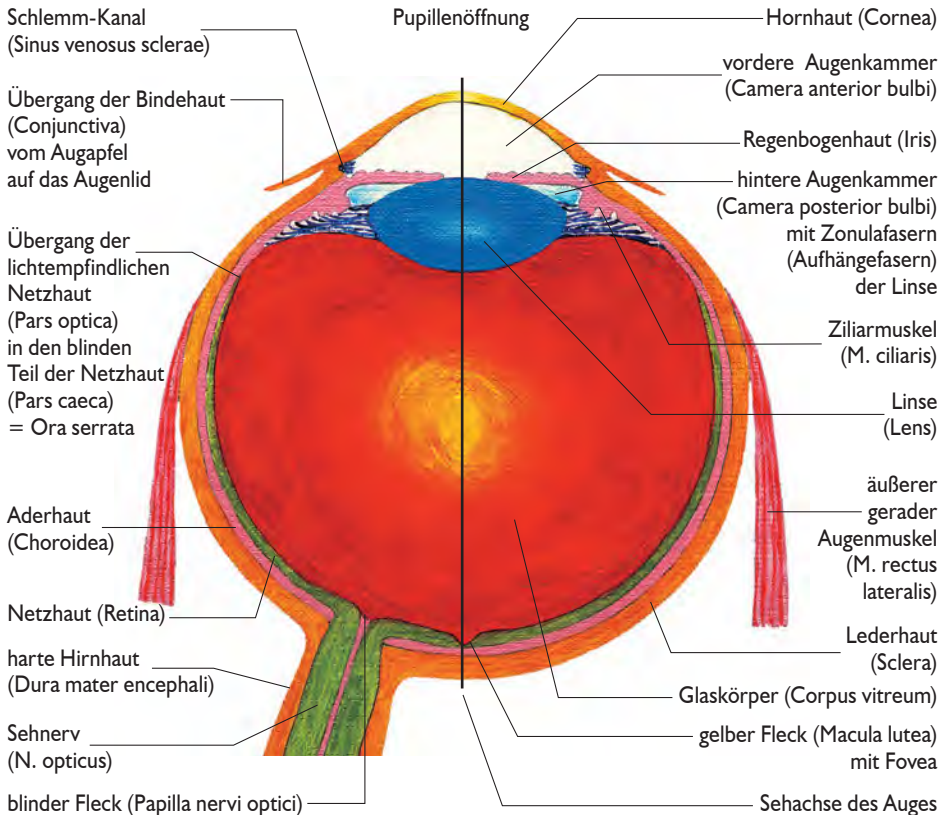
Allgemeines zum Auge: Das für uns sichtbare Licht ist physikalisch gesehen eine elektromagnetische Strahlung im Wellenbereich von 400 (violett) bis 750 (rot) Nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ Milliardstel Meter} = 1 \text{ Millionstel Millimeter}$). Die eintretenden Lichtstrahlen müssen zur Bildentstehung im Auge gebrochen und auf der Netzhaut scharf abgebildet werden. Die Hornhaut (*Cornea*) übernimmt den größten Teil der Brechkraft. Die Linse ermöglicht zusätzlich durch Änderung ihrer Krümmung die Scharfeinstellung auf verschiedene Entfernungen. Dabei kann die Brennweite der Linse in einem Bereich von 69,9 bis 40,4 mm durch ein sehr geniales Prinzip variiert werden, nämlich durch Veränderung ihrer Form. Durch Anwendung dieser Methode kommen wir im Gegensatz zu den Erzeugnissen der optischen Industrie mit nur einer einzigen Linse aus. Die Iris gleicht einer Kamerablende. Zwei entgegengesetzt wirkende Muskeln regeln je nach Helligkeit die Weite der Blendenöffnung (Pupille). Die Form des Auges wird durch den Augeninnendruck im Glaskörper aufrechterhalten, der durch geregelte Produktion und Abfluss von Kammerwasser bestimmt wird. Tränenflüssigkeit und Lidschlag schützen die Hornhaut vor Austrocknung.

Die Augen zeichnen sich unter all unseren Sinnesorganen durch die größte Reichweite und Adaptionsfähigkeit aus. Sie sind mit einem eigenen Bewegungsapparat ausgestattet, um ein zielgerichtetes Sehen zu ermöglichen. Die zweidimensionale Abbildung auf der Netzhaut erfordert eine massive Parallelverarbeitung im nachgeschalteten Nervennetzwerk.

Aufbau des Auges: Funktionell kann man beim Auge zwei Teile unterscheiden, nämlich den dioptrischen Apparat (griech. *dioptra* = Durchschauer), der den physikalisch-optischen Teil darstellt, und die Rezeptorfläche der Netzhaut, in der die optischen Reize die neuronalen Elemente erregen. Der dioptrische Apparat entwirft im Auge ein verkleinertes, umgekehrtes Bild. Um eine scharfe Abbildung auf der Netzhaut zu erreichen, werden hohe Anforderungen an eine genaue Abstimmung zwischen der Brechkraft der optischen Medien und den Abmessungen des Auges gestellt. Bereits eine Abweichung von 0,1 mm stellt einen Fehler dar, der durch eine Brille korrigiert werden muss.

Die Hornhaut dient vornehmlich dem Schutz der empfindlichen Bestandteile des Auges vor mechanischer Beschädigung durch Fremdkörper. Zwischen Hornhaut und Linse befindet sich die Iris. Sie funktioniert ähnlich wie die Blende eines Fotoapparates und reguliert die Menge des einfallenden Lichtes. Vergleichbar mit dem Linsensystem eines Objektivs, bündelt die Linse des Auges einfallende Lichtstrahlen, bevor sie auf die Netzhaut (*Retina*; von lat. *rete* = Netz) treffen. In der Netzhaut selbst beginnt der eigentliche Wahrnehmungsprozess, indem einfallendes Licht von *Photorezeptoren* (*Stäbchen* und *Zapfen*) registriert und die vorliegenden »optischen Signale« zunächst in chemische und anschließend in elektrische Signale umgeformt werden. Diese elektrischen Signale gelangen schließlich über den *Sehnerv* zum Gehirn.

An der Stelle, wo der Sehnerv aus der Retina austritt (*Papille* genannt), befinden sich keine Photorezeptoren; die Netzhaut ist an dieser Stelle folglich nicht lichtempfindlich. Aus diesem Grunde bezeichnet man die Papille auch als »blinder Fleck«. Ein anderer ausgezeichnete Bereich auf der Netzhaut ist die Sehgrube, die *Fovea centralis*, eine Netzhautvertiefung in der Mitte des gelben Flecks. Sie bildet den Ort höchster Sehschärfe der gesamten Netzhaut. Die Photorezeptoren der Fovea (es sind nur Zapfen, keine Stäbchen!) sind in einer bestimmten Weise mit den nachfolgenden Nervenzellen verbunden. Die Fovea ermöglicht eine besonders hohe Auflösung. Wenn man einen Gegenstand fixiert, ist dies nichts anderes, als dass durch Augen- und Kopfbewegungen die Fovea centralis des Auges auf das interessierende Objekt ausgerichtet wird.



Horizontalschnitt durch das rechte menschliche Auge.
(Aus Faller/Schünke: *Der Körper des Menschen*, Thieme-Verlag.)

Die Netzhaut: Durch die Pupille kann mit einem Augenspiegel der Augenhintergrund beobachtet werden. Sichtbar sind dann die Netzhaut (Retina) mit der Blutversorgung ihrer inneren Schichten, die Fovea und der Austritt des Sehnervs. Der Netzhaut kommt eine Schlüsselposition beim



visuellen Wahrnehmungsprozess zu. Sie ist ein nur 0,2 mm dickes Nervengewebe, das die Innenseite des Augapfels auskleidet. Sie enthält die Photorezeptoren und vier Klassen nachgeschalteter Nervenzellen sowie Stützzellen und Pigmentepithel (lat. *pigmentum* = Färbestoff; griech. *epithel* = oberste Zellschicht der Haut). Stäbchen und Zapfen sind die beiden Typen von Photozellen, deren Namen sich auf ihre Form bezieht. Diese Lichtdetektoren sind winzig kleine, aber technisch raffinierte Lichtmessgeräte. Sie enthalten die verschiedenen Sehfärbstoffe. In jedem Auge finden wir etwa 110 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen. Diese sind über sogenannte Bipolarzellen mit den Ganglienzellen verbunden. Die Photorezeptoren sind einerseits horizontal vernetzt, und andererseits münden sie »vertikal« in etwa 1 Million Ganglienzellen ein. Dies sind die ersten an der visuellen Wahrnehmung beteiligten Neuronen. Sie stellen die Hauptflussrichtung der Signale dar. Die Ganglienzellen sammeln alle Signale der Netzhaut; ihre Fortsätze werden im optischen Nerv gebündelt und verbinden das Auge mit dem Gehirn. Der optische Nerv hat beim Menschen eine Dicke von ca. 2 mm und enthält mehr als eine Million gut voneinander isolierte Fasern. Von einem solchen »Kabel« können Nachrichtentechniker selbst bei Anwendung modernster Techniken (Glasfasern) nur träumen.

Auf einem einzigen Quadratmillimeter der Netzhaut haben wir eine Dichte von etwa 400 000 Sehzellen (Sensoren). Diese immense Zahl wollen wir uns gleichnishaft verdeutlichen:

Stellen wir uns eine Kugel vor, auf dessen Oberfläche tennisballgroße Kreise gemalt sind, wobei der Zwischenraum gerade wieder einem Balldurchmesser entspricht. Wie groß wäre dann eine solche Kugel, auf der 400 000 Tennisbälle gezeichnet sind? Nun, sie hätte einen Durchmesser von 52 Metern, und das ist fast dreimal mehr als der Durchmesser der für Reklame und Freizeit verwendeten Heißluftballons!

Die Photorezeptoren: Stäbchen und Zapfen unterscheiden sich schon rein äußerlich. Die Stäbchen sind zylindrische Gebilde, während die Zapfen vergleichsweise kleiner und spitz zulaufend geformt sind. Die beiden Zelltypen unterscheiden sich darüber hinaus auch in ihrer Funktionsweise. Stäbchenzellen dienen dem Hell-Dunkel-Sehen bei geringer Grundhelligkeit (also z. B. nachts). Sie sind so hochempfindlich, dass bereits die Absorption eines einzelnen Photons durch eine Stäbchenzelle zu einem messbaren elektrischen Signal führt. Die hohe Empfindlichkeit wird sozusagen erkauft durch eine lange Meldezeit (Zeitspanne zwischen Absorption eines Photons bis zur Aussendung eines elektrischen Signals), da zunächst ein komplizierter Verstärkungsprozess ablaufen muss. Die Meldezeit beträgt bei den Stäbchen etwa 0,3 Sekunden.

Die Zapfen arbeiten weitaus schneller; ihre Meldezeit beträgt lediglich 0,075 Sekunden. Dafür sind sie sehr viel weniger empfindlich als Stäbchenzellen; Zapfen sprechen erst bei Tageslicht optimal an. Es gibt drei Typen von Zapfen, die sich lediglich darin unterscheiden, dass sie verschiedene Absorptionsmaxima (565 nm, 535 nm, 420 nm) aufweisen, d. h., Licht eines eng eingeschränkten Wellenlängenbereichs wird am effektivsten absorbiert. Je ein Typ spricht besonders stark auf rotes (Mittelwert der Wellenlänge des roten Lichtes 705 nm), grünes (520 nm) oder blaues Licht (450 nm) an. Durch Vergleich der »Meldungen« der verschiedenen Zapfentypen in den Ganglienzellen werden dann die tatsächlich gesehenen Farben identifiziert.

Wir würden erwarten, dass die lichtempfindlichen Zellen sich in jenem Teil der Retina befinden, die dem Lichteinfall zugewandt ist. Bemerkenswerterweise ist es aber gerade umgekehrt: Das Licht muss zunächst eine Teilschicht der Retina durchdringen, bevor es

die Stäbchen und Zapfen erreicht. Man spricht deswegen vom »inversen Auge«.

Lichtsinnzellen arbeiten wie Dolmetscher, die den Lichtreiz in die Sprache des Nervensystems übersetzen. Wir können es auch so ausdrücken: Im Prinzip ist eine Photorezeptorzelle ein empfindliches Zählgerät für Lichtquanten. Der Messbereich einer Lichtsinneszelle umspannt bis zu fünf Zehnerpotenzen. Sie ist sogar in der Lage, ihren Messbereich an die jeweils vorhandene Helligkeit anzupassen. Sie kann dazu ihre Empfindlichkeit gegenüber der Höchstempfindlichkeit bis zu 10^5 -fach verringern (Adaption).

Empfindlichkeit: Der Schöpfer hat uns sehr empfindliche Sinnesorgane geschenkt. Dabei hatte er ein nicht zu unterschätzendes Problem zu lösen, das wir auch von der Technik her kennen. Jeder Rundfunkempfänger rauscht, wenn er auf große Empfindlichkeit eingestellt wird. Dieses Rauschen geht auf die unregelmäßigen thermischen Bewegungen der Elektronen in seinen Widerständen zurück. Man kann das Rauschen vermindern, wenn man alle Bauteile weit unter den Gefrierpunkt kühlt. Das ist aufwendig und vor allem bei der Übertragung von kleinen Signalen, die in der Größenordnung des statistischen Rauschens liegen, technisch nicht möglich. Ein Trick hilft hier weiter: Das Signal wird zugleich auf parallelen Leitungen übertragen und erst am Empfangsort zusammengefasst. Dadurch heben sich die unregelmäßigen Schwankungen in den Einzelleitungen teilweise auf, und das Rauschen wird dadurch stark unterdrückt.

Diese Methode, ergänzt durch die im Folgenden beschriebene Zusammenfassung mehrerer Sinneszellen, findet Anwendung bei unserem Auge. In Sinnesorganen und Nervenzellen beruht das Rauschen nicht so sehr auf Schwankungen der Elektronendichte, sondern auf Schwankungen der elektrischen Spannung an den Grenzflächen von Sinnes- und Nervenzellen. Unsere Sehzellen sind vom Schöpfer gerade so konzipiert, dass sie so empfindlich sind, wie es physikalisch überhaupt möglich ist. Es genügt bereits ein einzelnes Lichtquant, also die kleinste physikalische Wirkeinheit des Lichtes, um eine elektrische Antwort der Sehzelle auszulösen. Der möglichen Täuschung durch Rauschen entgeht der

Organismus wie folgt: Die hochempfindlichen Sehzellen (Stäbchen) sind in großer Zahl (mehrere Hundert) mit nur einer Nervenzelle verschaltet. Diese spezielle Nervenzelle leitet aber nur dann ein Signal weiter, wenn innerhalb einer bestimmten Zeit, nämlich etwa 0,02 Sekunden, von mindestens 4 oder 5 Sehzellen ein hinreichend großes Signal ankommt. Die einzelne Sehzelle ist also so empfindlich, wie es physikalisch überhaupt möglich ist. Das Nervensystem wertet aber nur solche Signale aus, die innerhalb einer Summationszeit von mehreren Sehzellen nahezu zeitgleich eintreffen. Die maximal mögliche Empfindlichkeit wird also nur dann ausgenutzt, wenn der Lichtreiz nicht punktförmig ist, sondern von einem Flächenelement ausgeht.

Sehschärfe: Die Sehschärfe (Trennschärfe, Auflösungsvermögen) ist eine wesentliche Größe zur Beurteilung des Sehvermögens. Unter guten Lichtverhältnissen kann ein normales Auge zwei Punkte gerade noch auseinanderhalten, wenn die davon ausgehenden Strahlen zueinander einen Winkel von einer Minute ($1' = 1/60$ Grad) bilden.

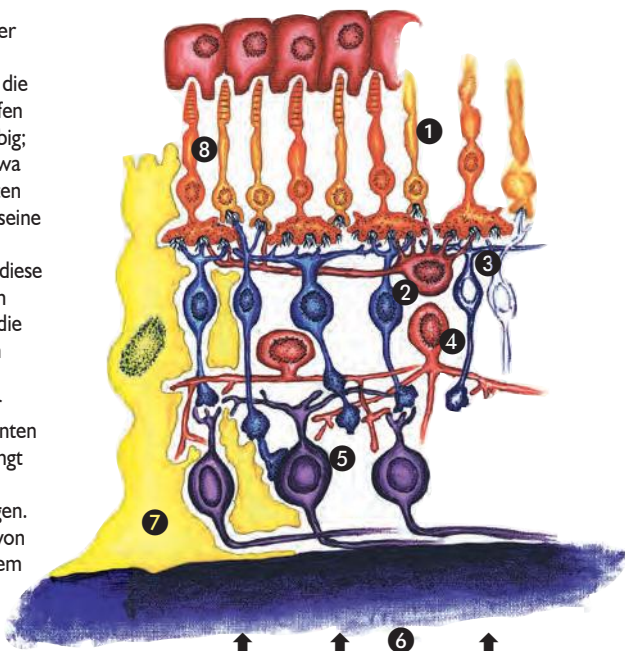
Adaption (lat. *adaptio* = Anpassung, insbesondere von Sinnesorganen an die jeweiligen Bedingungen): Das Auge ist in der Lage, unterschiedlich starkes Licht in einem sehr weiten Bereich zu verarbeiten. Wir können das Licht schwacher Sterne am nächtlichen Himmel noch wahrnehmen, aber wir stellen uns auch auf so hohe Leuchtdichten ein, wie sie bei grellem Sonnenlicht auf Gletschern herrschen. Die Auswertung solcher Extremreize ist nur mit einer Anpassung des Auges an die jeweilige Leuchtdichte möglich. Das Auge umspannt dabei den immensen Faktor von $1:1 \text{ Billion} = 1:1\,000\,000\,000\,000!$

Farbensehen: Was ginge uns doch verloren, sähen wir unsere Welt nicht farbig! Farben können Lebensfreude vermitteln und unsere Stimmung beeinflussen. Farben faszinieren nicht nur Künstler und Modeschöpfer, sondern einen jeden von uns.

Farben sind durch die drei Komponenten *Farbton*, *Helligkeit* und *Sättigung* charakterisierbar. Das menschliche Auge vermag 300 Farbtöne zu unterscheiden. Wenn Helligkeit und Sättigung zusätzlich variiert werden, können mehrere Millionen Farbwertigkeiten unterschieden werden. Die Helligkeit einer Farbe wird durch

die Leuchtdichte und die Sättigung (= Grad der Beimischung von weiß) bewirkt.

Für das Farbsehen sind in unserem Auge nur die Zapfen zuständig. Die Sehfärbstoffe in den Zapfen heißen Rhodopsine (griech. *rhodeos* = rosenfarbig; Sehpurpur). Es sind Eiweißmoleküle, die aus etwa 350 Aminosäuren aufgebaut sind. Darin enthalten ist das sogenannte Retinal, das dem Rhodopsin seine Farbe gibt. Retinal macht das Farbstoff-Molekül lichtempfindlich, wie ein Zünder einer Patrone diese schlagempfindlich macht. Ein Zapfen mit seinem Rhodopsin kann keineswegs alle Lichtquanten, die ihn treffen, auch tatsächlich einfangen. Quanten einer spezifischen Größe kann er wesentlich besser einfangen als größere oder kleinere. Wir können es auch so sagen: Während er von Quanten seiner »Lieblingsgröße« viele oder gar alle einfängt (absorbiert), kann er von doppelt oder halb so großen nur jedes zehnte oder fünfzigste einfangen. Bei jedem Fangerfolg wird er aber unabhängig von der Quantengröße gleich stark erregt. In unserem Auge befinden sich drei Zapfentypen, jeder spezialisiert auf den Fang einer bestimmten, für ihn optimalen Quantengröße. Wir nennen sie rot-, grün- oder blauempfindliche Zapfen. Sie unterscheiden sich durch die Fangbevorzugung ihrer Sehpigmente für bestimmte Quantengrößen. Das alles ist aber noch lange nicht Farbsehen, sondern erst die notwendige Voraussetzung dafür. Die Farbpfindung entsteht erst im Gehirn als Ergebnis eines rechnerischen Vergleichs der Erregung unserer drei Zapfentypen. Unsere Netzhaut enthält etwa 100 Millionen Sehzellen. Sie sind mit weiteren Nervenzellen auf komplizierte Weise zusammengeschaltet, denn aus einem Augapfel heraus führt nur eine Million Nervenzell-Fortsätze. Sie bilden den Sehnerv, der die elektrische Bildinformation in verschiedene Regionen des Gehirns überträgt. Ein kleiner Teil seiner Fasern zieht zum Mittelhirn. Die meisten Fasern der Sehnerven führen aber in eine Umschaltstation. Von dort ziehen Nervenfasern vor allem in den Hinterkopf, in das *primäre Sehfeld*. Was bei dieser Übertragung geschieht, ist in allerhöchstem Maße erstaunlich: Das mit beiden Augen betrachtete Bild erscheint kopfstehend und seitenverkehrt auf den Netzhäuten. Überraschend aber ist, dass die Sehnerven der beiden Augen nicht direkt ins Gehirn ziehen, sondern sich auf ihrem Weg aufspalten und teilweise überkreuzen. So gelangen aus beiden Augen die Signale vom linken Teil des Bildes in die rechte Gehirnhälfte und die Signale vom rechten



Aufbau der Netzhaut

- | | |
|-------------------|----------------------|
| ① Stäbchen | ⑤ Ganglienzellen |
| ② Horizontalzelle | ⑥ Lichteinfall |
| ③ Bipolarzellen | ⑦ Müllerzelle (Glia) |
| ④ Amakrine | ⑧ Zapfen |

Bildteil in die linke Gehirnhälfte. Jede Gehirnhälfte des Betrachters erhält somit Information über lediglich die Hälfte des betrachteten Bildes. Hinzu kommt noch, dass dieses verzerrt erscheint, weil die Region um die Sehgrube (Fovea; lat. *fovea* = Grube) herum, mit der wir am schärfsten sehen, zehnmal größer abgebildet wird als der Rand des Gesichtsfeldes. Letztlich nimmt aber die linke Gehirnhälfte nur die linke Hälfte des betrachteten Bildes wahr (= rechte Seite des Blickfeldes), und zwar dank komplizierter Verrechnungen aufrecht und wieder entzerrt; und der rechte Teil des Gehirns beschäftigt sich ausschließlich mit der anderen Gesichtshälfte. Bemerkenswert ist: Das Gehirn verarbeitet verschiedene Bildteile in mehreren, weit voneinander entfernten Bereichen. Es schneidet das Blickfeld quasi in zwei Teile auseinander und vereinigt sie dann in der Wahrnehmung auf noch unbekannte Weise wieder miteinander, und das geschieht – o Wunder – völlig nahtlos!

Hermann von Helmholtz (1821–1894), ein bedeutender Physiker und Physiologe des 19. Jahrhunderts, zog 1863 aus einem Vergleich der Abbildungsfehler des Auges mit denen eines Objektivs folgenden Schluss:

»Wenn mir nun ein Optiker ein Instrument verkaufen wollte, welches die letztgenannten Fehler hätte, so ist es nicht zu viel gesagt, dass ich mich vollkommen berechtigt glauben würde, die härtesten Ausdrücke über die Nachlässigkeit seiner Arbeit zu gebrauchen und ihm sein Instrument mit Protest zurückgeben.«

Helmholtz hatte unrecht, denn er maß die Leistungsfähigkeit der Augenlinse lediglich an der Präzision des Strahlengangs optischer Instrumente. Es gilt zu bedenken: Welches technisch gefertigte Linsensystem funktioniert ein Menschenalter lang, ist zugleich gegen Wärme wie Kälte, Trockenheit und Feuchtigkeit, Erschütterung wie Staub kaum anfällig und vermag außerdem kleinere Beschädigungen selber zu reparieren? Welche damals verfügbare Optik stellte sich schon automatisch auf die Bedingungen der Umgebung ein, auf Hell-Dunkel-Kontraste, auf die Entfernung, auf das Spektrum des Lichtes? Und welches optische System beginnt schon, wie das Auge, mit einer Verarbeitung der Daten, bevor es sie an den Rechner – aber unser Gehirn ist weitaus mehr als ein Rechner – weitergibt?

Auge und Bibel: Entgegen allen evolutionären Vorstellungen, die über die Entstehung des Auges kolportiert werden, gibt die Bibel uns das unmissverständliche Zeugnis: Das Auge ist in seiner genialen Konzeption und komplexen Konstruktion eindeutig das Werk des Schöpfers. In Psalm 94,9 heißt es: »Der das Auge gemacht hat, sollte der nicht sehen?« Wenn dies Wort wahr ist – und davon bin ich zutiefst überzeugt –, dann ist jeder andere von Menschen erfundene Gedanke, etwas über die Herkunft des Auges zu sagen, schon im Ansatz falsch.

Auch die Bibel stellt das Auge als ein sehr wesentliches Organ heraus. Es kann sich nicht sattsehen (Spr 27,20), und unser Herz folgt den Augen (Hi 31,7). Von daher ist wohl auch das Sprichwort abgeleitet: »Was das Auge sieht, glaubt das Herz.« Der Ausdruck unserer Augen

wird zu einem starken persönlichen Kennzeichen unseres Wesens. Die Augen sind der Spiegel der Seele. In der Bergpredigt bringt Jesus uns diese Wahrheit nahe, wenn er lehrt: »Das Auge ist des Leibes Leuchte. Wenn dein Auge lauter ist, so wird dein ganzer Leib licht sein. Wenn aber dein Auge böse ist, so wird dein ganzer Leib finster sein. Wenn nun das Licht, das in dir ist, Finsternis ist, wie groß wird dann die Finsternis sein!« Viele weitere Aussagen der Bibel belegen uns, dass das Auge das vermittelt, was im Herzen vorgeht. Es kann gütig (Spr 22,9), stolz (Ps 18,28; Spr 6,17; Ps 131,1), hoffärtig (Jes 10,12), abgöttisch (Hes 6,9) und voll Ehebruchs (2 Petr 2,14) sein. Die Augen können vor Feindschaft funkeln (Hi 16,9), mit ihnen kann man spotten (Ps 35,19) und sich unbarmherzig von jemandem abwenden (Spr 28,27). Mit unseren Augen schauen wir auch auf das Wirken Gottes (Ps 118,23), und mit unseren Augen erwarten wir Hilfe von ihm: »Ich hebe meine Augen auf zu dir, der du im Himmel wohnest. Siehe, wie die Augen der Knechte auf die Hände ihrer Herren sehen, wie die Augen der Magd auf die Hände ihrer Frau, so sehen unsre Augen auf den Herrn, unsern Gott, bis er uns gnädig werde« (Ps 123,1-2). Im Aufblick zu Gott erwarten wir seine Hilfe: »Ich hebe meine Augen auf zu den Bergen. Woher kommt mir Hilfe? Meine Hilfe kommt vom Herrn, der Himmel und Erde gemacht hat« (Ps 121,1-2).

Im Sündenfall erlag der Mensch der Augenlust: »Und das Weib sah, dass von dem Baum gut zu essen wäre und dass er eine Lust für die Augen wäre« (1 Mo 3,6). Das Auge wurde zum Einfallstor für die Sünde. So hat es auch Simson erlebt. Sein Fall begann damit, dass er eine heidnische Frau heiratete. Er begründete diesen Schritt mit dem Sehen: »Sie gefällt meinen Augen« (Ri 14,3b). Aber auch die Rettung hat mit den Augen zu tun: Jesus kam in diese Welt, und er konnte mit den Augen wahrgenommen werden. Simeon, ein frommer Mann in Israel, hatte die Verheißung bekommen, dass er nicht sterbe, »er habe denn zuvor den Christus des Herrn gesehen«. Als er dann im Tempel das Jesuskind in seinen Armen hält, bezeugt er: »Meine Augen haben deinen Heiland gesehen« (Lk 2,30). Der Apostel Johannes drückt seine Kenntnis von Jesus als Augenzeuge aus: »Wir sahen seine Herrlichkeit als des eingeborenen Sohnes vom Vater, voller Gnade und Wahrheit« (Joh 1,14). Auch bei der

Wiederkunft Jesu wird es das Markante sein, dass ihn alle *sehen* werden: »Siehe, er kommt mit den Wolken, und es werden ihn *sehen alle Augen* und alle, die ihn durchbohrt haben, und es werden wehklagen um seinetwillen alle Geschlechter der Erde« (Offb 1,7). An jenem Tag wird jeder den Christus sehen – entweder als den Retter oder den Richter.

Mit erleuchteten Augen, die Gott selbst schenkt, können wir seine Herrlichkeit und Weisheit erkennen (Eph 1,17-18). Uns ist so Großes bereitet, dass es in 1. Korinther 2,9 darüber heißt: »Was kein Auge gesehen hat und kein Ohr gehört hat und in keines Menschen Herz gekommen ist, was Gott bereitet hat denen, die ihn lieben.« Der Himmel ist unser Ziel. Dort angekommen, werden wir ihn, den Herrn Jesus, sehen, wie er ist (1Joh 3,2b). Mancher ist in dieser Welt durch viel Leid und Elend gegangen, und oft tauchte die Frage nach dem »Warum?« auf. Am Ziel angekommen, erhält alles seine Klärung, denn Jesus sagt: »Und an demselben Tage werdet ihr mich nichts mehr fragen« (Joh 16,23). Unter allem Leid wird ein endgültiger Schlusstrich gezogen, darum heißt es in Offenbarung 21,4: »Und Gott wird abwischen alle *Tränen von ihren Augen*, und der Tod wird nicht mehr sein, noch Leid noch Geschrei noch Schmerz wird mehr sein; denn das Erste ist vergangen.«

Zitate:

»Die Annahme, das Auge mit seinen unnachahmlich kunstvollen Einrichtungen für Scharfeinstellung, Regelung des Lichteinfalls und Ausgleich sphärischer und chromatischer Aberration habe sich durch natürliche Auslese bilden können, ist, wie ich offen zugebe, in höchstem Maße widersinnig.«

Charles Darwin (1809–1882)

in seinem Buch »Entstehung der Arten«

Englisches Sprichwort: »Am blindesten ist derjenige, der nicht sehen will.«

Der französische Schriftsteller *Antoine de Saint-Exupéry* (1900–1944):

»Man sieht nur mit dem Herzen gut.«

Längenmaße:

1 Kilometer = 1 km = 1000 m

1 Meter = 1 m = 100 cm

1 Zentimeter = 1 cm = 10 mm = 10^{-2} m

1 Millimeter = 1 mm = 1 tausendstel Meter

1 mm = 1000 μm = 10^{-3} m

1 Mikrometer = 1 μm = 1 tausendstel Millimeter

1 μm = 1000 nm = 10^{-6} m

1 Nanometer = 1 nm = 1 millionstel Millimeter

1 nm = 1000 pm = 10^{-9} m

1 Pikometer = 1 pm = 1 milliardstel Millimeter

1 pm = 0,001 nm = 10^{-12} m



Das Ohr

– das Sinnesorgan mit der genauesten Messtechnik

Würden wir den Gehörsinn verlieren, ginge uns eine entscheidende Orientierungsmöglichkeit verloren. Aus dem täglichen Geschehen wären wir weitgehend ausgeschlossen, gleich einem Vogel in einem engen Käfig. Wahrgenommene Laute verdichten die Sinnesindrücke unseres Lebens. Wir lauschen dem leisen Plätschern des Wassers am Seeufer, aber hören auch auf das mächtige Rauschen der Brandung des Meeres. Wir erfreuen uns am zarten Summen der Bienen, die von Blüte zu Blüte fliegen, und wir freuen uns über eine trillernde Lerche während eines Spazierganges. Die Geräusche, die wir hören, umfassen eine weite Skala. Sie reicht von dem leisen Surren einer Mücke bis zum ohrenbetäubenden Lärm beim Start eines Düsenjets. Knatternde Pressluftschlämmer und ratternde Maschinen gehören ebenfalls zu unserer Alltagserfahrung. Alle diese Signale verraten zwar ihre Herkunft, aber sie haben keine an uns gerichtete Botschaft.

Wir können nicht nur empfangen, wir senden auch. Sprechen und Hören sind unsere grundlegenden Kommunikationsmittel. Hier handelt es sich um eine qualitativ ganz andere Art von Schall. Die Töne der Musik, die gesungenen Lieder und die gesprochene Sprache sind voller Semantik. Die in ihnen enthaltene Bedeutung zu identifizieren ist mehr, als Schallwellen zu verarbeiten. Dazu bedarf es eines besonderen Auswertesystems. Das Gehirn ist dieser unverzichtbare Bestandteil beim Hörvorgang. Letztlich wird auch unsere Seele davon erfasst, wie es durch ein französisches Sprichwort so treffend zum Ausdruck kommt: »Das Ohr ist der Weg zum Herzen.«

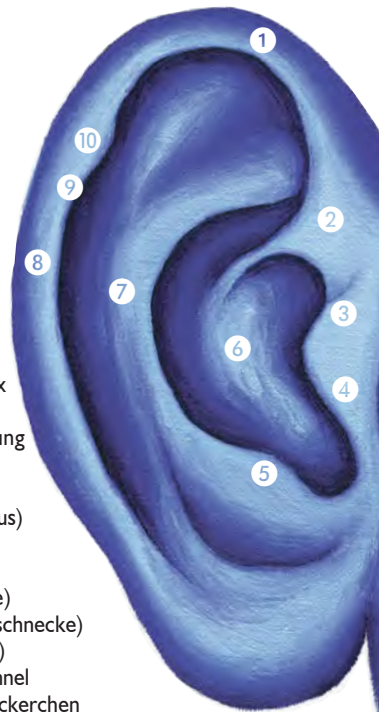
Dem Gehörsinn kommt für den Kontakt mit unserer Umwelt somit eine nicht weniger zentrale Rolle zu als dem Gesichtssinn. Sämtliche Geräusche sind Schwingungen der Luft, die die Ohren aufnehmen. Sie werden zunächst in hydrodynamische Schwingungen gewandelt, dann in elektrische Nervenimpulse umgesetzt, und schließlich identifiziert das Gehirn diese als Information.

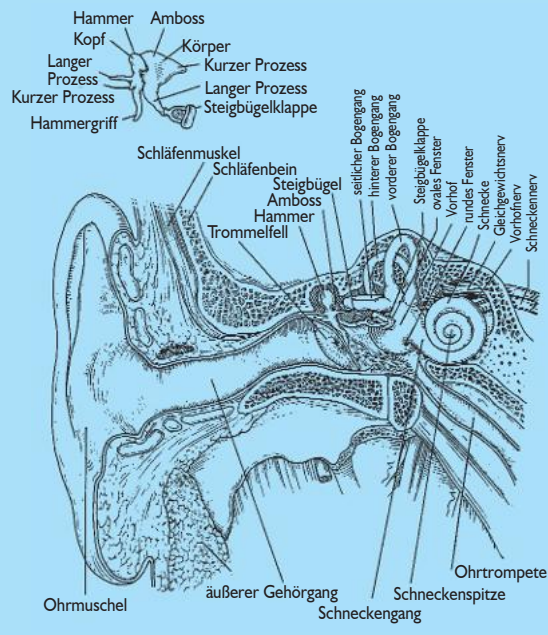
Wussten Sie, dass das menschliche Ohr ein Messinstrument ist, das in seinen Details über eine Technik verfügt, die bisher keine Wissenschaft erreichen und vielfach noch nicht einmal verstehen kann? Um uns etwas davon bewusst zu machen, benötigen wir auch ein paar Fachbegriffe, die zunächst erläutert werden sollen:

Schalldruckpegel: Schwingende Körper (Stimmgabel, Lautsprechermembran, Stimmbänder des Menschen) regen die sie umgebende Luft zu Schwingungen an. Dabei werden die Luftmoleküle der unmittelbaren Umgebung beschleunigt. Es entstehen Wellen, die sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 340 m/s ausbreiten. Dieses Phänomen nennen wir Schall. In einem Schallfeld gibt es Zonen, in denen die Luftmoleküle dichter, und solche, in denen sie dünner gepackt sind. In diesen Zonen ist der entsprechende Luftdruck entweder erhöht oder erniedrigt. Die zeichnerische Darstellung von Schalldruckschwankungen ergibt wellenförmige Kurven. Der Abstand zweier benachbarter Orte mit gleichem Schalldruck wird als Wellenlänge bezeichnet. Die maximale Abweichung der Welle



- ① zum Tunnel eingerollte Krempe der Helix
- ② Wurzel der Helix (Crus helicus)
- ③ verdeckte Öffnung des äußeren Gehörganges
- ④ Ohrdeckel (Tragus)
- ⑤ Antitragus
- ⑥ Concha-Höhle (Cavum conchae)
- ⑦ Anthelix (Gegenschnecke)
- ⑧ Helix (Schnecke)
- ⑨ Tor zum Helixtunnel
- ⑩ Darwinsches Höckerchen





Bauplan des menschlichen Ohres.

Der Weg der Schallschwingungen führt durch den äußeren Gehörgang über Trommelfell, Hammer, Amboß und Steigbügel durch das ovale Fenster in die flüssigkeitsgefüllte Schnecke. Das runde Fenster besorgt den Druckausgleich zwischen Schnecke und luftgefülltem Mittelohr. Die drei Bogengänge gehören zum Gleichgewichtsorgan. Das Organ der Hörempfindung ist die aus 2½ Windungen bestehende Schnecke. Der Schneckenkang enthält das Cortische Organ, in das etwa 15 000 Hörzellen mit Sinneshaaren (Haarzellen) eingelassen sind. Von der Schnecke läuft ein »dickes Kabel« von Hörnerven zum Gehirn.

aus ihrer Ruhelage ist die Amplitude. Vergrößert sich die Wellenlänge (d. h. Abnahme der Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit), wird ein tieferer Ton gehört. Verkleinert sie sich (d. h. Zunahme der Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit), dann hören wir den Ton höher. Die Tonhöhe wird als Tonfrequenz in der Einheit Hertz (1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde) angegeben. Ein Anstieg der Amplitude hat einen lauterem Ton, ihre Abnahme einen leiseren Ton zur Folge. Unsere üblichen Schallquellen geben Gemische aus unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden ab.

Die Druckamplitude nennt man Schalldruck, der wie jeder andere Druck auch in N/m^2 (= Newton pro Quadratmeter) angegeben wird. In der Akustik ist jedoch ein anderes Maß üblich, nämlich der Schalldruckpegel. Er wird in dB (= deziBel) angegeben. Von irgendeinem Schalldruck p_x gelangt man wie folgt zu der zugehörigen dB-Zahl:

Man bildet den Quotienten p_x/p_0 , wobei $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ein willkürlich festgelegter Bezugsschalldruck ist. Hierfür wurde gerade jener Schalldruck p_0 gewählt, der an der Hörgrenze des menschlichen Ohres liegt. Die Verhältniszahl p_x/p_0 Wert wird logarithmiert (dekadischer Logarithmus) und mit 20 multipliziert. Die Formel für den Schalldruckpegel L in dB lautet somit $L = 20 \cdot \log(p_x/p_0)$.

Diese willkürlich erscheinende Definition hat eine Reihe von Vorteilen:

- Statt mit unhandlichen Zehnerpotenzen für den Druck umgehen zu müssen, wird dasselbe vereinfachend mit ein- bis dreistelligen Zahlen erreicht.
- Für die einzelnen physikalischen Größen ergeben sich bei ganzzahliger Vervielfachung folgende einfache Beziehungen:
- Ein zehnfacher **Schalldruck** wird durch einen Abstand von 20 dB ausgedrückt.
- Ein doppelter Schalldruck entspricht einem dB-Abstand von $20 \cdot \log 2 = 20 \cdot 0,30103 \approx 6 \text{ dB}$
- Ein dreifache Schalldruck entspricht einem dB-Abstand von $20 \cdot \log 3 = 20 \cdot 0,4771 = 9,54 \text{ dB}$, also rund 10 dB
- Die **Schallenergie** steigt mit dem Quadrat des Schalldruckes an. Eine Verdoppelung der Schallenergie entspricht somit einem 3-dB-Abstand.



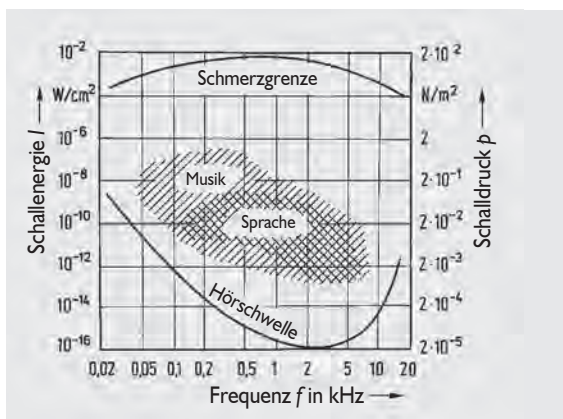
Lautstärke: Wie wir gesehen haben, ist der Schalldruckpegel eine rein physikalische Messgröße, die entweder in N/m^2 oder in dB angegeben wird und noch nichts über die vom Menschen subjektiv empfundene Lautstärke aussagt. Schallwellen mit gleichem Schalldruck, aber unterschiedlicher Frequenz werden von uns subjektiv nicht als gleich laut empfunden. Ein Ton von 63 Hz wird erst dann so laut wie ein Vergleichston von 20 dB und 1000 Hz gehört, wenn der Schalldruck des 63-Hz-Tones ca. 30-fach vergrößert wird. Nach der zuvor genannten Formel ist das ein dB-Abstand von $L = 20 \cdot \log 30 = 29,5 \text{ dB}$. In ein dB-Hz-Diagramm (s. Bild) können somit Linien gleicher Lautstärke eingezeichnet werden. Diese Kurven gleicher Lautstärkepegel bei verschiedenen Frequenzen heißen **Isophone**. Definitionsgemäß wird die Zahl des Schalldruckpegels in dB der Zahl des Lautstärkenpegels bei 1000 Hz gleichgesetzt, aber in phon angegeben. Um z. B. die Isophone 50 phon zu finden, ist Folgendes zu tun: Einer Testperson wird der Vergleichston von 1000 Hz mit einem Schalldruckpegel von 50 dB angeboten. Für alle anderen Frequenzen muss die Testperson einen Schallpegelregler (Einstellung von dB-Werten) so lange verändern, bis dieser Ton gleich laut wie der 1000-Hz-Ton empfunden wird. Auf diese Weise findet man zu den Hz-Abszissen die zugehörigen dB-Ordinatenwerte für die 50-phon-Kurve. Nur bei 1000 Hz ist die Phonskala zahlenmäßig gleich der Dezibelskala.

Der Schalldruckpegel, bei dem ein Ton eben hörbar wird, heißt **Hörschwelle**. Sie ist eine Isophone bei 4 phon. Steigt der Schallpegeldruck so stark an, dass Schmerz empfunden wird, dann wird die **Schmerzschwelle** erreicht. Auch dies ist eine Isophone, und sie liegt bei 130 phon. Würde das Ohr den Druck wie ein physikalisches Messgerät erfassen, dann wären alle Isophone horizontale Linien.

Wir sind in der Lage, die Gleichheit der Lautstärke zweier Töne sehr gut beurteilen zu können. So vermögen wir zwei Töne gleicher Frequenz im unteren Intensitätsbereich bereits dann als unterschiedlich laut zu empfinden, wenn ihre Schalldruckwerte nur um 1 dB voneinander abweichen. Im oberen Intensitätsbereich wird dieser Wert sogar noch wesentlich geringer.

12 Zehnerpotenzen ohne

Messbereichumschaltung: Bezüglich des Schalldruckpegels leistet das Ohr äußerst Staunenswertes: Es wird der Bereich von 120 dB umspannt. Da 6 dB eine Schallpegelverdoppelung ausmachen, kann das menschliche Ohr 120 dB / (6 dB) = 20 Zweierpotenzen überspannen ($2^{20} = 1048576 \approx 1 \text{ Million}$). Bei der Schallenergie entsprechen wegen der physikalischen Relationen bereits 3 dB einer Verdoppelung. Das menschliche Ohr verfügt damit über die ungeahnte Fähigkeit, Schallenergieunterschiede in einem so weiten Bereich zu hören, dessen Faktor $120 \text{ dB} / (3 \text{ dB}) = 40$ Zweierpotenzen bzw. 12 Zehnerpotenzen umfasst ($2^{40} = 1024^4 = 1,099 \cdot 10^{12}$). Anders ausgedrückt: Der Bereich zwischen der Schmerzgrenze und dem gerade noch Hörbaren



Hörbereich des normal hörenden menschliches Ohres.

Für verschiedene Frequenzen besitzt das Ohr unterschiedliche Empfindlichkeiten (Kurvenverlauf der Hörschwelle). Im Bereich von 1 bis 5 kHz ist die Empfindlichkeit am größten; hier können noch Schalldrücke von nur $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ wahrgenommen werden, und das entspricht einer Schallintensität I bzw. Schallenergie von 10^{-16} W/cm^2 . Eingezeichnet ist der Intensitäts- und Frequenzbereich für Sprache und Musik. Die maximale Hörspanne liegt bei ca. 2 kHz und umfasst hier den unvorstellbaren Bereich von 13 Zehnerpotenzen bezüglich der Schallenergie.

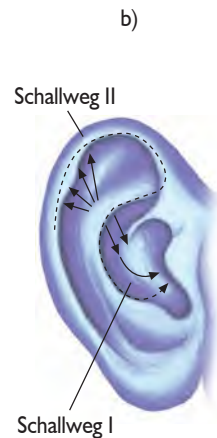
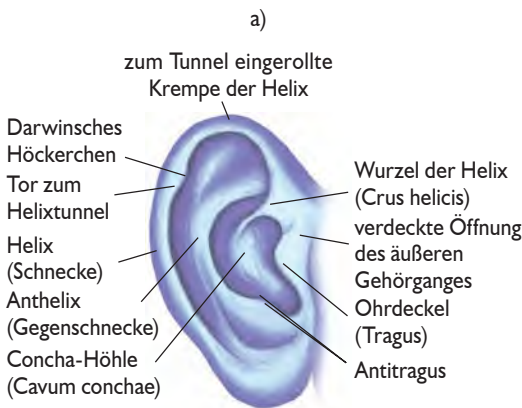
ist bezüglich der Schallenergie so riesig, dass er den Faktor von 1 Billion umspannt. Dies alles geschieht erstaunlicherweise unter Beibehaltung desselben Messbereichs. Es ist kein technisches Messgerät bekannt, dass eine so weite Spanne ohne Messbereichsumschaltung umfasst! Wollen wir z. B. mit einem Voltmeter Spannungen von 1 bis 10000 Volt (= 4 Zehnerpotenzen) messen, so ist das mit ein und demselben Gerät nur dann möglich, wenn der Messbereich mehrmals umgeschaltet wird.

Das menschliche Ohr ist weiterhin ein optimal konstruiertes Messsystem, dessen Empfindlichkeit bis an die Grenze des physikalisch Möglichen heranreicht. Schallwellen sind Druckwellen. Die Größe des von Schallwellen ausgeübten Drucks ist sehr gering. Ein gerade eben hörbarer Ton von 1000 Hz hat einen Schalldruck von $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$. Für die gleiche Frequenz liegt die Schmerzgrenze des Ohres bei etwa dem Sechsmillionenfachen des Schwellenschalldrucks. Der

Arbeitsbereich unseres Hörorgans umfasst mehrere Zehnerpotenzen (s. Bild S. 23).

Bei der Hörgrenze (Hörschwelle) des menschlichen Ohres beträgt die minimale Schwingungsweite des Trommelfells wegen des geringen Schalldrucks nur 10^{-10} cm . Um uns eine Vorstellung von dieser extremen Empfindlichkeit zu machen, müssen wir zu einem ungewöhnlichen Vergleich greifen: Vergrößert man die Körperlänge des Menschen um den Faktor 200 Millionen, so erhält man die Entfernung Erde-Mond. Selbst bei dieser extremen Maßstabsvergrößerung des Menschen würde die Amplitude der Trommelfellauslenkung gerade erst 2 mm betragen.

Wussten Sie, dass das **menschliche Ohr** einen Frequenzbereich von etwa 10 Oktaven umfasst (s. Bild S. 23)? Von Ton c bis c' (ebenso von a bis a' oder g bis g') ist eine Oktave definiert.



Ohrmuschel und Schallwege.

a) Ohrmuschel: Aus der Grafik sind die anatomischen Bezeichnungen der Einzelteile der Ohrmuschel zu entnehmen.

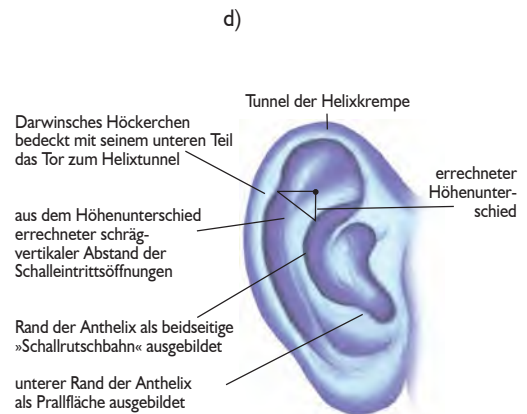
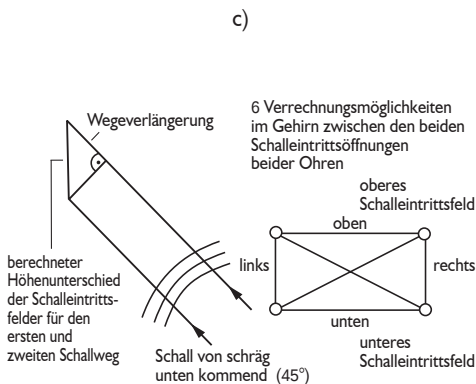
b) Mögliche Schallwege: Zwei mögliche Schallwege I und II sind in der Ohrmuschel eingezeichnet: Bei Weg I gelangt der Schall von der Anthelix zum äußeren Gehörgang, und bei Weg II verläuft er entlang des S-förmigen Bogens der

eingerollten Krempe der Helix. Da der zweite Weg gegenüber dem ersten etwa 6,6 cm länger ist, treffen die Schallereignisse mit einer Zeitdifferenz von $0,066 \text{ m} / (330 \text{ m/s}) = 0,0002 \text{ s} = 0,2 \text{ Millisekunden}$ ein. Dadurch entsteht im Gehirn der Effekt, als hätte der Mensch nicht zwei, sondern vier Ohren: zwei etwas höher und zwei etwas tiefer am Kopf, denn viermal erhält das Gehirn dasselbe Signal, die allerdings zueinander alle ein wenig zeitversetzt sind.

Diese ist bezüglich der Frequenz keine Absolutangabe; vielmehr wird hierdurch eine Frequenzverdoppelung angezeigt. Zwei Oktaven (z. B. von c bis c'') reichen somit von der Frequenz f_1 bis zur vierfachen Frequenz $f_2 = 4 \cdot f_1$; drei Oktaven umfassen entsprechend $f_3 = 2^3 \cdot f_1$ das Achtfache der Ausgangsfrequenz f_1 . Bei einem Hörbereich des Menschen von 10 Oktaven bedeutet das in der Frequenz den Faktor $2^{10} = 1024 \approx$ eintausend – also von 20 Hz bis 20 kHz.

Die Fähigkeit, Tonhöhen zu unterscheiden, ist erstaunlich gut. Im optimalen Bereich um 1000 Hz sind wir in der Lage, Frequenzen zu unterscheiden, die nur um 0,3 % – also 3 Hz – differieren. Die Differenz zweier so dicht beieinanderliegender Messsignale, dass sie von unseren Wahrnehmungsorganen nicht mehr unterschieden werden können, heißt Unterschiedsschwelle. Die **Frequenzunterschiedsschwelle** beträgt also nur 3 Hz.

Lautstärke, zeitlicher Ablauf und Frequenzzusammensetzung sind die Eigenschaften eines Schallereignisses, die uns über sein Wesen und seinen Ursprung informieren. Weiterhin ist die Richtung, aus der das Schallereignis kommt, von Bedeutung. Das Problem der Lokalisierung des Ursprungs hat der Schöpfer durch das Hören mit zwei Ohren gelöst. Für die Ortung einer Schallquelle sind zwei Faktoren wesentlich: die unterschiedliche Intensität und die Laufzeitdifferenz. Das von der Schallquelle abgewandte Ohr hört das Schallereignis etwas leiser und etwas später als das der Schallquelle zugewandte Ohr. Auch die Abschätzung der Entfernung von der Schallquelle wird durch Messen des relativen Lautstärkeunterschieds zwischen beiden Ohren ermittelt. Diese Zeit- und Lautstärkeunterschiede sind zwar äußerst klein, sie werden dennoch von den Hörzentren des Gehirns so ausgewertet, dass ein Richtungseindruck



Verrechnungsmöglichkeiten des Schalls im Gehirn.

c) Sechs Vergleichswerte: Für die rechnerische Auswertung im Gehirn ergeben sich wegen der vier örtlich versetzten Messwerte gemäß der Skizze sechs Vergleichswerte.

d) Schallaufnahmefelder: Die Lage der Schallaufnahmefelder lässt sich anhand anatomischer Überlegungen gemäß dieser Zeichnung ermitteln. Bei einer um 45° abgesenkten Schallquelle trifft der Schall am oberen Eintrittsfeld mit einer Verzögerung ein, die einer Wegeverlängerung von etwa 9,1 mm entspricht. Das entspricht wegen des gleichschenkligen Dreiecks einer Höhendifferenz von 13 mm. Unterhalb

des Darwinschen Höckerchens befindet sich das Schalleintrittstor zur tunnelartig ausgedehnten Helixkrempe. Die Öffnung für den kürzeren Schallweg I befindet sich dort, wo der Rand der Anthelix gleichsam als beidseitige Rutschbahn ausgebildet ist. An der wulstförmigen Anthelix wird der Schall entweder in die Helixkrempe reflektiert und über den längeren zweiten Schallweg II zum Gehörgang geleitet, oder er gelangt vom Wulst aus auf kurzem Wege dorthin. Da die kürzeste Verbindung zwischen beiden Eintrittsöffnungen etwa 45° geneigt ist, beträgt der Abstand zwischen den Eintrittsöffnungen der beiden Schallwege etwa 18 mm. (nach J. Maximilian, E. Irrgang, B. Andresen).

zustande kommt. Diese Messapparatur arbeitet so präzise, dass der Zeitunterschied des Tones, der am linken Ohr nur 0,00003 Sekunden früher eintrifft als am rechten, noch deutlich zu spüren ist. Das bedeutet für die akustische Raumorientierung, dass eine Schallquelle, die nur ca. 3° außerhalb der Kopfmittellinie liegt, als versetzt erkannt wird.

Geräuschpegel-Messwerte: Die folgende Tabelle nennt die dB-Werte verschiedener Geräusche. Geräusche über 90 dB können Gehörschädigungen bewirken. Dauernder 155-dB-Lärm kann die Haut verbrennen. Einige Schallquellen seien mit ihren zugehörigen dB-Werten genannt:

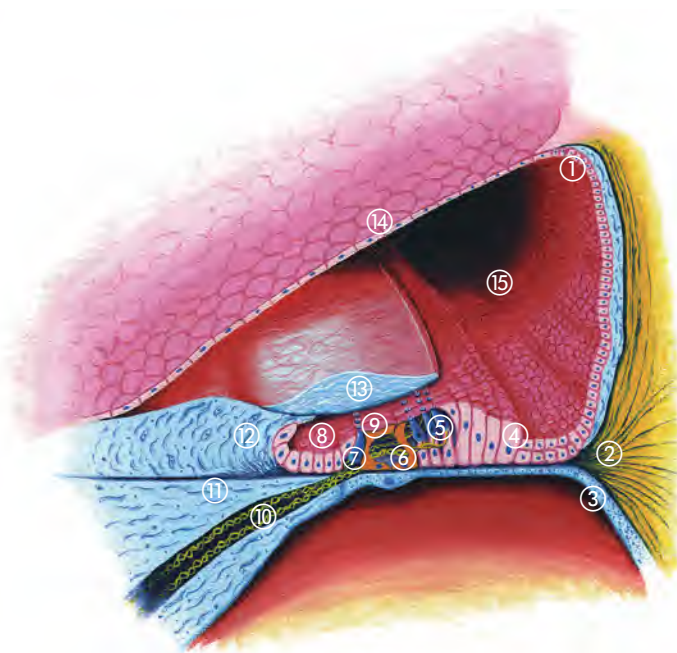
Schallquelle	dB
Hörbarkeitsgrenze	15
Blätterrausch	18
Flüstern	25
Großraumbüro	50
Ruhig fahrendes Auto	50
Gewitterdonner	65
Lebhafter Straßenverkehr	70
Schreibmaschine	70
Wasserfallrauschen	90
Fernlastzug	98
Sägewerk	100
Düsenflugzeug (600 m hoch)	105
Diskotheek	114

Propellerflugzeug beim Start	120
Kesselschmiede	120
Rockgruppe beim Konzert	125
Druckluft-Gesteinsbohrer	130
Artilleriefeuer	130
Flugmotorenprüfstand	140
Start von Düsenflugzeugen	145

Widmen wir uns nun der baulichen Konstruktion des Ohres!

Ohrmuschel: Die menschliche Ohrmuschel ist von besonderer Schönheit und unverwechselbarer Gestalt. Sie ist ein schwungvolles Relief aus Erhebungen und Vertiefungen, Rinnen, Wülsten, Vorsprüngen und Einbuchtungen, die dennoch bei jedem Einzelnen etwas anders ausfallen. Die Bedeutung dieser komplizierten und schönen Strukturen ist erst seit einigen Jahren enträtselt worden, sie spielen eine wesentliche Rolle beim Hörvorgang.

Der Schall wird von der Ohrmuschel auf zwei verschieden langen Wegen zum Gehörgang geleitet. Die beiden unterschiedlich langen Strecken bewirken, dass der Schall über den längeren Weg eine fünftausendstel Sekunde später eintrifft als über die kürzere. Bei einer Schallgeschwindigkeit von 330 m/s entspricht das einem Umweg von sechseinhalb Zentimetern.



Das Corti-Organ

- ① Gefäßstreifen
- ② Spirallamelle
- ③ Deckzellen des Paukenganges
- ④ Stützzellen
- ⑤ äußere Haarzellen
- ⑥ innerer Tunnel
- ⑦ innere Haarzelle
- ⑧ innere Spiralfurche
- ⑨ Pfeilerzellen
- ⑩ Hörnerv
- ⑪ knöchernen Spirallamelle
- ⑫ Rand der knöchernen Spirallamelle
- ⑬ Deckmembran
- ⑭ Reißner-Membran
- ⑮ Schneckengang

Diese Schallverdoppelung dient – nicht zu verwechseln mit dem zeitversetzten Schalleintritt bei beidohrigem Hören – einer verfeinerten akustischen Analyse, ohne die der Mensch nicht auskommt. Wir verfügen somit über eine dreidimensionale Schallanalyse, die es uns erlaubt, Richtung, Ursprungsort und Bewegung von Schallquellen in allen Raumebenen zu erkennen. Die sprachliche Kommunikation erfordert höchste Ansprüche, da Ort und Bewegung eines sprechenden Menschen und alle komplizierten Schallsequenzen der Sprache genauestens aufgenommen werden müssen. Mit den zwei Schallwegen auf jeder Ohrseite verfügen wir quasi über vier Ohren. Das Geniale dieser ausgeklügelten Konzeption besteht nun darin, dass wir subjektiv weder eine Schallverdoppelung noch eine Vervielfachung wahrnehmen.

Darwin veröffentlichte 1871 sein Buch »Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl« und fällt darin ein vernichtendes Urteil über das äußere Ohr des Menschen: Seine Vertiefungen und Erhebungen seien ohne Sinn. Das Höckerchen am oberen äußeren Rand der Ohrmuschel ist als »Darwinsches Ohrhöckerchen« in die Literatur eingegangen. Generationen von Forschern glaubten unbedenken der Darwinschen Deutung eines Beispiels von Degeneration. In Wirklichkeit handelt es sich bei dem Faltenlabyrinth der Ohrmuschel, wie gesagt, um eine schöne, genetisch vorgeschriebene Struktur, wodurch dem Gehirn das gleiche Signal eine fünftausendstel Sekunde später noch einmal zugesandt wird (*Bild a*, S. 24). Effektiv ist es so, als ob der Mensch vier Ohren hätte: zwei etwas höher und zwei etwas tiefer am Kopf liegende. Durch dieses raffinierte System ergeben sich für die Auswertung im Gehirn sechs Vergleichswerte: zwei zwischen dem oberen und dem unteren »Ohr« jeder Seite, zwei zwischen dem oberen und dem unteren »Ohr« gegenüberliegender Seiten sowie je eine zwischen den beiden unteren und den beiden oberen »Ohren« (*Bild c*, S. 25). Dies alles wird im Gehirn blitzschnell zu einem räumlich gegliederten Schallbild der Umgebung verrechnet, sodass eine äußerst verfeinerte Analyse des Gehörten ermöglicht wird. Dieser Konstruktion haben wir auch die erstaunliche Fähigkeit zu verdanken, einige Geräusche in den Hintergrund zu drängen und andere bewusst herauszuheben.



Die Schnecke

- ① Vorhofgang
- ② Schneckengang
- ③ Paukengang
- ④ Sinnesfeld (Corti-Organ)
- ⑤ Reißner-Membran
- ⑥ Schneckenloch zwischen Vorhof- und Paukengang
- ⑦ rundes Fenster
- ⑧ Steigbügel im ovalen Fenster

Mittelohr: Der ankommende Schall trifft nach Passieren des Gehörganges auf das Trommelfell. Dieses wird in Schwingungen versetzt und gibt die dabei übertragene Energie an die Gehörknöchelchenkette des Mittelohres weiter. Die drei Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel) übertragen die Schwingungen des Trommelfells auf eine Membran (ovales Fenster) zum Innenohr. Diese drei Knöchelchen sind übrigens die kleinsten Knochen des Menschen überhaupt! Sie haben ein Gewicht von nur jeweils 10 Milligramm und sind somit 200-mal leichter als ein Ein-Cent-Stück. Beim Hörvorgang muss der Schall aus der Luft in die Flüssigkeit des Innenohres übertragen werden. Normalerweise wird bei einem technischen System beim Übergang von Luft in Flüssigkeit der größte Teil der Energie reflektiert. Für das Hören wären diese Verluste untragbar. Um dies zu umgehen, hat der Schöpfer eine geniale Konstruktion dazwischengeschaltet, die die Reflexionsverluste äußerst gering hält. Durch den komplizierten Mechanismus des Trommelfell-Gehörknöchelchenapparates wird der Schallwellenwiderstand von Luft genau an den Schallwellenwiderstand des Innenohres angepasst. Der Hammer (*Malleus*) ist mit seinem Stiel am Trommelfell angeheftet, sodass

er dessen Schwingungen aufnehmen und über den Amboss (*Incus*) an den Steigbügel (*Stapes*) weiterleiten kann. Die Konstruktion der mit Gelenken versehenen Knochenkette sorgt dafür, dass eine Kraft, die auf den Hammer wirkt, durch die Hebelwirkung um das *Dreifache* gesteigert wird, sobald sie den Steigbügel erreicht hat. Außerdem wird der Schalldruck durch die unterschiedlichen Größen von Trommelfell (effektive Schwingungsfläche $0,65 \text{ cm}^2$) und ovalem Fenster erhöht. Die mit dem ovalen Fenster verbundene Steigbügel Fußplatte hat nur eine Fläche von $0,032 \text{ cm}^2$. Dieser Mechanismus bewirkt also eine weitere Verstärkung um den Faktor 20.

Innenohr: Bei dem Übertragungssystem von Luftschall (Trommelfell) zu Flüssigkeitsschall (flüssigkeitsgefüllte Schnecke) findet eine massive Verstärkung statt. Das Innenohr liegt im Felsenbein (des Schädels) und enthält sowohl das Gleichgewichtsorgan als auch einen schneckenförmigen Gang, die *Cochlea* (lat. *cóchlea* = Schnecke) oder die Hörschnecke. Hier findet eine weitere Umsetzung, nämlich von mechanischen Schwingungen in elektrische Nervenimpulse statt. In die Cochlea ist ein Schlauch (Schneckengang, *Ductus cochlearis*) eingelegt, der mit einer hochviskosen (lat. *viskum* = Vogelleim; zäh, dickflüssig) Flüssigkeit, der *Endolymphe*, gefüllt ist. Der Schneckengang ist selbst beiderseits von zwei weiteren Flüssigkeitsräumen begleitet: der Vorhoftrappe (*Scala tympani*; lat. *scála* = Treppe; griech. *tympanon* = Trommel, Pauke) und der Paukentreppe (*Scala vestibuli*; lat. *vestibuli* = Vorhof, Vorplatz). Diese beiden Gänge sind mit einer anderen, etwas geringer viskosen Flüssigkeit gefüllt, der *Perilymphe*, und sie gehen in der Schnecken spitze (*Helicotrema*) ineinander über. Die Paukentreppe beginnt am ovalen Fenster, und die Vorhoftrappe endet wieder an der Wand der Paukenhöhle, genau an der Membran des runden Fensters.

Schneckengang und Vorhoftrappe sind durch eine dünne, elastische Membran, die *Reißner-Membran*, getrennt. Diese Membran gibt der durch den Schall verursachten wellenförmigen Volumenverschiebung (= Wanderwelle) nach. Die Membranauslenkungen werden von der Endolymphe auf eine andere Membran, die Basilarmembran, die zwischen Schneckengang und Paukentreppe

liegt, übertragen und über die Perilymphe zum runden Fenster weitergeleitet. Diese Abkürzung verhindert, dass die Wanderwelle den Umweg über die Schnecken spitze machen muss. Reißner- und Basilarmembran schwingen also gleichsinnig. Über der Basilarmembran liegt als spiralförmiger Wulst das *Corti-Organ*, das aus Sinneszellen aufgebaut ist, nämlich in drei bis fünf Zeilen angeordnete 12 000 äußere und in einer Zeile angeordnete 3500 innere Haarzellen, dazu Stützzellen. Die 12 000 Sinneszellen stehen höchst geordnet in 3 bis 5 parallelen Reihen (zusammen nur $1/20 \text{ mm}$ breit) auf einer Lamelle mit der erstaunlichen Länge von 32 mm . Diese geometrische Anordnung der Zellen und ihre Verteilung ähnelt der Tastenanordnung eines Klaviers: Es ist eine lineare Skala, auf der die Zellelemente von den höchsten bis zu den tiefsten Schwingungsfrequenzen abgestimmt sind, nämlich 10 bis 20 kHz an einem Ende und etwa 30 Hz am anderen Ende.

Die Basilarmembran schwingt bei Beschallung auf und ab. Die Amplituden sind jedoch unvorstellbar klein, nämlich nur 10^{-11} m ; das ist nur ein milliardstel Zentimeter oder 100 Picometer ($1 \text{ pm} = 1 \text{ Picometer} = \text{ein billionstel Meter}$). Man bedenke: Dies entspricht bereits dem Durchmesser einiger Atome. Die Spitzen der äußeren Haarzellen tauchen in eine Deckmembran (*Membrana tectoria*) ein, die in den Schneckengang vorragt. Volumenverschiebungen im Schneckengang führen zu Relativbewegungen von Basilar- gegen Deckmembran und damit zu einer geringen Abscherung der Sinneshäärchen. Durch diesen Reiz werden die Haarzellen erregt. Die so gewonnenen elektrischen Signale werden über den Hörnerv (*Nervus cochlearis*) an das Gehirn weitergeleitet. Bemerkenswert ist, dass die Nachrichten nicht nur einseitig von der Haarzelle zum Gehirn, sondern auch in umgekehrter Richtung laufen. An der Basis der Haarzellen findet man dementsprechend zwei Typen von Nervenfasern: afferente Fasern, die zum Gehirn ziehen, und efferente, die zurück zur Haarzelle führen. Die Bedeutung dieser Rückkopplung ist noch unverstanden und stellt eines der vielen Rätsel dar, das noch ungelöst ist.

In der Schnecke befinden sich die Messgeber (Rezeptoren); das sind beim Menschen etwa 15 000 Haarzellen, die die Schallwellen der verschiedenen Frequenzen erfassen (*Bild S. 27*).

Die Haarzellen sitzen in geordneten Reihen auf der Basilarmembran, einer dünnen Scheidewand, die sich durch die gesamte Schnecke zieht und jeder ihrer Windungen folgt. Dort wird ein ankommendes Klangbild in seine einzelnen Frequenzen zerlegt, die jede für sich nur einen kleinen Bruchteil der 15 000 Sinneszellen an einer bestimmten Stelle längs der Basilarmembran erregen. Die Funktionsweise der Schnecke ist hochkompliziert und bis heute noch nicht völlig verstanden in ihrer genialen Konstruktion.

Besondere Fähigkeiten des Ohres

Das Ohr ist das empfindlichste Sinnesorgan des menschlichen Körpers. Der Hörbereich liegt etwa zwischen 20 Hz und 20 kHz. Tiefer Frequenzen werden als Vibration über den Tastsinn wahrgenommen. Jedes natürliche Schallereignis erweist sich als hochkomplex. Töne, bei denen nur eine einzige Frequenz vorkommt (Sinustöne), treten in der Natur nicht auf. Sie können aber künstlich erzeugt werden und sind dann ein wichtiges experimentelles Hilfsmittel. Klänge und Geräusche können als ein Gemisch von Sinustönen verschiedener Frequenz und Amplitude aufgefasst werden. Ein Ton erscheint als die elementare Einheit natürlicher Klänge und Geräusche. Zur Wahrnehmung eines 3-kHz-Tones genügt ein Energiefluss von nur $4 \cdot 10^{-17} \text{ W/cm}^2$. Der Intensitätsumfang, der zum Höreindruck führt, reicht von 10^{-16} bis 10^{-4} W/cm^2 (Bild S. 23).

Sprachaufnehmer: Die Gabe der Sprache ist etwas Einmaliges im Bereich der Lebewesen. Nur der Mensch ist von seinem Schöpfer mit diesem außergewöhnlichen Kommunikationssystem ausgestattet. Im Wesentlichen sind vier voneinander abhängige Organsysteme daran beteiligt:

- Der Kehlkopf erzeugt den Schall, die Stimme (Phonation).
- Der Mund-Rachen-Raum formt aus dem vom Kehlkopf angebotenen Schall verständliche

Vokale und Konsonanten. Dieser Mechanismus heißt Artikulation.

- Die Phonation des Kehlkopfes und die Artikulation des Mund-Rachen-Raumes werden zentral durch das motorische Sprachzentrum des Gehirns gesteuert.
- Zur ständigen Kontrolle des geordneten Ablaufs ist die physiologische Hörfunktion erforderlich; man spricht vom Hör-Sprach-Kreis. Dieser Kreis umfasst die ungestörte Funktion des Ohres, der Hörbahn, der Sprachwahrnehmung im sensorischen Sprachzentrum und die Einbeziehung von Psyche und Intelligenz. Hieran wird deutlich: Das Ohr ist mehr als ein technisch ausgeklügeltes physikalisches Messsystem. Das Ohr ist integraler Bestandteil eines Systems, in dem es um Bedeutung tragende Information, um Schönheit von Musik, um Gedanken, Ideen und Intelligenz geht.

Herkunft des Ohres: Woher kommt die geniale Konstruktion des Ohres (und auch des Auges)? Der Psalmist gibt die kurze, treffende Antwort: »Der das Ohr gepflanzt hat, sollte der nicht hören? Der das Auge gemacht hat, sollte der nicht sehen?« (Ps 94,9). Dieselbe Aussage finden wir auch in Sprüche 20,12: »Das hörende Ohr und das sehende Auge, der Herr sie alle beide gemacht.« Das Ohr entstammt keinem Evolutionsprozess, sondern beruht auf einer genialen Schöpferstat. Jesus preist jene selig, die das Wort Gottes hören (Mt 13,16), und die Umherstehenden ermahnt er zum rechten Hinhören: »Wer Ohren hat, der höre!« (z. B. Mt 11,15; Mt 13,9+43). Die Botschaften, die der erhöhte und auferstandene Jesus Christus an die sieben Sendschreibengemeinden richtet, enden alle mit demselben eindringlichen Satz: »Wer Ohren hat, der höre!« (Offb 2,7+11+17+29; Offb 3,6+13+22). Der Schöpfer hat uns die Ohren als unverzichtbare Organe geschenkt, um in dieser Welt auf akustische Weise Information aufzunehmen und zu verarbeiten. Es ist ihm ein großes Anliegen, dass sein Wort dabei einen gebührenden Stellenwert erhält.



Der Geruchssinn

– der Sinn ohne Worte

Düfte begleiten uns von Kindheit an. Wir speichern sie ab und erkennen sie treffsicher über Jahrzehnte hinweg wieder. Manche Gerüche erinnern uns an bestimmte Begebenheiten – sei es der Frühlingsduft nach Flieder und Veilchen, der aromatische Duft des Waldes nach einem milden Sommerregen, der leichte Salzgeruch der Nordseeluft, der Geruch des qualmenden Krautes bei der Kartoffelernte oder der weihnachtlich duftende Gänsebraten. Aber auch das andere prägt sich ein – z. B. der typische Geruch nach Straßenteer, nach einem muffigen, feuchten Keller, nach faulen Eiern oder gar nach einem verwesenden Kadaver. Wie Minen explodieren Gerüche in unserer Erinnerung, die unter dem Unkraut der Jahre und Erfahrungen verborgen waren. Unsere Nase ist dabei das unverzichtbare Organ, mit dem wir vielerlei Details über unsere Umwelt wahrnehmen.

Riechen und Schmecken haben es mit Chemie zu tun, deshalb nennt man sie auch chemische Sinne. Ohne Geruch würden wir nur süß, salzig, bitter und sauer schmecken. Erst die Nase macht Essen und Trinken zum Genuss. Über den Geruchssinn wittern wir Nahrung und Gefahr, genießen wir Speise und Trank und erfreuen uns an diversen Wohlgerüchen von Blumen, Gewürzen und Parfüms.

Aufbau und Funktionsweise der Nase

In der kompliziert aufgebauten Nase des Menschen nehmen die breit gefächerten Fasern des Riechnervs einen erheblichen Raum ein. Hier treffen die Geruchsmoleküle ein, die wiederum auf bestimmte Empfänger-Moleküle stoßen. Sie passen wie ein Schlüssel-Schloss-System zueinander. Das Riechfeld enthält etwa 10 bis 25 Millionen Riechzellen in der beiderseits je etwa 2,5 cm² großen Riechregion (*Regio olfactoria*). Die Riechzellen sind Elemente des Nervensystems; sie werden daher auch als Riechneurone bezeichnet. Ähnlich wie die Geschmackszellen sind sie mit Stütz- und Basalzellen durchsetzt und unterliegen einer ständigen Erneuerung. Die Halbwertszeit der Riechsensorzellen beträgt etwa 10 Tage. Die Riechzellen haben einen Durchmesser von nur

5 bis 15 μm ($1\ \mu\text{m} = 1$ tausendstel Millimeter). Duftmoleküle werden in der Nasenschleimhaut von Rezeptoren festgehalten. Diese wandeln die Geruchsinformation in elektrische Impulse um und senden sie zum sogenannten Riechkolben. Der verteilt sie im Gehirn.

Wir können weit mehr als 10000 Gerüche unterscheiden. Dieses schon hohe Unterscheidungsvermögen lässt sich durch Übung noch erheblich verfeinern und ist bei berufsmäßigen »Riechern« (Parfümeure, Kaffee- und Weinprüfer) besonders ausgeprägt. Nicht alles hat Geruch, sondern nur solche Substanzen, die flüchtig genug sind, um als winzige Partikel von der Luft aufgenommen zu werden. Der Vielfalt dieser Gerüche steht die Armut unserer Sprache an Geruchsbezeichnungen gegenüber.

Die Nase hat außerdem für die Atmung eine sehr wichtige Funktion. Die Lunge bevorzugt feuchte, erwärmte und gereinigte Luft. Darum ist ihr die Nase vorgeschaltet. Der lange Weg über die Schleimhäute befeuchtet die Luft, wärmt sie vor, und in den feinen Härchen und im Nasenschleim bleiben die größten Schadstoffe aus der Luft hängen.



Die Kontaktstelle für Duftstoffe – die Riechschleimhaut – liegt tief in der Nase. Im Riechepithel befinden sich Millionen von Sinneszellen, die in lang gestreckte Stützzellen eingebettet sind. Die Sinnesnervenzellen, sie werden so genannt, weil sie sowohl auf den Reiz ansprechen als auch die Erregung weiterleiten, sind direkte Bindeglieder zwischen Außenwelt und Gehirn. Jeweils ein Büschel feiner Cilien (lat. *cilium* = Wimper) an ihrer äußeren Spitze ragt in die Nasenhöhlen. Es liegt dort in einer schleimigen Schicht, in der die Geruchsstoffmoleküle aus der Luft sich lösen. Die Riechzellen werden lebenslang aus neuronalen Stammzellen (Basalzellen) neu gebildet. Dies ist eine Besonderheit, denn die

meisten Nervenzellen eines Organismus, die absterben, werden nicht wieder ersetzt. Wie erst kürzlich herausgefunden wurde, steht die Vielzahl der wahrnehmbaren Gerüche in direktem Verhältnis zur Anzahl der Gene. So fand man für den Menschen (und auch bei Säugetieren) etwa 1000 Gene, die ebenso viele verschiedene Geruchsrezeptoren codieren (von denen jeder in Tausenden der Millionen von Sinneszellen vorkommt). Wenn ein Säugetier 30000 Gene hat, wären demnach über 3 Prozent davon allein für Proteine vorgesehen, die Duftstoffe binden. Das ist die bisher größte gefundene Genfamilie. Dieser große genetische Aufwand zeigt, wie schwierig es ist, die verschiedenen Gerüche zu messen. Jeder Mensch hat einen individuellen Eigengeruch, der genetisch festgelegt ist.

In krassm Gegensatz dazu steht die geringe Zahl von Rezeptorpigmenten im Auge. Beim Menschen genügen drei Typen, um Tausende von Farbnuancen unterscheiden zu können. Dafür ist das Erkennungsprinzip auch grundlegend anders: Alle drei Typen sprechen in einem breiten, teils überlappenden Wellenlängenbereich des Lichtes an. Sie haben ihre Hauptempfindlichkeit an einer jeweils anderen Stelle des Spektrums, und die Erregungen werden im Gehirn kombiniert und verglichen. Ein ähnlicher Mechanismus würde sich für olfaktorische Signale (lat. *olfacere* = riechen) nicht eignen, weil qualitativ sehr unterschiedliche chemische Komponenten verglichen werden müssen, und zwar in großer Anzahl.

Wie das Gehirn die olfaktorische Information decodiert, gehört zu den zentralen, aber schwierigsten ungelösten Fragen der Neurophysiologie.

Der nicht beschreibbare Sinn

Der Geruchssinn ist der stumme Sinn, der Sinn ohne Worte. Er kann außerordentlich genau sein, dennoch ist es kaum möglich, jemandem einen Geruch zu beschreiben, den dieser nicht selbst erfahren hat. Täglich atmen wir rund 12000 mal (ein und aus) und bewegen dabei rund $12\frac{1}{2}$ Kubikmeter Luft. Wir benötigen zwei Sekunden zum Ein- und fünf Sekunden zum Ausatmen. In dieser Zeitspanne strömen auch die Duftmoleküle. Während wir Gesehenes bis in kleinste Details mit einer Fülle von Bildern

beschreiben können, sodass unser Gegenüber eine genaue Vorstellung davon bekommt, neigen wir bei Gerüchen dazu, nur unser allgemeines Gefühl wiederzugeben: angenehm, abscheulich, wunderbar, aufregend. Versuchen Sie einmal den Geruch Ihres Ehepartners, eines Schuhgeschäftes, einer Bäckerei oder einer alten Bibliothek mit Worten zu beschreiben. Erstaunlich ist das gute Erinnerungsvermögen für Gerüche – nichts ist erinnerungsträglicher als ein Duft.

Der wissenschaftlich unverstandene Sinn

Die meisten Gerüche sind Mischgerüche, die von einer großen Zahl riechender Stoffe ausgehen. So enthalten Weine etwa 200, und Kaffee verfügt über 500 verschiedene riechende Substanzen. Der Versuch, die Vielzahl unterschiedlicher Gerüche als Mischungen weniger Primärgerüche zu erklären, ist bisher nicht gelungen. Das Phänomen des Riechens ist wissenschaftlich noch weithin unverstanden. Der Geruchssinn ist äußerst empfindlich und übertrifft darin die meisten technischen Messgeräte. So liegt die Wahrnehmungsschwelle von Ethanhiol bei 10^{-13} g (= ein Zehntel eines billionstel Gramms = 10^9 Moleküle). Es ist ungeklärt, weshalb in vielen Fällen chemisch recht verschiedene Moleküle dieselben Geruchsempfindungen hervorrufen. Andererseits können sehr ähnliche chemische Verbindungen (z. B. Stereoisomere) ganz unterschiedlich riechen. So unterscheiden sich D-Carvon und L-Carvon bei gleicher chemischer Formel nur wie Bild und Spiegelbild; dennoch riecht das erste wie Kümmel und das zweite wie Minze.

Jeder Mensch besitzt einen ganz spezifischen, nur ihm eigenen individuellen Geruch, der ebenso einmalig ist wie seine Fingerabdrücke. Das Neugeborene erkennt den Geruch seiner Mutter, und Erwachsene können zwischen männlichem und weiblichem Körpergeruch unterscheiden. Hunde vermögen mit Leichtigkeit Personen am Geruch zu identifizieren und erkennen ihren Eigentümer auch dann, wenn es sich um eineiige Zwillinge handelt. Ein Schäferhund hat etwa 220 Millionen Riechzellen, der Mensch nur 10 bis 20 Millionen.

Bei einer Verteilung auf 1 Liter Luft sind für uns folgende Duftspuren gerade noch wahrnehmbar:

0,000 000 004 g	Aceton
0,000 000 004 g	Naphthalin
0,000 000 0012 g	Phenol
0,000 000 000 041 g	Nitrobenzol
0,000 000 000 016 g	Kampfer
0,000 000 000 005 g	Vanillin
0,000 000 000 000 4 g	Skatol

Parfüme steigern das Wohlbefinden

(franz. *parfum* = Wohlgeruch)

Das Parfüm begann seinen Siegeszug in Mesopotamien als Weihrauch. Der Begriff Parfüm stammt aus dem Lateinischen »per« (durch) und »fumus« (Rauch, Dunst). Das erste Land, von dem überliefert ist, dass regelmäßig extravagante Düfte benutzt wurden, ist Ägypten. Die aufwendigen Riten der Bestattung und Einbalsamierung erforderten Gewürze und Salben. Unter Königin *Hatschepsut* (1479-1458 v. Chr.) wurde Parfüm zur allgemeinen Leidenschaft. Auch *Kleopatra* (69-30 v. Chr.) war eine glühende Parfümliebhaberin. Das Zedernholzschiff, auf dem sie *Antonius* empfing, hatte parfümierte Segel. Um ihren Thron standen Weihrauchgefäße, und sie selbst duftete von Kopf bis Fuß. Die Bauten der Könige in der Antike waren von Düften erfüllt. Für ihre Paläste verwendeten sie gerne Zedernholz – einerseits wegen des süßen Harzgeruchs, andererseits um Insekten fernzuhalten.

Bibel und Geruch

Duftstoffe spielen auch in der Bibel eine große Rolle. So wird u. a. ein Gemisch erwähnt, das aus Blumen, aromatischen Samen und Früchten hergestellt und mit Olivenöl vermischt wurde: »köstliche Salben« (Jes 39,2) und »köstlicher Balsam« (Ps 133,2). Esther 2,12 erwähnt ein Öl aus Myrrhe. Verwendete aromatische Pflanzen und Gewürze werden an zahlreichen Stellen der Bibel genannt: Aloe, Balsam, Galbanum, Henna, indische Narde, Kalmus, Kassia, Myrrhe. **Aloe** (4Mo 24,6; Ps 45,9; Hoh 4,14) wurde für die Vorbereitung des Leichnams Jesu zur Beerdigung verwendet (Joh 19,39). Im Hohelied Salomos werden besonders viele Düfte, Narden, Parfüms und Salben erwähnt. So nannte eine amerikanische Schriftstellerin diesen Teil des Alten Testaments »das dufterfüllteste Gedicht aller Zeiten« und »eine sinnliche Liebesgeschichte, die von Parfüms und Salben durchtränkt ist«. Die Liebe wird mit Wohlgerüchen beschrieben: »Wie schön ist deine Liebe ... Deine Liebe ist lieblicher denn

Wein, und der Geruch deiner Salben übertrifft alle Würze ... Deiner Kleider Geruch ist wie der Geruch des Libanon« (Hoh 4,10-11). Die **indische Narde** ist eine duftende, aromatische und sehr wertvolle Pflanze, die in Hohelied 4,13-14 unter den duftenden Blumen und Gewürzen aufgeführt wird. Aus der indischen Narde wurde auch jenes Öl bereitet, mit dem Jesus in Bethanien gesalbt wurde (Mk 14,3; Joh 12,3). Nach Johannes 12,5 kostete eine Flasche dieses erlesenen Parfüms 300 Silber Groschen, und das entsprach dem Jahreslohn eines Arbeiters. Zu den drei erwähnten Geschenken der Weisen aus dem Morgenland an Jesus gehörten neben Gold die Duftstoffe Weihrauch und Myrrhe (Mt 2,11).

Im AT gibt es die oft wiederholte Redewendung »Ein süßer Geruch dem Herrn« (z. B. 1 Mo 8,21; 2 Mo 29,18+25+41; 3 Mo 1,9+13+17). Damit kommt zum Ausdruck, dass Gott Wohlgefallen an dem jeweiligen Tun des Menschen hat. Noah baute Gott einen Altar und brachte ihm ein Brandopfer dar: »Und der Herr roch den lieblichen Geruch ...« (1 Mo 8,21). Gott selbst kann riechen. Er hat auch uns schöpfungsmäßig den Geruchssinn gegeben, nicht nur, dass wir ihm hierin gleichen, sondern auch, um unser Leben zu bereichern.

Geruch wird noch in einem anderen biblischen Bild verwendet (2 Kor 2,14-16). Den Triumphzug siegreicher Feldherren der Römer begleiteten stets Gefangene, die die Weihrauchgefäße trugen.

Der Duft wurde von jedermann wahrgenommen und war Ausdruck des errungenen Sieges. So soll auch von denjenigen, die vom Sieg Christi leben, ein Wohlgeruch ausgehen. Paulus schreibt an die Korinther: »Denn wir sind Gott ein guter Geruch Christi unter denen, die *gerettet* werden, und unter denen, die *verloren* gehen: diesen ein Geruch des Todes zum Tode, jenen aber ein Geruch des Lebens zum Leben« (2 Kor 2,15-16). Ein und dieselbe Evangeliumsbotschaft geht über die Zuhörer wie eine Duftwolke hinweg. Ihre Wirkung ist jedoch höchst unterschiedlich. Ein Teil nimmt das Wort an, ihnen wird das Gesagte zum Heil – es wird ihnen zum Geruch des Lebens zum Leben, und damit ist das ewige Leben gemeint. Den Ablehnenden und Gleichgültigen wird die verkündigte Botschaft zum Geruch des Todes zum Tode – also zur tödlichen Giftwolke, zum Leichengeruch, zum Todesbringer, d. h. zur ewigen Verlorenheit. Rettung und Verlorensein liegen hauchdünn beieinander.

Zitat:

Richard Axel, Professor für Biochemie und molekulare Biophysik an der Columbia-Universität in New York:

»Bisher hat die Wissenschaft nur tastend zu erkunden begonnen, nach welchen Regeln uns der Geruchssinn das unermessliche Gebäude der Erinnerung erschließt.«



Der Geschmackssinn

– nicht nur etwas für Feinschmecker

Der Geschmackssinn dient der Nahorientierung. Seine Organe liegen in der Mundhöhle, besonders jedoch auf der Zunge. Erstaunlicherweise empfinden wir bei aller Vielfalt der Geschmacksrichtungen dennoch nur vier Qualitäten: süß, sauer, salzig und bitter. Jeder Geschmack, den wir uns vorstellen können, entsteht aus der Kombination dieser vier Geschmacksrichtungen. Wir sind in der Lage, mit großer Feinheit Geschmacksnuancen zu unterscheiden, wie es insbesondere die Berufstester für Wein, Tee, Kaffee und Käse tun (dabei ist allerdings zu beachten, dass dies in Kombination mit dem Geruchssinn geschieht). Im üblichen Sprachgebrauch wird die Bedeutung des Gaumens für die Geschmackswahrnehmung betont. Wir reden bei erlesenem Essen »vom Gaumenkitzel, von den Gaumenfreuden oder von einem feinen Gaumen«. Der eigentliche Sitz des Geschmackssinnes aber ist die Zunge. Die sensiblen Bereiche der Zunge lassen sich in mehrere Zonen einteilen, die jeweils für eine der vier Geschmacksrichtungen besonders empfindlich sind. Der vordere Bereich der Zunge spricht besonders stark auf Süßes an. Die sensiblen Gebiete für bittere Substanzen befinden sich vor allem im Zungenhintergrund. Die Zungenränder haben im hinteren Bereich die höchste Empfindlichkeit für saure Geschmacksstoffe und für salzige Substanzen mehr zur Zungenspitze hin.

Die Unterscheidung zwischen bitteren und süßen Substanzen ist so wesentlich für unser Leben, dass sich dies in übertragenem Sinne auch in unserer Sprache niedergeschlagen hat. Ein Kind, eine Freundin oder ein Kätzchen – alle werden als *süß* bezeichnet. Hingegen wird eine Niederlage, ein Schmerz oder eine Enttäuschung als *bitter* markiert. Gilt es, eine schwere Last zu tragen, so reden wir von einer »bitteren Pille«.

So wie wir nur etwas riechen können, wenn es anfängt zu verdampfen, können wir nur etwas schmecken, wenn es wasserlöslich ist. Der überwiegende Teil der Empfindungen wird allerdings

über den Geruchssinn (Aroma), den allgemeinen chemischen Sinn (Schärfe) und die somatoviszzerale (griech. *soma* = Leib, Körper; lat. *viscera* = Eingeweide) Sensibilität (Temperatur, Struktur, Konsistenz) vermittelt. Die große Bedeutung des Geruchssinns für die Vielzahl unserer Empfindungen beim Genießen eines Getränks oder einer leckeren Speise wird deutlich, wenn z. B. durch Schnupfen die Nase verstopft ist. Den Geruch nehmen wir viel leichter wahr als den Geschmack: So benötigen wir 25 000-mal mehr Moleküle, um eine Kirschtorte zu schmecken, als sie nur zu riechen.

Die Wahrnehmung geschieht mithilfe von Geschmacksknospen. Sie sind etwa 70 μm hoch und haben einen Durchmesser von etwa 40 μm . Der Mensch besitzt etwa 5 000 bis 10 000 davon. Eine eindeutige Zuordnung chemischer Eigenschaften eines Stoffes zu seiner Schmeckwirkung ist nicht möglich. So schmecken neben Zuckern (z. B. Saccharose, Fructose, Maltose, Glucose) auch Bleisalze süß. Bemerkenswert ist die hohe Empfindlichkeit des Geschmackssinns für Bitterstoffe, für die besonders die Alkaloide wie Chinin, Coffein, Morphin, Nicotin und Strychnin typisch sind. Da solche Substanzen oft giftig sind, ist eine Warnung durch den Geschmackssinn lebensnotwendig.

Der Geschmackssinn ist uns gegeben zur Prüfung und zum Genuss der Nahrung. Daneben hat er eine Auswirkung auf den Verdauungsprozess, weil die Sekretion der Verdauungsdrüsen dadurch gesteuert wird, und zwar hinsichtlich der Menge und Zusammensetzung der benötigten Sekrete.



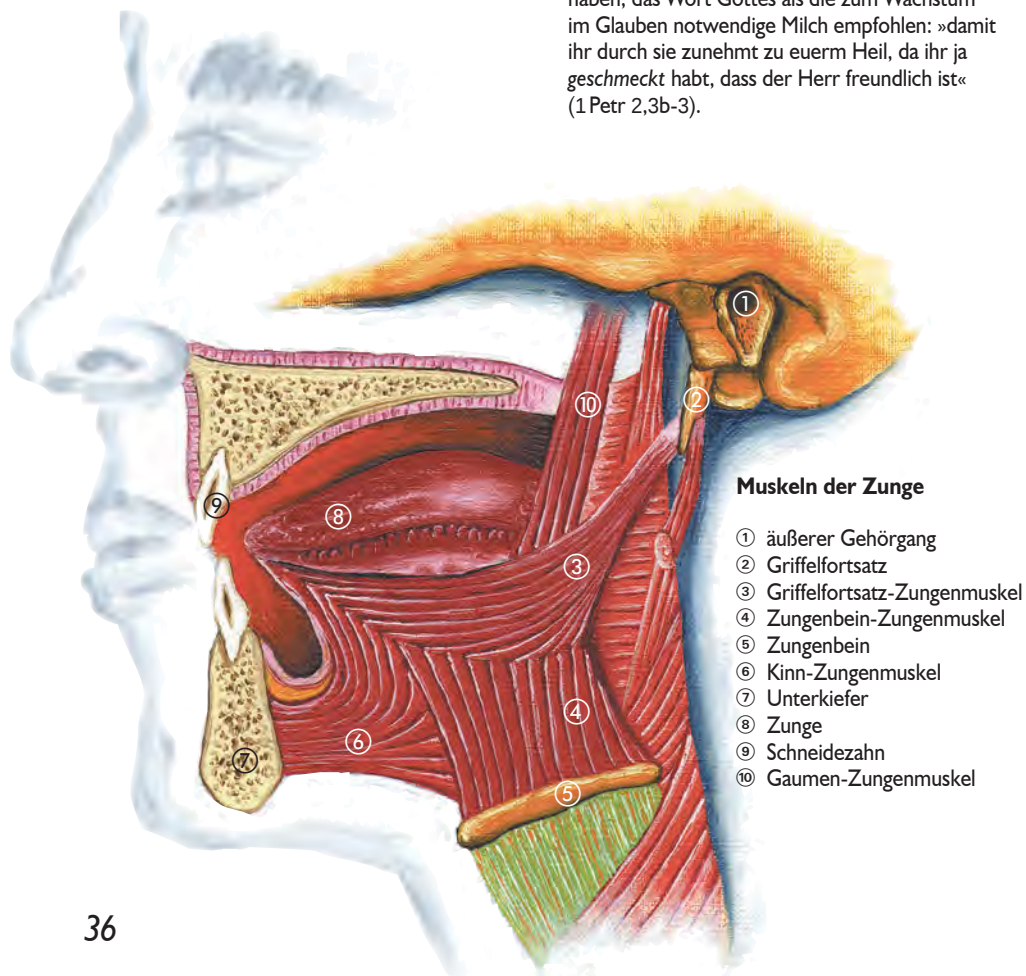
Wo liegen nun die Grenzen des gerade noch wahrnehmbaren Geschmacks? Erstaunlich ist, dass unser Geschmackssinn noch auf eine enorme Verdünnung von Stoffen reagiert. In 1 cm³ Flüssigkeit gelöst, schmecken wir noch:

0,000 001 g	Saccharin	(süß)
0,000 004 g	Chinin	(bitter)
0,000 01 g	Salzsäure	(sauer)
0,000 05 g	Coffein	(bitter)
0,001 g	Kochsalz	(salzig)

Allgemeiner chemischer Sinn: Neben Geruch und Geschmack verfügen wir noch über einen dritten chemischen Sinn. Es ist der *allgemeine chemische Sinn*. Die hierzu gehörenden Rezeptoren sind freie Nervenendigungen in den Schleimhäuten von Augen, Mund, Rachen und Nase. Sie reagieren auf Reiz- sowie auf Geruchs- und Geschmacksstoffe

in entsprechend hoher Konzentration. Die Empfindungen sind Brennen (z. B. in den Augen beim Zwiebelschälen, in Mund und Rachen beim Genuss eines scharfen Paprikagerichtes) und Stechen (in der Nase beim Zwiebelschneiden). Die Eigenständigkeit dieses Sinnes, der uns vor Schadstoffen schützen soll, ist uns nicht so recht bewusst. Um die Reizwirkung zu verringern, gibt es eine Reihe von Reaktionen: Bildung von Tränen, Schleim oder Speichel, Lidschluss.

Schmecken in der Bibel: Die Sinnesorgane haben gemäß Hiob 12,11 eine prüfende Funktion: »Prüft nicht das Ohr die Rede? und der Mund schmeckt die Speise?« Auch die Freundlichkeit Gottes ist mit den Sinnen wahrnehmbar, darum heißt es in Psalm 34,9: »Schmecket und sehet, wie freundlich der Herr ist.« Im 1. Petrusbrief 2,2 wird denen, die sich neu zum Herrn hingewandt haben, das Wort Gottes als die zum Wachstum im Glauben notwendige Milch empfohlen: »damit ihr durch sie zunehmt zu euerm Heil, da ihr ja geschmeckt habt, dass der Herr freundlich ist« (1 Petr 2,3b-3).



Das Wesen des Himmels hat Jesus immer wieder in Gleichnissen ausgedrückt, bei denen es um ein großes Fest geht. Er nennt die **Hochzeit** – »Das Himmelreich ist gleich einem Könige, der seinem Sohn Hochzeit machte« (Mt 22,2) – oder ein **großes Abendmahl**: »Es war ein Mensch (gemeint ist Gott), der machte ein großes Abendmahl (= das Fest des Himmels) und lud viele dazu« (Lk 14,16). Einige der Geladenen sagten ab. Die Konsequenz war gravierend. Sie haben damit den Himmel ausgeschlagen: »Denn ich sage euch, dass der Männer keiner, die geladen waren, mein Abendmahl schmecken wird« (Lk 14,24). Das Genießen des Himmels wird hier mit der Empfindung des Schmeckens charakterisiert. In Lukas 12,37 wird den Gläubigen verheißen, dass Jesus selbst sie als Gäste des Himmels bewirten wird: »Er wird sich aufschürzen und wird sie zu Tisch setzen und zu ihnen treten und ihnen dienen.«

Das Schmecken kommt in der Bibel auch mehrfach in übertragenem Sinn vor, um sowohl genießendes als auch leidendes Erleben in besonders intensiver Form zu charakterisieren. Wer in der Hingabe zum Herrn lebt, der *schmeckt* seine Freundlichkeit

(Ps 34,9; 1 Petr 2,3), und nach Hebräer 6,4-5 *schmeckt* er die himmlische Gabe, das gütige Wort Gottes und die Kräfte der zukünftigen Welt.

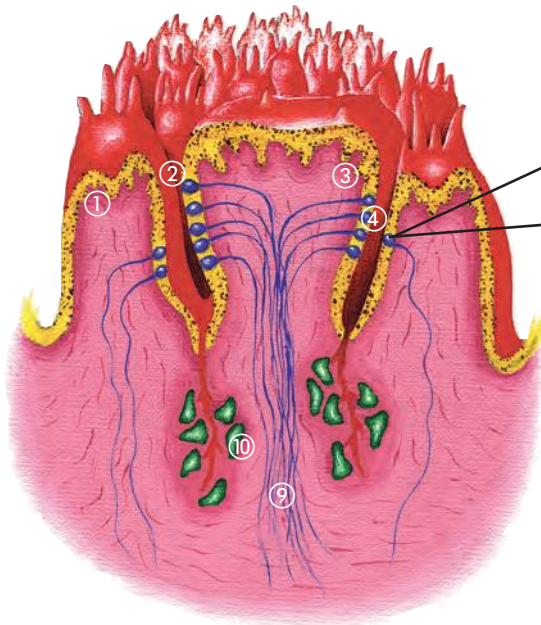
Jesus hat für uns alle den Tod *geschmeckt* (Hebr 2,9). Damit ist mehr gemeint als das leibliche Sterben. Mit seinem Tod trug er den Lohn der Sünde (Röm 6,23), er erlitt stellvertretend das Gericht, das uns treffen würde, wenn wir keinen Erlöser hätten. Für den, der an den Herrn Jesus glaubt, gilt seine Zusage: »Wahrlich, wahrlich, ich sage euch: Wer mein Wort hält, der wird den Tod nicht *sehen* (oder *schmecken*, wie in Vers 52 bezeichnet) in Ewigkeit« (Joh 8,51).

Da das Wesen der Ewigkeit mit Verben der Sinnesorgane beschrieben wird, können wir es auch so sagen: Die Ewigkeit ist ein Ort immerwährender Wahrnehmung.

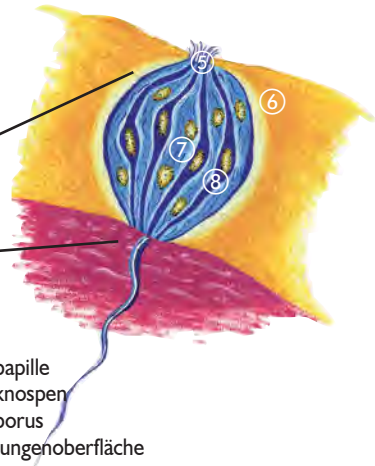
Zitat:

Französisches Sprichwort: »Wer einen saftigen Bissen in seinen Mund steckt, sendet seinem Herzen eine frohe Botschaft.«

Schnitt durch eine Geschmackspapille
(Papilla vallata). Eine Ausschnittsvergrößerung ist im nebenstehenden Bild dargestellt.



Schnitt durch eine einzelne Geschmacksknospe



- ① Wall
- ② Graben
- ③ Geschmackspapille
- ④ Geschmacksknospen
- ⑤ Geschmacksporus
- ⑥ Epithel der Zungenoberfläche
- ⑦ Sinneszelle
- ⑧ Stützzelle
- ⑨ Nervenfasern
- ⑩ Spüldrüsen