

Fachwissen

Aufbau und Funktionsweise der menschlichen Haut

Bearbeitungszeit: 85 min

Identifikationscode

Zur Erinnerung:

Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter sowie deren Geburtsdatum (TTMMJJ).

Beispiel: Vorname der Mutter: Marion
Geburtsdatum der Mutter: 09.10.1960

Dies entspricht dem Code: MA091060

Inhalt:

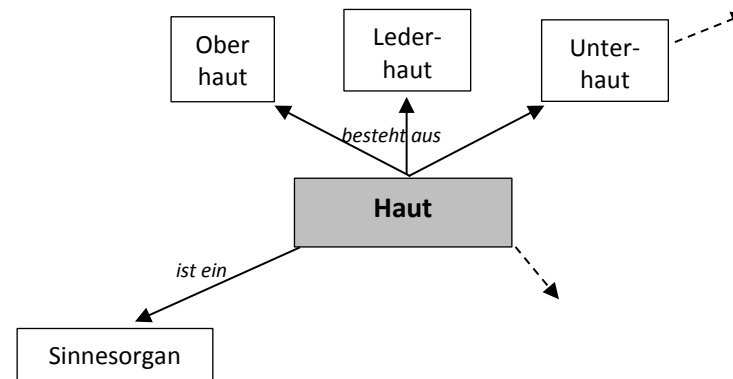
- Deckblatt
- Arbeitsaufträge
- Beantwortungsbögen
- Zusammenfassung und Material

Arbeitsaufträge:

- (1)** Markieren Sie im Material entscheidende Inhalte zum Aufbau und der Funktionsweise der menschlichen Haut. Fokussieren Sie auf folgende Leitfragen:
- a) Welche Funktionen besitzt die Haut als Organ?
 - b) Aus welchen Strukturen ist die Haut aufgebaut?
 - c) Welche unter (a) markierten Funktionen werden durch welche Strukturen ermöglicht?
 - d) Welche Sinnesrezeptoren gibt es in der Haut und was sind typische Charakteristika von diesen?
- (2)** Vervollständigen Sie das auf Beantwortungsbogen 1 anskizzierte Begriffsnetz. Stellen Sie relevante Aspekte zum Aufbau und Funktionsweise der Haut mit mindestens 15 weiteren Begriffen (Knotenpunkt-Begriffen) dar. Achten Sie darauf, dass die Zusammenhänge zwischen den Knotenpunkt-Begriffen deutlich werden. Verknüpfen Sie dafür die Knotenpunkt-Begriffe mit Verbindungslinien bzw. Pfeilen und notieren Sie die Beziehung/den Zusammenhang in Worten an die entsprechenden Verbindungslinien. Nutzen Sie auch Quervernetzungen.
- (3)** Beantworten Sie folgende Fragen auf Beantwortungsbogen 2:
- a) Beurteilen Sie die folgende Aussage.

>> Sensorische Transduktion ist verbunden mit der – direkten oder indirekten – Umwandlung eines physikalischen oder chemischen Reizes in Veränderungen des Membranpotenzials. <<
 - b) Erläutern Sie eine Möglichkeit, um ein thermosensitives Tier in ein thermotolerantes Tier „zu verwandeln“. Berücksichtigen Sie dabei jeweils nur mögliche anatomische Veränderungen. Nutzen Sie Beantwortungsbogen 2.

Beantwortungsbogen 1



[illegible]

Zusammenfassung

Die Haut ist das größte Sinnesorgan des Menschen. Sowohl für Kinder und Jugendliche als auch für Erwachsene ermöglicht sie tagtäglich im Zusammenspiel mit unzähligen anderen Komponenten des menschlichen Körpers das Fortbestehen unseres Organismus. Neben ihrer Funktion als Integument, als unsere äußere Hülle, spielt das Verständnis ihres spezifischen Aufbaus und der dadurch ermöglichten funktionalen Vielfältigkeit einerseits für schulische Belange, aber auch für den Alltag für das Verstehen der Funktionsweise des eigenen menschlichen Körpers, seiner Organe und deren Zusammenspiel eine große Rolle. Ein tiefergehendes biologisches Fachwissen dahingehend ist vor allem auch für Lehrkräfte entscheidend, um im Unterricht professionell handeln zu können.

M1: Die Bedeutung der Haut

[Materialquellen: Hickman et al., 2008, S. 904f., 945, 949; Mörike et al., 2007, S. 495f.; Thews et al., 1980, S. 700-703; Purves et al., 2004, S. 438f.)

1.1 Grundfunktionen der Haut

Die Haut ist ein lebenswichtiges Organ, das die äußere Oberfläche des Organismus und damit die Schranke zwischen Umwelt und innerem Milieu bildet und für die Wahrung der Homöostase sorgt. Die Haut

- schützt die Gewebe gegen mechanische, chemische oder physikalische Schädigungen sowie gegen das Eindringen von Mikroorganismen,
- verhindert eine zu starke Austrocknung, lässt andererseits aber eine gewisse physiologische Wasserverdunstung zu,
- wirkt durch Verengung oder Erweiterung der Hautgefäße sowie durch Verdunstung des Schweißes als Wärmeregulator,
- ist mit ihren Drüsen ein Ausscheidungsorgan,
- vermittelt als Sinnesorgan durch ihre zahlreichen Rezeptoren Druck, Temperatur- und Schmerzreize.

Die Haut wird auch als Integument bezeichnet. Das Integument bildet den äußeren Überzug des Körpers – eine schützende Hülle, welche die Haut und alle sich von ihr ableitenden Bildungen wie Haare, Schuppen, Federn, Nägel oder Hörner umfasst. Bei den meisten Tieren ist es widerstandsfähig und biegsam, verleiht eine mechanische Schutzwirkung gegen Abnutzung und Durchlöcherung. Die Haut gewährleistet eine primäre, unspezifische Abwehr von Invasoren. Pilze, Bakterien und Viren durchdringen eine gesunde, unverletzte Haut nur selten. Aber Schädigungen der Haut oder innerer Oberflächengewebe (Schleimhäute) erhöhen stark das Risiko einer Infektion durch Krankheitserreger. Das Integument kann ebenso eine Abdichtung gegen den Verlust oder das Eindringen von Feuchtigkeit sein. Die Haut hilft dabei, die darunterliegenden Zellen gegen die schädigende Wirkung ultravioletter Sonneneinstrahlung abzuschirmen. Über die Funktion als Schutzüberzug hinaus dient die Haut einer Vielzahl wichtiger Regulationsaufgaben. Bei endothermen Tieren ist sie beispielsweise in vitaler Weise an der Temperaturregulation beteiligt, da der größte Anteil des Wärmeverlustes des Körpers über die Hautoberfläche vonstattengeht; sie ist mit Einrichtungen zur Kühlung des Körpers versehen, wenn es zu heiß wird, und sie verringert Wärmeverluste,

wenn der Körper zu stark abkühlt. Ein Gaswechsel durch die Haut des Menschen findet allerdings nicht in solchem Maß statt, das man von einer Hautatmung sprechen könnte. Die Haut enthält Sinnesrezeptoren, die wesentliche Informationen über die unmittelbare Umgebung liefern. Sie besitzt exkretorische Funktion und bei einigen Tiergruppen auch respiratorische. Durch die Pigmentierung ihrer Haut vermögen sich manche tierische Organismen zu tarnen. Hautsekrete können ein Tier sexuell anziehend oder abstoßend machen, oder sie können Signale darstellen, die die Verhaltenswechselwirkungen zwischen Individuen beeinflussen. Die Haut ist bei vielen Säugetieren ein wichtiger Bestandteil des Immunsystems und kann aufgrund ihrer vielfältigen Aufgaben als Organ bezeichnet werden.

Die Haut der Säugetiere und besonders ihre Modifizierungen grenzen die Mammalia als Gruppe ab. Als Grenzfläche zwischen dem Tier und seiner Umwelt wird die Ausgestaltung der Haut stark von der Lebensweise des jeweiligen Tieres mitbestimmt. Allgemein lässt sich feststellen, dass sie bei den Säugetieren dicker ist als bei den anderen Klassen der Wirbeltiere, obgleich sie bei allen Vertebraten aus einer Epidermis und einer Dermis besteht. Die Epidermis ist an solchen Stellen, an denen sie durch Haare bedeckt ist, dünner; dort, wo sie einer größeren Beanspruchung durch Kontakt mit der Umwelt oder häufigen Gebrauch ausgesetzt ist (Handflächen, Fußsohlen) verdicken sich die äußeren Schichten und werden durch

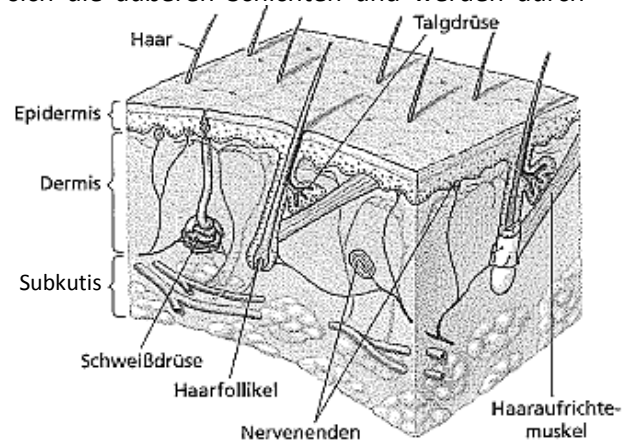


Abb. 1: Anatomischer Bau der menschlichen Haut (Epidermis und Dermis) und der Subkutis mit Darstellung der Haare und Drüsen.

1.2 Schädliche Wirkung des Sonnenlichts

Die bekannte Empfindlichkeit der menschlichen Haut für Sonnenbrand erinnert uns daran, dass der ultraviolette Anteil des Sonnenlichtes eine potenziell schädigende Wirkung auf das Cytoplasma der Zellen hat. Die meisten Landtiere werden vor Schädigungen durch die abschirmende Wirkung spezieller Körperabdeckungen geschützt. Beispiele sind die Kutikula der Arthropoden, die Schuppen der Reptilien, die Federn der Vögel und die Felle der Säugetiere. Menschen sind dagegen „nackte Affen“ – ein von dem englischen Zoologen Desmond Morris geprägter Begriff – denen das schützende Fell fehlt, das die meisten anderen Säugetiere besitzen. Wir sind für eine Schutzwirkung auf die Verdickung der Epidermis (*Stratum corneum*) oder eine epidermale Pigmentierung angewiesen. Der größte Teil der ultravioletten Strahlung wird von der Epidermis absorbiert, aber etwa zehn Prozent durchdringen die Dermis. Geschädigte Zellen sowohl in der Epidermis wie der Dermis setzen Histamin und andere Stoffe mit gefäßerweiternder Wirkung frei. Dies führt zu einer Weitstellung der Gefäße in der Dermis, die für das mit einem Sonnenbrand verbundene Wärmegefühl verantwortlich ist. Andere Wirkungen dieser Signalstoffe sind die Rotfärbung und das Schmerzgefühl. Helle Haut entwickelt durch verstärkte Melaninbildung in der tiefen Epidermis eine Sonnenbräunung, die durch eine photochemische Oxidation bereits ausgeblanche-

ner Pigmente in der Epidermis, die eine Schwarzfärbung bewirkt, noch verstärkt wird. Unglücklicherweise ist der Schutz durch die Pigmentierung nicht perfekt. Das Sonnenlicht lässt die Haut trotzdem vorzeitig altern, und die Bräunung selbst führt dazu, dass die Haut austrocknet und ledrig wird. Sonnenstrahlung ist weiterhin für die meisten Fälle von Hautkrebs verantwortlich. Jüngste molekulare Daten deuten darauf hin, dass Mutationen, die durch hohe Sonnenlichtdosen in Jugendjahren entstanden sind, für Ausbrüche von Hautkrebs verantwortlich sind, die jenseits des mittleren Lebensalters auftreten.

Blasenbildung

Bei mechanischer oder thermischer Schädigung der Haut (Verbrennung oder Erfrierung 2. Grades) kommt es zur Lösung der Zusammenhänge zwischen den Zellen der Stachelzellschicht und zu einer vermehrten Ansammlung von Interzellularflüssigkeit, also zu Blasenbildung. Diese Blasen sind sehr infektionsgefährdet, da die Flüssigkeit ein ausgezeichneter Nährboden für Mikroorganismen ist. Verletzungen der Epidermis verheilen narbenlos, da von der unten gelegenen Keimschicht der Zellenachschub erfolgt. Ist dagegen das Bindegewebe mit betroffen, bildet sich bei Heilung eine Narbe.

M2: Strukturen der Haut und deren Funktionen

[Materialquellen: Hickman et al. 2008, S. 904f.; Mörike et al. 2007, S. 495-504; Moyes & Schulte, 2008, S. 681-683; Thews et al., 1980, S. 700-703]

2.1 Aufbau der Haut – Überblick

Die Haut (Abb. 2) besteht aus

- einem ektodermalen Anteil, der *Epidermis* (Oberhaut) mit deren Anhangsgebilden (Drüsen, Haare, Nägel) und
- einem bindegewebigen Anteil, der *Dermis* (Lederhaut; lat. Corium).

Epidermis und Dermis werden zusammen als Kutis bezeichnet. Unter der Kutis befindet sich die Subkutis (Unterhaut), welches mit der Bindegewebsumhüllung des Bewegungsapparates verbunden ist.

2.2 Unterhaut (Subkutis)

Die Unterhaut ist von Fettgewebe durchsetzt, befestigt die Haut an der Unterlage und führt die großen Gefäße der Haut. Hier wird bei übermäßiger Ernährung ein Fettdepot angelegt, das wieder verbraucht werden kann. Bei Frauen

ist das Unterhautfettgewebe normalerweise stärker als bei Männern. Die Fettschicht ist aber nicht nur überflüssiges Depot, sondern auch ein ausgezeichneter Schutz gegen zu raschen Temperaturengleich zwischen Körper und Umgebung. Sie findet sich dementsprechend vor allem bei den Säugetieren, die wie der Mensch im Lauf ihrer Stammesentwicklung ihr Haarkleid verloren haben (Wale, Robben, Flusspferd, Hausschwein).

An wenigen Stellen des Körpers ist das Unterhautfettgewebe aber nicht Depot-, sondern Polsterfett, das mechanische Bedeutung besitzt. So ist das Fettgewebe der Fußsohlen und Handflächen durch starke Bindegewebszüge zwischen Haut und Unterhaut in einzelne Kissen unterteilt (abgesteppt), die sich kaum verschieben können. Sie wirken wie Polster und schützen einerseits die Knochenhaut der Fußknochen vor zu starkem Druck vom Boden her, andererseits aber auch die Sohlenhaut gegen den Druck der Fußknochen.

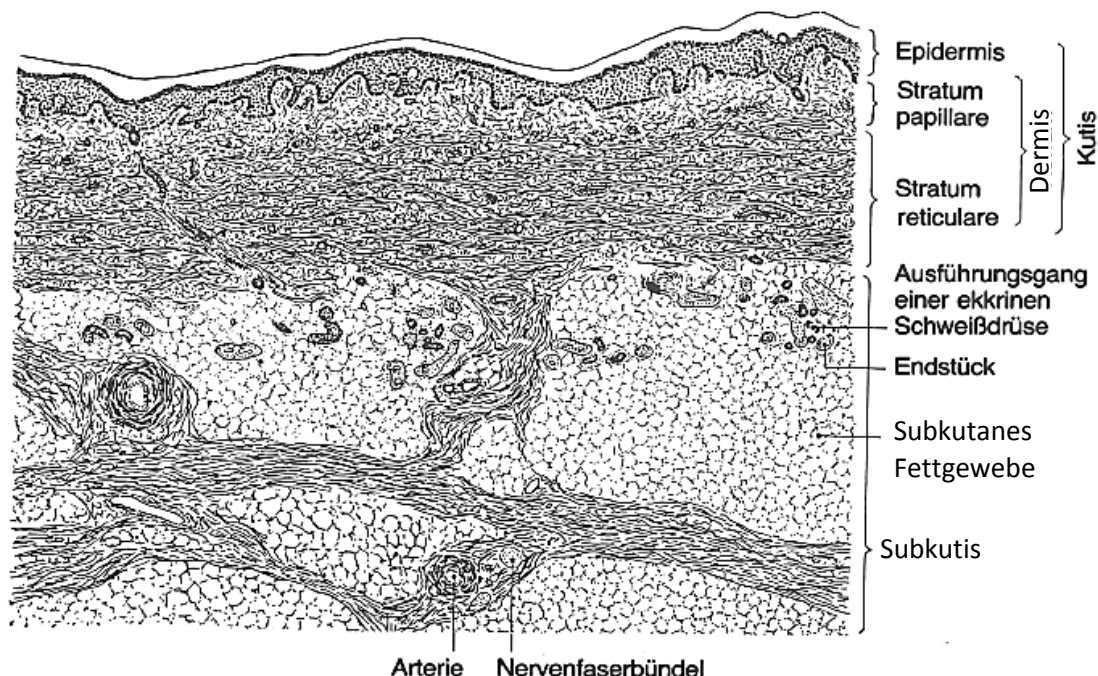


Abb. 2: Senkrechter Schnitt durch die Oberfläche der Hohlhand (nach Bucher)

2.3 Lederhaut (Dermis)

Die durchschnittlich 1 mm dicke Lederhaut (Dermis) besteht aus einem dichten kollagenen Fasergeflecht ohne Fettzeleinlagerung. Aus dem Corium von Tieren wird durch Gerbung (Fixierung der kollagenen Fasern) das Leder hergestellt. Die Lederhaut besitzt, besonders in der Jugend, eine große Elastizität. Bei der Dehnung werden die gewellten Kollagenfaserbündel umgeordnet, die Rückstellung besorgen die elastischen Fasernetze, die die kollagenen Bündel umspinnen. Auch die glatten Muskelfasern der Haarbälge sowie die vielen feinen Gefäße der Lederhaut erhöhen deren Elastizität. Durch die kollagenen Fasern und ihre Elastizität ist die Haut ziemlich reißfest bei gleichzeitiger Nachgiebigkeit.

Die der Oberhaut zugewandte Seite der Lederhaut ist nicht glatt, sondern trägt zapfen-, warzen-, blatt- und leistenartige Vorsprünge (*Stratum papillare*), die der Oberflächenvergrößerung dienen. In dem Bindegewebe dieser Papillen und Leisten liegen viele Kapillarschlingen (Gefäßpapillen), stellenweise auch Rezeptoren (Tastpapillen). Arterieller Zustrom und venöser Abstrom aus den Kapillarschlingen liegen tief in der Lederhaut nebeneinander. Diffusionsfähige Stoffe können bei dieser Gefäßanordnung quer durch das zwischen den Kapillarschenkeln gelegene Gewebe von der Arterie direkt in die Vene gelangen und erreichen so nicht die Hautoberfläche.

2.4 Oberhaut (Epidermis)

Die Oberhaut besteht aus einem mehrschichtigen Plattenepithel, das durch die vermehrte Bildung von Keratin verhornt ist (Tab. 1). Die Oberhaut besitzt eine Dicke von 0,5-5 mm, wobei sie an den mechanisch besonders beanspruchten Stellen (Handflächen, Fußsohlen) stärker ausgebildet ist. Die an der Oberfläche sich abschilfernden, verhornten Epithelschüppchen werden meist abgewaschen. Auf der Kopfhaut können sie sich zu größeren „Schuppen“ oder „Schinnen“ verbinden.

Die Verankerung mit der Dermis, durch die die gefäßfreie Epidermis auch ernährt wird, erfolgt durch kegelförmige Papillen sowie durch Drüsen und Haarbälge. An behaarten Stellen weist die Epidermisoberfläche eine durch Furchen, in denen die Haare stehen, bedingte *Felderung* auf (Felderhaut). An den unbehaarten Flächen der

Hand und des Fußes findet man anstelle der rhombischen Felder ca. 0,5 mm breite *Leisten* (Leistenhaut), deren Muster (Bögen, Wirbel, Schleifen) genetisch festgelegt ist und daher zur Identifizierung von Personen herangezogen werden kann (Fingerabdruck).

Tab. 1: Epidermisschichten (von außen nach innen)

Hornschicht (<i>Stratum corneum</i>)	abgeplattete, verhornte, kernlose Zellen, die an der Oberfläche abschilfern
Keratohyalinschicht (<i>Stratum lucidum</i>)	(nur in der Leistenhaut) stark lichtbrechende Zellen
Körnerschicht (<i>Stratum granulosum</i>)	wenige Zelllagen; flache Zellen mit kleinen Zellkernen
Keimschicht (<i>Stratum germinativum</i>)	vieleckige Zellen; verfestigt durch Desmosomen und Tonofibrillen
a) Stachelzellschicht (<i>Stratum spinosum</i>)	
b) Basalschicht (<i>Stratum basale</i>)	zylindrische Zellen, die durch Cytoplasmafortsätze das Epithel mit der Dermis verbinden; (hauptsächlich) Regeneration der Epidermis sowie Synthese und Speicherung des Hautpigments <i>Melanin</i>

Pigmentierung. Im unteren Teil der Oberhaut (Basalschicht, *Stratum cylindricum*) liegen Pigmentzellen, die der Haut ihre Färbung verleihen, indem sie mehr oder weniger Pigment (Melanin) bilden und an die übrigen Schichten der Epidermis abgeben. Bei hellhäutigen Menschen bilden die locker liegenden Zellen erst bei Sonnenstrahlung vermehrt Pigment als Lichtschutz. Dieses wandert aber mit den Epithelzellen nach oben. Sobald die Bestrahlung endet, geht die Bräune deshalb nach einigen Wochen wieder verloren. Bei dunkelhäutigen Menschen existiert die gleiche Anzahl an Pigmentzellen, allerdings sind sie stärker aktiv. Dadurch produzieren sie auch mehr Pigment – die Haut ist dunkler. Bei Albinismus wird von den Pigmentzellen gar kein Melanin mehr produziert, sodass die Haut immerzu sehr hell bleibt.

Die Oberfläche der Haut wird durch Talg, das Sekret der Talgdrüsen, eingefettet wodurch sie wasserabstoßend wirkt. Erst nach längerer Wassereinwirkung nimmt sie Flüssigkeit auf und quillt. Auf der Oberfläche münden außerdem die Schweißdrüsen, deren schwach saures Sekret einen Säuremantel bildet; dieser gibt

einen gewissen Schutz gegen Infektionen, da die meisten Bakterien in saurem Milieu zugrunde gehen.

2.5 Anhangsorgane der Haut

Dazu gehören: (a) Talgdrüsen, (b) Schweißdrüsen, (c) Duftdrüsen, (d) Milchdrüsen, (e) Nägel und (f) Haare.

a) Talgdrüsen

Die meisten Talgdrüsen entstammen dem Epithel der Haaranlagen und werden daher als Haarbalgdrüsen bezeichnet. Nicht an Haare gebundene, freie Talgdrüsen kommen an der Nasenöffnung, in der Lippenregion sowie im Genitalbereich vor. Die Talgdrüsen münden meist in den Haarkanal, in den sie ihr zu Sekret umgewandeltes Zellmaterial abgeben und die Haare und die Hautoberfläche damit einfetten. Die Mündungen können zudem trichterartig eingezogen sein und werden von Laien als „Poren“ bezeichnet. Ein Verschluss der Mündungsöffnung der Talgdrüse führt zu gelegentlich entzündlicher Sekretstauung (Mitesser). In der Leistenhaut (Handfläche, Fußsohle) fehlen Talgdrüsen.

b) Schweißdrüsen

Die über die ganze Körperoberfläche verteilten Schweißdrüsen (ca. 2 Millionen) setzen sich aus einem sezernierenden, aufgekäuerten Endstück (Knäueldrüsen) und einem Ausführungsgang zusammen, der die Dermis und die Epidermis senkrecht zur Oberfläche korkzieherartig durchsetzt. Das neutrale oder schwach saure Sekret dieser Drüsen, der Schweiß, besteht neben dem hauptsächlich Wasseranteil aus Kochsalz, Harnstoff, Harnsäure, und Fettsäuren. Damit können Schweißdrüsen in geringem Maße die Nieren unterstützen. Hauptaufgabe ist aber das Verhindern des Temperaturanstiegs im Körper durch Wasserverdunstung und die Bildung eines Säuremantels. Das Sekret der Schweißdrüsen ist selbst nahezu geruchslos. Es wird jedoch meist durch die stets auf der Haut lebenden und völlig ungefährlichen Bakterien zersetzt, wobei Geruchsstoffe entstehen, die mit dem Schweiß verdunsten.

c) Duftdrüsen

Duftdrüsen, die bei verschiedenen Säugetieren die Schweißsekretion übernehmen, kommen beim Menschen nur in der Achselhöhle, im äußeren Gehörgang, im Brustwarzenhof, den Augenlidern und im Genitalbereich vor. Sie produzieren ein fetthaltiges, alkalisches Sekret und sind bei Frauen wesentlich stärker entwickelt

als bei Männern. Die Drüsensekretion beginnt in der Pubertät und nimmt am Ende der Keimdrüsentätigkeit stark ab.

Auch das Sekret der Achsel- und Schamdrüsen ist an sich geruchslos. Der typische Geruch entsteht ebenfalls erst durch bakterielle Gärung. Deodorants wirken häufig desinfizierend, indem sie Keime abtöten, können aber auch die Haut selbst angreifen.

d) Milchdrüsen

Die Milchdrüse ist weit verzweigt. Sie dient beim Menschen wie bei allen Säugern ausschließlich der Ernährung des Kindes nach der Geburt.

e) Nägel

Die Nägel sind leicht gebogene Hornplatten, die den Rücken der Finger- und Zehenendglieder bedecken und als Schutzorgane sowie als Widerlager der Tastballen dienen.

f) Haare

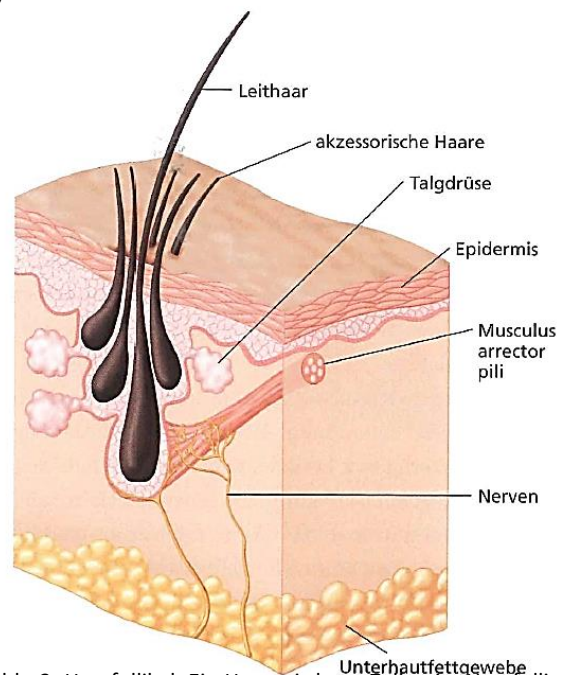


Abb. 3: Haarfollikel. Ein Haar wird von Zellen im Haarfollikel (Haarbalg) produziert. Arrector-Muskeln, die an der Basis des Haars ansetzen, kontrahieren sich in Antwort auf neuronale Reize und richten das Haar dadurch auf. Talgdrüsen sezernieren Lipide in die Follikelgänge.

Haare sind aus verhornten Epithelzellen gebaute, elastisch biegsame Fäden; in ihnen liegen massenhaft Tonofibrillen in Längsrichtung. Ein Haar hat seinen Ursprung in einem Haarfollikel, aus dem es auswächst (Abb. 3). Der Haarfollikel ist eine epidermale Bildung, die sich jedoch bis

in die darunterliegende Dermis einsenkt. Haare wachsen unaufhörlich durch rasche Vermehrung von Zellen im Haarfollikel. In dem Maß, in dem der Schaft des Haares nach außen geschoben wird, werden immer neue Zellen von ihrer Nährstoffquelle entfernt, sodass sie schließlich absterben. Vorher füllen sie sich mit der gleichen Sorte Keratin (einem Faserprotein hoher Dichte), aus der auch Nägel, Klauen, Hufe oder Federn bestehen. Echte Haare, die nur bei Säugetieren vorkommen, bestehen also aus toten, mit Keratin gefüllten Epidermiszellen. Wenn Haare eine bestimmte Länge erreicht haben, hören sie auf zu wachsen. Normalerweise verbleibt ein Haar dann in seinem Follikel, bis ein neues zu wachsen beginnt. Erst dann fällt es aus. Bei den meisten Säugetieren kommt es periodisch zu einem Fellwechsel, bei dem das gesamte Haarkleid erneuert wird. Beim Menschen werden die Haare lebenslang kontinuierlich abgeworfen und ersetzt.

Eine Glatzenbildung beruht auf einer vollständigen Atrophie (Rückbildung) der Papillen, das

Ergrauen der Haare auf mangelnde Pigmentbildung oder durch auf Lufteinschlüssen.

Bei Tieren mit dichterem Fell wird durch die Aufrichtung der Haare eine größere, isolierende Luftschicht um den Körper festgehalten, die gegen Wärmeverlust schützt. Auch beim Menschen treten die Haarmuskeln bei Kälteeinwirkung in Aktion, obwohl ein wirksamer Schutz nicht mehr erreicht wird; es kommt zur Bildung der sog. Gänsehaut. Aber nicht nur bei Kälteeinwirkung, sondern auch bei Gefahr und bei Erschrecken stellen sich die Haare besonders der Nacken- und Rückengegend auf, wie wir es von Katze und Hund her kennen, die dadurch größer erscheinen. Beim Menschen, der ein Geschehnis „haarsträubend“ findet, tritt zugleich ein Kältegefühl auf, es „läuft ihm kalt den Buckel herunter“, weil mit der Haaraufrichtung ein Kältegefühl verbunden ist.

M3: Die Haut als Sinnesorgan und die Wahrnehmung von Reizen

[Materialquellen: Mörike et al., 2007, S. 516-525; Müller & Frings, 2007, S. 422-430; Purves et al., 2004, S. 1074f. und 1080f.; Thews et al., 1980, S. 553-561]

3.1 Wahrnehmung

Die Wahrnehmung ist nicht allein eine Abbildung der Umwelt in unseren Sinnesorganen, sondern auch eine aktive Leistung des Subjekts. Phänomene der Umwelt werden zunächst als Sinnesreize von den Sinnesrezeptoren der Sinnesorgane in Erregung sensorischer Nerven umgewandelt, die im Zentralnervensystem integriert und in Empfindungen umgewandelt (transformiert) werden. Ein Beispiel hierfür ist die Farbe Rot. Wenn diese Farbe Bestandteil eines Bildes ist, so stellt die Summe aller darin enthaltenen Sinnesindrücke eine Sinnesempfindung dar. Bei einer Empfindung werden lediglich die Sinnesindrücke *ohne Wertung* oder Verknüpfung mit der Erfahrung vermittelt. Erfährt die Empfindung eine Deutung durch Erfahrung oder Erlerntes, wird aus der Erfahrung eine Wahrnehmung. Diese gedankliche Verarbeitung des Wahrgenommenen im Gehirn, – also Auffassen, Erkennen und Beurteilen – wird als Kognition bezeichnet.

3.2 Sinneszellen und sensorische Transduktion

Sinneszellen wandeln physikalische oder chemische Reize (Stimuli) in Signale um, die zur Verarbeitung und Integration in andere Teile des Nervensystems weitergeleitet werden (**sensorische Signaltransduktion** oder kürzer **sensorische Transduktion**). Sinneszellen werden im Allgemeinen als **Rezeptoren** bezeichnet, was zur Verwechslung mit **Rezeptorproteinen** führen kann, die Signalmoleküle binden. Um diese Verwechslung zu vermeiden, werden wir in diesem Kapitel meist von **Sinneszellen** oder **Rezeptorzellen** sprechen. Die meisten Sinneszellen sind abgewandelte Nervenzellen, doch bei manchen handelt es sich um andere Zelltypen, die eng mit Neuronen assoziiert sind. Sinneszellen sind darauf spezialisiert, bestimmte Reizmodalitäten aufzunehmen, beispielsweise Druck, Wärme oder Licht.

Die meisten Sinneszellen besitzen membrangebundene Rezeptorproteine, die einen Reiz aufnehmen und darauf reagieren, indem sie den Ionenfluss über die Plasmamembran verändern (Abbildung 4). Die resultierende Veränderung des Membranpotenzials veranlasst die Sinneszelle entweder dazu, selbst Aktionspotenziale zu generieren (zu „feuern“), oder ihre Neurotransmitterausschüttung an der Synapse zu verändern, an der sie mit einem anderen, feuernden Neuron in Kontakt steht. Die Reizstärke ist in der Frequenz dieser Aktionspotenziale codiert (**Frequenzcodierung der Reizstärke**).

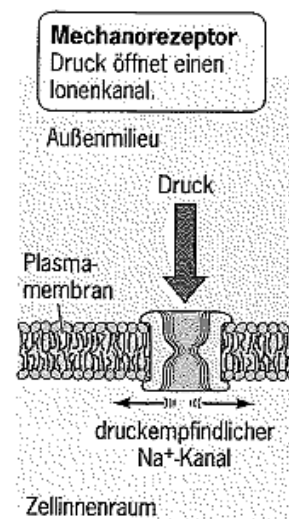


Abb. 4: Rezeptorproteine in den Membranen von Sinneszellen reagieren auf Reize.

Sinnesempfindungen hängen davon ab, welche Neuronen Aktionspotenziale von Sinneszellen empfangen

Wenn die Botschaft von allen Sinneszellen identisch ist – es handelt sich stets um Aktionspotenziale –, wie kommt es, dass wir unterschiedliche Sinnesempfindungen haben? Sinnesempfindungen wie Wärme-, Druck-, Schmerz-, Licht-, Geruchs- und Tonempfindungen unterscheiden sich, weil die Botschaften von unterschiedlichen Sinneszelltypen an unterschiedlichen Stellen im Zentralnervensystem (ZNS) eintreffen. Aktionspotenziale, die in der Sehrinde (im visuellen Cortex) des Gehirns eintreffen, werden als Licht interpretiert, im auditorischen Cortex als Töne, im Riechkolben (Bulbus olfactorius) als Gerüche und so fort.

Ein kleines Stück Haut an Ihrem Arm enthält Sinneszellen, die ihre Feuerrate erhöhen, wenn die Haut erwärmt wird (**Wärmepunkte**), und andere, die ihre Aktivität verstärken, wenn die Haut gekühlt wird (**Kältepunkte**). Wieder andere Zelltypen im selben Hautstück reagieren auf Berührung (**Druckpunkte**). Freie Nervenendigungen führen aufgrund von mechanischen Verletzungen, Verbrennungen oder chemischer Reizung zu Schmerz oder Juckreiz (**Schmerzpunkte**). Auf einem Quadratzentimeter Haut befinden sich etwa zwei Wärmepunkte, dreizehn Kältepunkte und zweihundert Schmerzpunkte. Auch die Haarbewegung können wir spüren. Alle diese Sinneszellen beziehungsweise Neuronen übermitteln ihre Botschaft über Axone, die über das Rückenmark ins ZNS eintreten. Die Synapsen, die diese Axone im Rückenmark und in den darauf folgenden Übertragungswegen ausbilden, entscheiden darüber, ob die Reizung der Hautpartie auf Ihrem Arm als Wärme, Kälte, Berührung, Kitzeln, Jucken oder Schmerz wahrgenommen wird.

3.3 Typen von Hautsinneszellen

Im Bereich Haut unterscheidet man

- a) Mechanorezeptoren (Berührung, Druck, Vibration),
- b) Thermorezeptoren (Wärme, Kälte, Frieren),
- c) Nozirezeptoren (Schmerz, Jucken).

Mechanorezeptoren sind Zellen, die empfindlich auf mechanische Kräfte reagieren. Die mechanische Verformung der Membran eines Mechanorezeptors führt dazu, dass sich Ionenkanäle öffnen; dadurch ändert sich das Membranpotenzial der Zelle, was wiederum die Auslösung von Aktionspotenzialen nach sich zieht. Die Frequenz der Aktionspotenziale informiert das ZNS über die Stärke des Reizes, der den Mechanorezeptor erregt. Mechanorezeptive Zellen sind an vielen sensorischen Systemen beteiligt; die Palette reicht von Hautempfindungen bis zur körpereigenen Blutdruckmessung.

Viele verschiedene Sinneszellen reagieren auf Berührung und Druck

Gegenstände, welche die Haut berühren, erzeugen ganz unterschiedliche Sinnesempfindungen, weil die Haut mit diversen Mechanorezeptoren vollgepackt ist (Abb. 5).

Die Mechanorezeptoren der Haut sind in zwei Schichten angeordnet; sie ermöglichen feinfühliges Tasten oder die Wahrnehmung großflächiger Drücke und von Vibrationen.

Die wichtigsten Berührungsrezeptoren in behaarten wie in unbehaarten Hautflächen sind die **Merkel-Tastscheiben**, die recht langsam adaptieren und fortlaufend Information über **taktile Reize** (Berührungsreize) liefern. Andere Mechanorezeptoren, die **Meissner-Körperchen**, liegen vorwiegend in unbehaarten Hautregionen und sind sehr empfindlich, adaptieren aber schnell; daher liefern sie Information über Veränderungen bei Objekten, die mit der Haut in Kontakt stehen. Die rasche Adaptation dieser Berührungssensoren ist der Grund dafür, dass Sie ein kleines Objekt, dessen Form und Textur Sie erfühlen möchten, zwischen Ihren Fingerspitzen hin- und herrollen, anstatt es still zu halten.

Tiefer in der Haut finden sich zwei weitere Typen von Mechanorezeptoren. Die recht langsam adaptierenden **Ruffini-Körperchen** liefern Information über niederfrequente Vibrationsreize, die rasch adaptierenden **Pacini-Körperchen** über hochfrequente Vibrationsreize. Noch tiefer in der Haut wickeln sich die Dendriten sensorischer Nervenzellen um Haarfollikel und bilden mit diesen **Haarfollikel-Sensoren**. Wird das Haar abgebogen, wird die betreffende Nervenzelle gereizt.

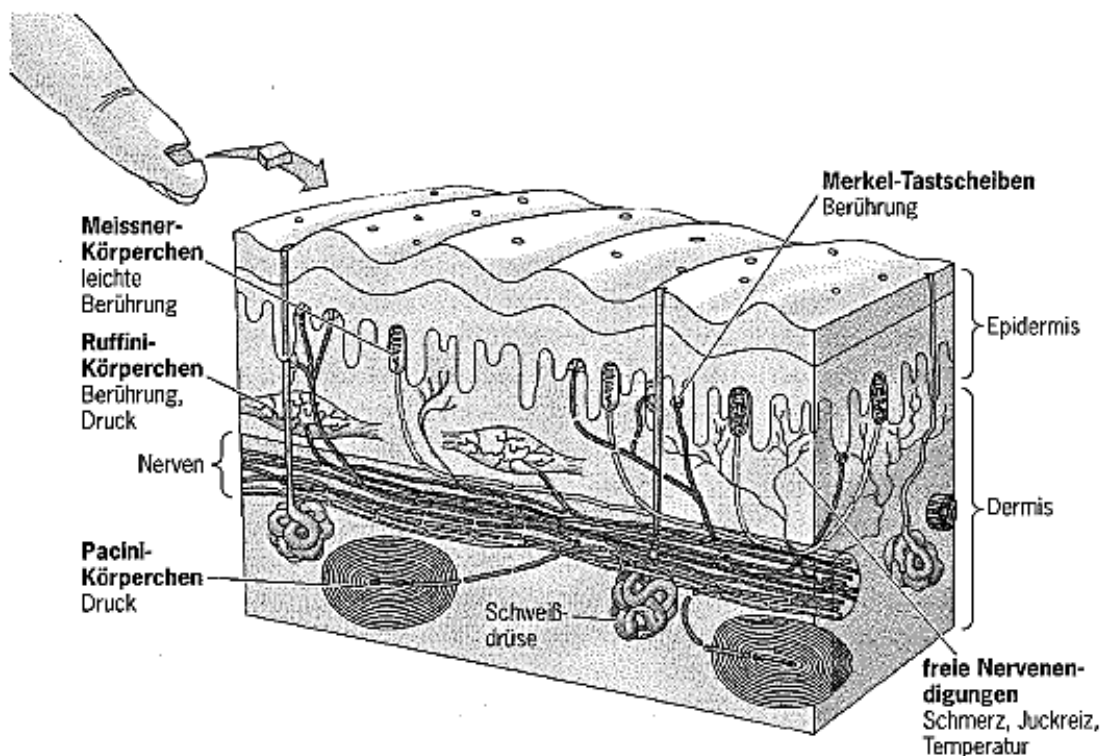


Abb. 5: Wahrnehmung von Sinnesempfindungen über unterschiedliche Sinneszellen in einem kleinen Hautstück

b) Thermorezeptoren

In der Tiefe von 0,1-0,6 mm unter der Hautoberfläche liegen in der Lederhaut diskontinuierlich verteilte, spezifische Thermosensoren. Man findet sie auch im Körperinneren (z.B. Zunge, innere Organe). Die durch sie vermittelten Empfindungen werden als warm, indifferent oder kalt bezeichnet. Das bedeutet, dass sich die Empfindungen von den physikalischen Wärmequantitäten unterscheiden. Man unterscheidet Kalt- und Warmsensoren (auch Kalt- und Warmrezeptoren genannt). Sowohl durch Abtastung von Hautoberflächen mit unterschiedlich warmen kleinflächigen Thermoden als auch durch Messungen der Impulse an Nervenfasern können Sensoren gefunden werden, die bei Abkühlung, und andere, die bei Erwärmung mit Impulserhöhung reagieren.

- Wärmeentzug aktiviert Kaltrezeptoren
- Wärmezufuhr aktiviert Warmrezeptoren

Beide Rezeptortypen sind freie Nervenendigungen, d.h. sensorische Neurone, deren verzweigte dendritische Strukturen auf den Abfluss oder Zufluss von Wärme ansprechen, aber in gegensinniger Weise. Bei der Temperaturempfindung spielt neben der absoluten Temperatur die Steilheit der Temperaturänderung während einer bestimmten Zeit und die Größe der thermisch gereizten Hautoberfläche eine Rolle. Neben der Funktion des Temperatursinns haben Sensoren eine biologische Funktion im Rahmen der Temperaturregelung. Von Kalt- und Warmsensoren wird die Temperatur der „Körperschale“ festgestellt und an das Gehirn geleitet, wo die Information bewertet wird. Weicht die festgestellte Ist-Temperatur von der Soll-Körpertemperatur ab, werden entsprechende Ausgleichsmechanismen aktiviert.

Subjektives Temperaturerleben

Physikalisch hat die Temperatur eine lineare Skala. In unserem Empfinden aber gibt es eine Disjunktion: Ein Gegenstand kann sich kalt oder warm anfühlen – bei gleicher physikalischer Temperatur.

Man fasse bei Zimmertemperatur abwechselnd einen Gegenstand aus Metall und einen aus Holz an. Der eine fühlt sich kalt an, der andere warm. Beide Gegenstände waren lange genug im Raum, um die Raumtemperatur anzunehmen. Der Thermometer bestätigt dies. In der heißen Sonne hingegen sind die relativen Empfindungen vertauscht: Eisen fühlt sich heißer an als Holz gleicher Temperatur.

Die Gegenstände unterscheiden sich in ihrer Wärmeleitfähigkeit. Bei der üblichen Raumtemperatur ist unsere Haut wärmer als das berührte Eisen. Bei Raumtemperatur entzieht Metall der Haut Wärmeenergie rasch und in großer Menge, das Holz nicht. Eisen über 40°C hingegen leitet Wärme auf die Haut ab.

c) Nozirezeptoren

Schmerzreize werden von Schmerzrezeptoren aufgenommen. Dies sind freie Nervenendigungen; aber auch korpuskuläre Nervenenden, z. B. Mechanorezeptoren, können zugleich Schmerzrezeptoren sein. Es wird angenommen, dass die Eigenschaften der molekularen Rezeptorstrukturen die Spezifität für Schmerzreize bedingen, denn es gibt auch freie Nervenenden mit mechano- oder thermosensiblen Eigenschaften. Einzelne Aktionspotenziale rufen noch keine Schmerzempfindung hervor, sondern erst Serien von Aktionspotenzialen. In den freien nozizeptiven Nervenenden werden rezeptive Areale für Transduktion noxischer Reize an den Nervenfasernbereichen vermutet, an denen die Schwannsche Zellohüllung unterbrochen ist und die Axone Kontakt zum umgebenden Gewebe haben.

Die Schmerzschwelle ist nicht konstant. Sie kann z. B. durch Entzündungsprozesse gesenkt werden. Bei einer Entzündung (Gelenkentzündung oder starker Sonnenbrand) werden in den entzündeten Geweben Stoffe frei, die „schlafende“ Schmerzrezeptoren aktivieren und dabei deren normalerweise hohe Erregungsschwelle so stark senken, dass schon geringfügige Reize eine hohe Entladungsrate derartiger sensibilisierter Schmerzrezeptoren bewirken und Schmerzen auslösen. So wird z. B. die normalerweise schmerzfreie Bewegung eines Gelenks äußerst schmerzhaft, wenn das Gelenk entzündet ist, oder bei einem schweren Sonnenbrand führt schon leichtes Reiben der Kleidung zu Hautschmerzen im gereizten Areal.

Die Vielfalt der schmerzhaften Reize hatte zunächst zu der Annahme geführt, dass es keine speziellen Schmerzrezeptoren gäbe, Schmerz vielmehr immer dann aufträte, wenn Druck- oder Temperaturrezeptoren über eine bestimmte Intensität hinaus gereizt würden. Dagegen spricht jedoch die Lokalisation der Reizpunkte auf der Haut (Abb. 6). Die Haut ist nämlich für Schmerzreize ebenso wie für Druck- und Temperaturreize nicht überall gleich empfindlich. Durchmustert man systematisch ein Hautareal, so findet man etwa zehnmal mehr Schmerzpunkte als Druck-, Kalt- oder Warmpunkte. Dieser Befund lässt sich nur so deuten, dass Schmerzrezeptoren in der Haut mit Rezeptoren für die anderen Sinnesqualitäten nicht identisch sind.

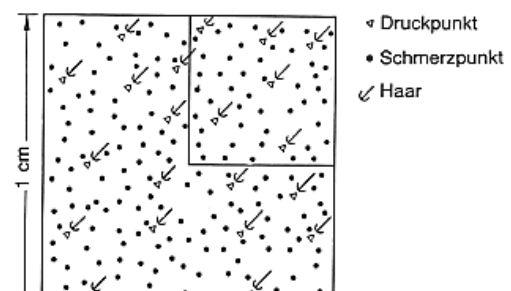


Abb. 6: Verteilung der Schmerz- und Druckpunkte auf einem Hautareal (Beugeseite des Unterarms), nach Strughold

Somatosensorik: die durch Mechano-, Thermo- und Nozirezeptoren der Haut vermittelte Sensibilität unseres Körpers

Die Haut ist das flächenmäßig größte Sinnesorgan. Eine Besonderheit des „Hautsinnes“, in der Physiologie als Somatosensorik bezeichnet, ist es, dass hier viele, verschieden spezialisierte Mechanosensoren mit Thermosensoren und Schmerzrezeptoren (Nozirezeptoren, Nozizeptoren) zusammen zu einer funktionellen Einheit zusammengefasst sind, die es uns ermöglicht, Kontakt mit der Außenwelt aufzunehmen, den Ort eines Körperkontaktes zu ermitteln und wichtige physikalische Eigenschaften eines berührten Gegenstandes in Erfahrung zu bringen.

Ein Finger möchte feinste Rauigkeiten ertasten und muss mit geringen Reizenergien zurecht kommen. Ein harter Stoß überträgt große Reizenergien und soll warnen. Die Sensoren für feines Tasten liegen in einer oberflächlichen Schicht, die für Drücke in einer tiefen Schicht der Dermis.

- In der oberen für Berührungsreize spezialisierten Hautschicht ermöglichen die **Meissner- und Merkel-Körperchen** das feinfühliges Erkennen von Eigenschaften berührter Körper wie Glätte oder Rauigkeit, Weichheit oder Härte. Auch registrieren sie langsame Druckschwankungen zwischen 0,3 und 3 Hertz.
- In der tieferen Schicht reagieren die **Ruffini'schen Körperchen** (*Ruffini corpuscles*) auf Verspannungen der Haut (was zur Wahrnehmung von Härte beiträgt), während die
- **Pacini'schen Körperchen** (*Pacinian corpuscles*) Stöße und Vibrationen, beispielsweise eines in unserer Hand zappelnden Frosches, einer Cellosaite, des Fahrzeugmotors oder der abgefahrenen Autoreifen registrieren. Sie haben sich auf Vibrationen zwischen 40 und 1000 Hertz spezialisiert. Die vergleichsweise großen, bis zu 4 mm lange Sinnesorgane sind nicht nur in die Unterhaut eingestreut, sondern registrieren auch in Sehnen und Muskeln örtliche Vibrationen.

Unsere Fingerbeeren, neben Lippen und Zunge besonders für differenziertes Wahrnehmen von Objekteigenschaften begabt, sind pro cm² mit ca. 1500 Meissner-Körperchen, 750 Merkel-Apparaten, und 75 Pacini- und Ruffini-Körperchen ausgestattet. Schließlich sind auch viele unserer Haare Teil des Berührungssinnes. Man streichle leicht über Haare (z.B. des Unterarms), ohne die Haut zu berühren.

Was kann der Tastsinn in seiner Gesamtheit nicht alles leisten! Wir erfassen mit unseren Händen Form und Größe eines Gegenstandes, seine Härte oder Weichheit, die Textur seiner Oberfläche, ob er glitschig ist oder rau, seine Bewegungen. Allein durch Tasten können wir nachts den Zipfel der Bettdecke, den Wecker oder den Lichtschalter erkennen.

Somatotopie: zur Verarbeitung der ins ZNS eingespeisten Informationen stehen in der Großhirnrinde Areale bereit, die Körperregionen repräsentieren

Die von den Sensoren unserer Hand gelieferten Meldungen erreichen über die Spinalganglien das Rückenmark, werden zum Thalamus des Zwischenhirns weitergeleitet und einem somatosensorischen Areal in der Großhirnrinde zugeführt, das alle von der Hand gelieferten Daten auswertet, von welchem sensorischen Rezeptortyp sie auch stammen. So können die Meldungen der verschiedenen Sensoren integriert und der Hand zugeordnet werden. Entsprechend haben auch der Fuß und alle anderen Körperbereiche das ihnen zugeordnete Gebiet der Datenverarbeitung. Die Größe dieser Areale im somatosensorischen Cortex spiegelt die Zahl und Dichte der Sensoren wieder: Lippen und Finger sind auf großen Flächen, die wenig empfindlichen Beine und der Rumpf auf vergleichsweise kleinen Flächen repräsentiert. Diese Projektion der Körperregionen auf für sie zuständige Auswertbezirke nennt man **Somatotopie** (griech.: *soma* = Körper; *topos* = Ort).

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Epidermisschichten (von außen nach innen) aus: Thews, G., Mutschler, E., & Vaupel, P. (1980). <i>Anatomie Physiologie Pathophysiologie des Menschen. Ein Lehrbuch für Pharmazeuten und Biologen</i> . Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH; hier S. 701.
--------	---

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Anatomischer Bau der menschlichen Haut (Epidermis und Dermis) und der Hypodermis/Subkutis mit Darstellung der Haare und Drüsen. aus: Hickman, C. P, Roberts, L. S., Larson, A., l'Anson, H., & Eisenhour, D. J. (2008). <i>Zoologie</i> . 13., aktualisierte Auflage. München u.a.: Pearson; hier S. 904.
Abb. 2	Senkrechter Schnitt durch die Oberfläche der Hohlhand (nach Bucher) aus: Thews, G., Mutschler, E., & Vaupel, P. (1980). <i>Anatomie Physiologie Pathophysiologie des Menschen. Ein Lehrbuch für Pharmazeuten und Biologen</i> . Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH; hier S. 701.
Abb. 3	Haarfollikel. Ein Haar wird von Zellen im Haarfollikel (Haarbalg) produziert. Arrector-Muskeln, die an der Basis des Haares ansetzen, kontrahieren sich in Antwort auf neuronale Reize und richten das Haar dadurch auf. Talgdrüsen sezernieren Lipide in die Follikelgänge. aus: Moyes, C. D., & Schulte, P. M. (2008). <i>Tierphysiologie</i> . München: Pearson; hier S. 683.
Abb. 4	Rezeptorproteine in den Membranen von Sinneszellen reagieren auf Reize aus: Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G. H., & Heller, H. C. (2004). <i>Biologie</i> . 7. Auflage. München: Elsevier; hier S. 1074.
Abb. 5	Wahrnehmung von Sinnesempfindungen über unterschiedliche Sinneszellen in einem kleinen Hautstück aus: Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G. H., & Heller, H. C. (2004). <i>Biologie</i> . 7. Auflage. München: Elsevier; hier S. 1080.
Abb. 6	Verteilung der Schmerz- und Druckpunkte auf einem Haut-areal (Beugeseite des Unterarms), nach Strughold aus: Thews, G., Mutschler, E., & Vaupel, P. (1980). <i>Anatomie Physiologie Pathophysiologie des Menschen. Ein Lehrbuch für Pharmazeuten und Biologen</i> . Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH; hier S. 561.

Referenzen

Hickman, C. P, Roberts, L. S., Larson, A., l'Anson, H., & Eisenhour, D. J. (2008). *Zoologie*. 13., aktualisierte Auflage. München u.a.: Pearson.

Hildebrand, M., & Goslow, G. E. (2004). *Vergleichende und funktionelle Anatomie der Wirbeltiere*. Aus dem Amerikanischen übersetzt und überarbeitet von Claudia Distler. Berlin, Heidelberg: Springer.

Mörike, K. D., Betz, E., & Mergenthaler, W. (2007). *Biologie des Menschen*. 15. Auflage. Hamburg: Nikol.

Moyes, C. D., & Schulte, P. M. (2008). *Tierphysiologie*. München: Pearson.

Müller, W., & Frings, S. (2007). *Tier- und Humanphysiologie. Eine Einführung*. 3., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.

Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G. H., & Heller, H. C. (2004). *Biologie*. 7. Auflage. München: Elsevier.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder der Bundesrepublik Deutschland (Kultusministerkonferenz, KMK) (2004). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004. Abrufbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Biologie.pdf (zuletzt aufgerufen am 28.08.2018).

Thews, G., Mutschler, E., & Vaupel, P. (1980). *Anatomie Physiologie Pathophysiologie des Menschen. Ein Lehrbuch für Pharmazeuten und Biologen*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.

Die zugrundeliegenden Hauptreferenzen der einzelnen Materialteile teilen sich wie folgt auf:

M1 (Die Bedeutung der Haut): Hickman et al., 2008, S. 904f., 945, 949; Mörike et al., 2007, S. 495f.; Thews et al., 1980, S. 700-703; Purves et al., 2004, S. 438f.

M2 (Strukturen der Haut und deren Funktionen): Hickman et al. 2008, S. 904f.; Mörike et al. 2007, S. 495-504; Moyes & Schulte, 2008, S. 681-683; Thews et al., 1980, S. 700-703

M3 (Die Haut als Sinnesorgan und die Wahrnehmung von Reizen): Mörike et al., 2007, S. 516-525; Müller & Frings, 2007, S. 422-430; Purves et al., 2004, S. 1074f. und 1080f.; Thews et al., 1980, S. 553-561

(Hinweis: In den einzelnen angegebenen Primärquellen der Materialteile M1, M2 und M3 sind zusätzliche Bezüge zu weiteren Quellenangaben enthalten, die in den jeweiligen Primärquellen auffindbar sind.)