

1 Die Haut

1.1 Bedeutung der Haut für den Menschen

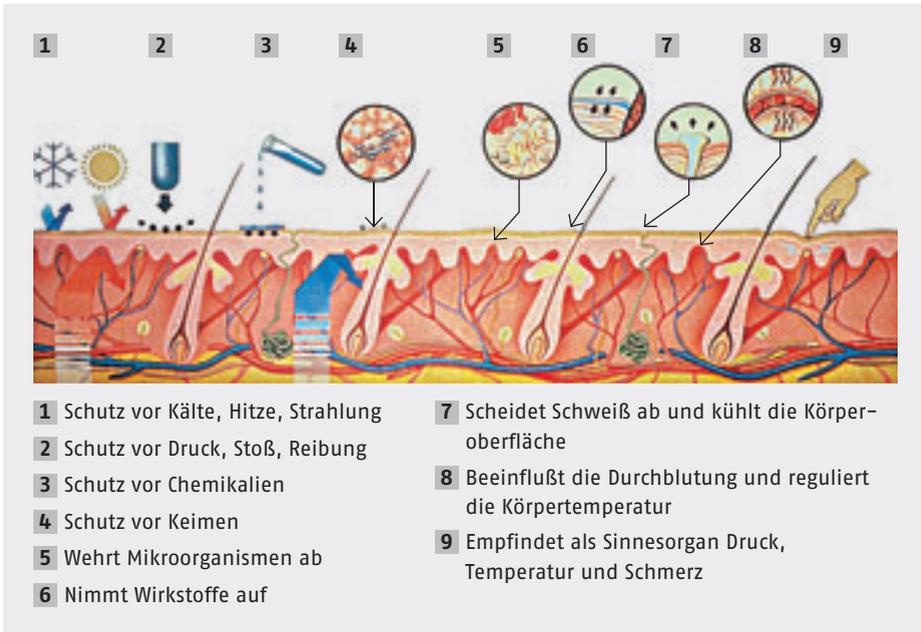
Die Haut als äußere Hülle unseres Körpers ist das Organ, das unsere Mitmenschen von uns wahrnehmen. Deshalb soll die Haut stets sommerlich frisch, jugendlich straff und ebenmäßig aussehen und das möglichst ein Leben lang. Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts galt die blasse, ungebräunte Haut als vornehm. Zivilisierte Damen verbargen ihre Haut unter einem Sonnenschirm, denn gebräunte Haut trug den Makel der körperlichen Feldarbeit. Auch heute noch ist die Hautfarbe ein Statussymbol. Noch immer ist sonnenbraun gefragt. Gebräunte Menschen vermitteln den Eindruck von Fitness und Gesundheit. Darüber hinaus spiegelt die Haut den Gesundheitszustand anderer Organe und des gesamten Organismus wider. Auch psychische Einflüsse wie Freude oder Trauer zeichnen sich insbesondere an der Gesichtshaut ab, weshalb man von der Haut auch als „Spiegelbild der Seele“ spricht.

Die Haut stellt bezüglich Fläche und Gewicht das größte Organ des Menschen dar. Ein normal gewichtiger Erwachsener besitzt etwa 1,5 bis 2 m² Haut, was einem Gewicht von ungefähr 10 bis 15 kg entspricht. Damit entfallen etwa 15 % des gesamten Körpergewichts auf die Haut.

1.2 Aufgaben der Haut

Unsere Haut hat eine Vielzahl von Aufgaben zu erfüllen (◉ Abb. 1.1), wobei aus Sicht der Körperpflege neben dem Aussehen der Haut die Schutzfunktion am wichtigsten ist:

Schutzfunktion: Die Haut schützt den gesamten Organismus gegen Einflüsse mechanischer, physikalischer oder chemischer Art, nicht zuletzt auch gegen das Eindringen von Mikroorganismen. Andauernde mechanische Belastungen, wie Druck oder Stoß, führen genau wie UV-Strahlung zu einer Verdickung der Hornschicht. Es entsteht eine Schwielenbildung. Stöße werden außerdem durch das Unterhautfett und die Elastizität der Lederhaut aufgefangen. Der Hydrolipidfilm oder Säureschutzmantel der Haut (► Kap. 1.4.3) wirkt als Puffer und ist in der Lage nach Kontakt mit schwachen Säuren oder Laugen schnell wieder die ursprünglichen Verhältnisse von pH 5,4 bis 5,9 herzustellen. So ist im Normalfall



○ Abb. 1.1 Aufgaben der Haut (Beiersdorf AG Hamburg)

bereits eine Stunde nach dem Waschen mit alkalischen Seifenlösungen der physiologische pH-Wert wieder erreicht. Man spricht von **Alkalinisationsfähigkeit** der Haut. Diese ist bei älteren Menschen und Kleinkindern verringert. Starke Laugen schädigen die Haut generell schwerer als starke Säuren, weshalb Laugenverätzungen tiefere und langsamere heilende Wunden hinterlassen. Organische Lösungsmittel lösen Lipide aus der interzellulären Kittsubstanz heraus, wodurch diese brüchig wird.

Auch gegen mikrobielle Schädigungen bietet der Hydrolipidfilm Schutz. Unter den Bedingungen des schwach sauren pH-Wertes der gesunden Haut finden physiologische Hautoberflächenkeime optimale Lebensbedingungen vor. Eine gesunde Hautflora ist in der Lage das Wachstum von pathogenen Mikroorganismen zu hemmen und damit ihr Eindringen in die Haut zu verhindern. Sogenannte „physiologische Lücken“ im Säureschutzmantel gibt es durch die größere Zahl an apokrinen Schweißdrüsen (► Kap. 1.4.2) im Genital- und Analbereich sowie in den Achselhöhlen. Hier liegt der pH-Wert mit 6,5 zwar immer noch im sauren Bereich, dennoch sind diese Regionen stärker infektionsgefährdet. Ähnliche Zustände erhöhen die Infektionsgefahr auch an Stellen, wo Haut auf Haut zu liegen kommt, den sog. intertriginösen Bereichen, wie beispielsweise zwischen den Zehen.

Wärmeregulation: Die Haut ist maßgeblich an der Regulierung der Körperwärme beteiligt. Bei hohen Außentemperaturen reagiert die Haut mit einer Erweiterung der Kapillaren, wodurch Körperwärme nach außen geführt wird. Ein besonders wirksamer Schutz vor Überhitzung ist das Schwitzen. Die zur Verdunstung des Schweißes benötigte Energie wird dem Körper entzogen und kühlt die Haut ab. Kann der Schweiß nicht verdunsten, so kommt es zum Wärmestau. So sind beispielsweise Todesfälle bei mit Goldfarbe überzoge-

nen Menschen (Sklaven im antiken Rom) auf einen solchen Wärmestau zurückzuführen. Bei niedrigen Außentemperaturen zieht sich die Haut zusammen um den Wärmeverlust durch Verringerung der Oberfläche zu minimieren. Es entsteht die „Gänsehaut“. Zunächst erweitern sich die Kapillaren, damit mehr Blut die Haut erwärmen kann. Die Haut rötet sich. Bei größerer Kälte verengen sich die Gefäße. So kann wenigstens die innere Körperwärme erhalten werden. Erkennbar ist dies an blasser Haut und bläulich verfärbten Lippen.

Ausscheidungs- und Aufnahmefunktion: Die Haut ist in der Lage, zusammen mit anderen Organen, wie beispielsweise den Nieren, den Wasserhaushalt zu regulieren. Einerseits verhindert die Barriere in der Epidermis einen zu großen Flüssigkeitsverlust (► Kap. 1.3.1), andererseits kann durch Schwitzen gezielt Wasser abgegeben werden. Außer Wasser werden über den Schweiß auch Salze und organische Verbindungen, wie z. B. Fettsäuren, ausgeschieden. Die Aufnahme von Stoffen über die Haut; ist begrenzt, da die primäre Aufgabe der Haut der Schutz des Organismus vor eindringenden Substanzen ist. Allerdings vermögen die meisten Stoffe wenigstens in geringen Umfang in die Haut ein- bzw. durch sie hindurch zu dringen. Im pharmazeutischen Bereich macht man sich das in Form von transdermalen therapeutischen System (TTS) zunutze. Die Hautatmung, also die Aufnahme von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlendioxid über die Haut, spielt nur eine untergeordnete Rolle. Etwa 1 bis 2 % des Gesamtsauerstoffbedarfs werden über die Haut aufgenommen.

Sinnesfunktion: Als Kontaktorgan ist die Haut in der Lage Tast-, Temperatur- und Schmerzempfindungen wahrzunehmen. Die Reflexe, die als Gegenreaktion auf einen entsprechenden Schmerz- oder Temperaturreiz folgen, sind wichtige Schutzmechanismen. Für diese Fähigkeiten besitzt die Haut eine Reihe von unterschiedlich aufgebauten freien Nervenendigungen, die als Rezeptoren dienen. Besonders viele Rezeptoren für Tastreize, die sog. Tastkörperchen, findet man in der Haut der Fingerspitzen und der Lippen.

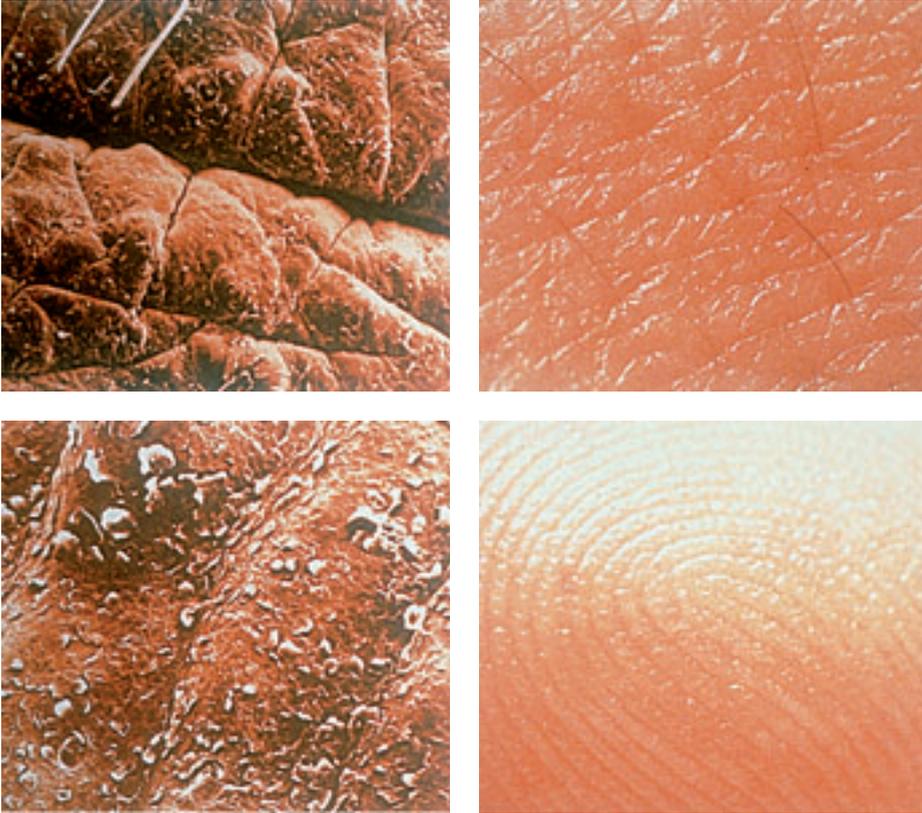
1.3 Aufbau der Haut

Unter der Lupe erscheinen dreieckige und viereckige Felder, die durch Furchen voneinander getrennt sind. Man spricht vom Hautrelief der **Felderhaut** (◉ Abb. 1.2). An den Kreuzungspunkten der Längs- und Querfurchen erkennt man Hauteinstülpungen, die Poren. Aus manchen Poren wächst ein Haar, andere sind Ausgänge einer Drüse. Die Handinnenflächen und hier besonders die Fingerspitzen sowie die Fußsohlen weisen eine Besonderheit auf. Überwiegend parallel verlaufende Leisten und Furchen bilden ein Muster aus Linien, Schleifen und Wirbeln. Durch diese **Leistenhaut** wird die Haut rau und griffig. Das Muster ist für jeden einzelnen Menschen charakteristisch und im Erbgut festgelegt.

Die menschliche Haut (◉ Abb. 1.3) ist aufgebaut aus:

- **Epidermis** (Oberhaut),
- **Korium** oder **Dermis** (Lederhaut),
- **Subcutis** (Unterhaut, Unterhautfettgewebe).

Epidermis und Korium werden zusammen als Cutis bezeichnet.



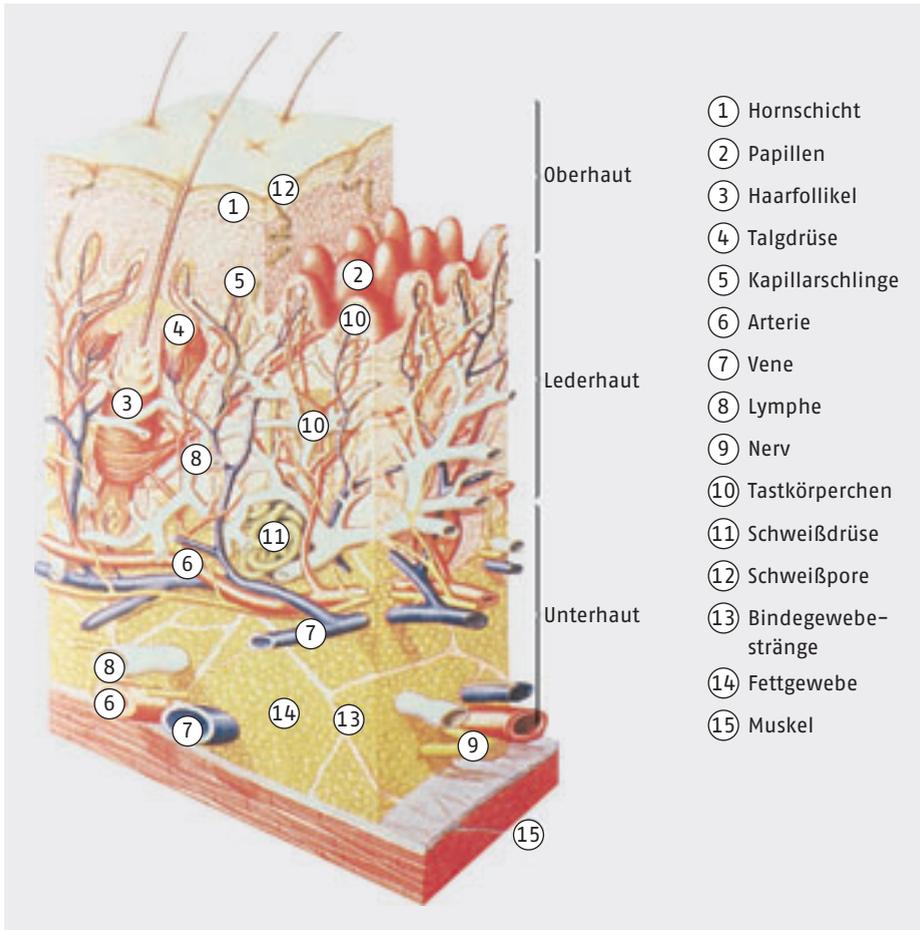
○ Abb. 1.2 Felderhaut und Leistenhaut (Beiersdorf AG Hamburg)

1.3.1 Epidermis

Die äußerste Schicht der Haut, die Epidermis, erneuert sich innerhalb von etwa 28 Tagen ständig vom Körperinneren her. Neue Zellen, die sog. Keratinozyten, die in der Basalzellschicht gebildet werden, durchwandern alle Schichten und werden schließlich an der Körperoberfläche abgestoßen. Die Epidermis hat eine Dicke von 0,5 bis 5 mm, wobei sie an mechanisch besonders beanspruchten Stellen am stärksten ausgebildet ist. Von innen nach außen werden histologisch folgende Epidermisschichten unterschieden (○ Abb. 1.4):

Basalzellschicht (Stratum basale): Diese einlagige, sehr wasserreiche Zellschicht grenzt die Epidermis gegen die Lederhaut ab. Jede Basalzelle teilt sich durch Mitose in zwei gleichwertige Tochterzellen, von denen eine in Richtung Körperoberfläche wandert bzw. durch nachfolgende Zellen nach oben gedrückt wird. Die andere Tochterzelle bleibt in der Basalzellschicht und teilt sich erneut. Die Zellteilungsaktivität der Basalzellen wird durch Gewebshormone, sog. Chalone, gesteuert.

Stachelzellschicht (Stratum spinosum): Auf ihrem Weg zur Körperoberfläche verlieren die Zellen Wasser und schrumpfen. Zwischen den Zellen entstehen mit Gewebsflüssigkeit gefüllte Zwischenräume, die in der Stachelzellschicht durch stachelartige Fortsätze überbrückt werden. Es entsteht ein feines Befestigungssystem, das auf Zug oder Druck elastisch nachgeben kann.



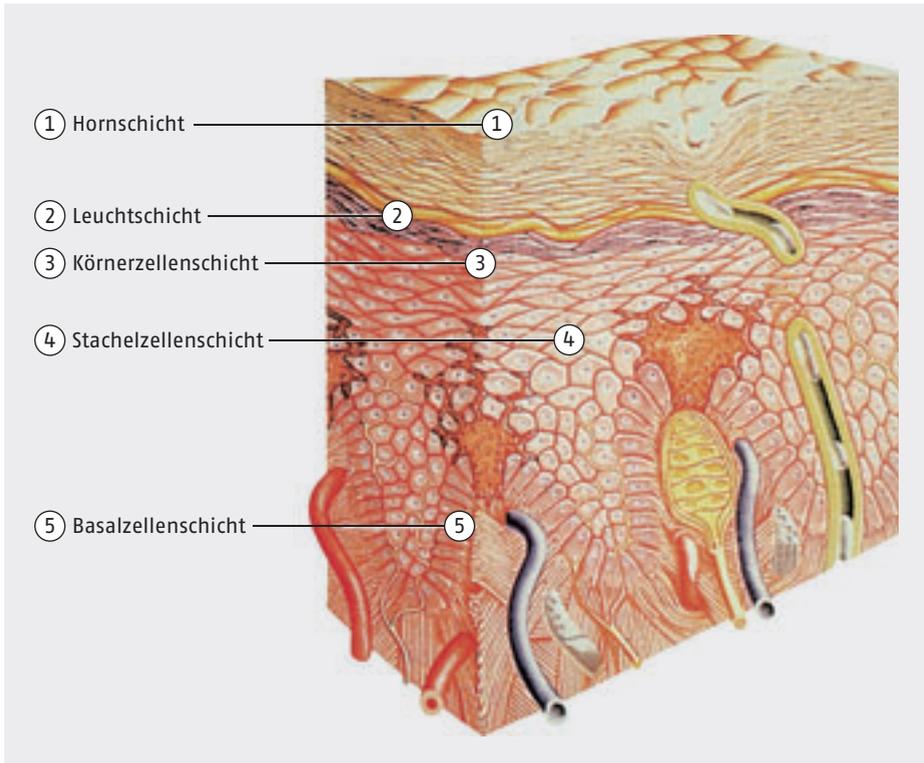
• **Abb. 1.3** Aufbau der Haut (Beiersdorf AG Hamburg)

Basalzellschicht und Stachelzellschicht werden als **Keimschicht (Stratum germinativum)** bezeichnet.

Körnerzellschicht (Stratum granulosum): Die Zellen flachen durch den Druck nach außen ab und beginnen zu verhornen. Vorstufen von **Keratin**, der Hornsubstanz, werden als körnige Einlagerungen sichtbar.

Leucht- oder Glanzschicht (Stratum lucidum): Zellstrukturen sind in der Leuchtschicht kaum noch zu erkennen, ebenso geht der Zusammenhalt der einzelnen Zellen immer mehr verloren. Aus den körnigen Einlagerungen bildet sich eine ölige Substanz, die in der Lage ist, Licht zu reflektieren.

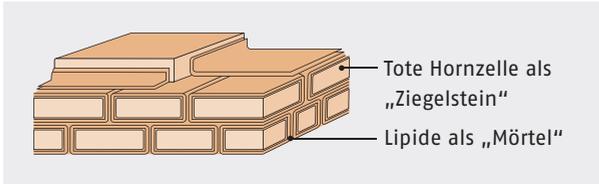
Hornschicht (Stratum corneum): In der äußersten Schicht der Epidermis ist der Verhornungsprozess abgeschlossen. Die Hornsubstanz, das Keratin, ist ein Protein mit einer sehr hohen chemischen Beständigkeit. Im unteren Teil der Hornschicht (**Pars compacta**) sind die flachen Hornschüppchen noch mit den Nachbarzellen verzahnt. Die Interzellularräume sind durch Hornschichtlipide, die sog. Kittsubstanz, verschlossen. Einen guten



○ Abb. 1.4 Schnitt durch die Epidermis (Beiersdorf AG Hamburg)

Vergleich für den Aufbau bietet das Ziegelstein-Mörtel-Modell. Danach kann man sich die toten Hornzellen als Ziegelsteine und die interzellulären Lipide als Mörtel vorstellen (○Abb. 1.5). Die Hornschichtlipide bestehen im Wesentlichen aus vier Bestandteilen. Dies sind Fettsäuren, Triglyceride, Ceramide und Cholesterin. Gemeinsam bilden sie ein lamellares Lipidsystem. In Richtung Körperoberfläche wird diese Kittsubstanz immer brüchiger und die Zellen verlieren den Zusammenhalt (**Pars disjuncta**). Täglich werden einzelne Zellen losgelöst und unbemerkt abgeschilfert. Sichtbare Schuppen entstehen erst bei der krankhaften Abstoßung größerer Zellaggregate, die aus mindestens 500 bis 1 000 Zellen bestehen. Die Hornschicht besitzt eine Dicke von durchschnittlich 0,01 bis 0,03 mm, kann jedoch durch mechanische Beanspruchung sowie UV-Strahlung **Schwielen** bilden und dann wesentlich höhere Werte erreichen.

Die Grenzzone von lebenden Epidermisschichten zu absterbenden Hornzellen nennt man **Reinsche Barriere**. Es handelt sich nicht um eine starre Grenze, sondern um einen dynamischen Bereich. Während vom Hautinneren her immer wieder neue Hautschichten in die Barrierezone eintreten, gelangen verhornte, abgestorbene Zellen hinaus in Richtung Körperoberfläche. Innerhalb der Barriere sind die Zellen am dichtesten gepackt, wobei die Hornschichtlipide die Zellzwischenräume lückenlos auskleiden. Mit pH 4,5 bis 5,5 liegt hier der niedrigste pH-Wert aller Hautschichten vor. Richtung Körperoberfläche ist die Barriere positiv, nach innen negativ aufgeladen. Durch die genannten Eigenschaften ist die Barriere in der Lage, die Penetration und Resorption von Stoffen durch die



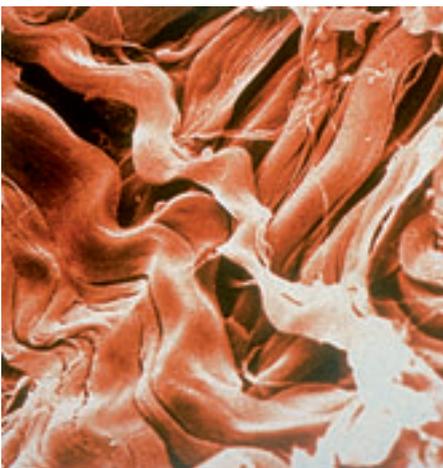
○ **Abb. 1.5** Ziegelstein-Mörtel-Modell

Haut zu begrenzen. Vor allem das Wasserbindevermögen und die Wasserdurchlässigkeit der Haut werden von der Barriere bestimmt. Wird der pH-Wert auf Werte $> 6,0$ oder $< 4,5$ verändert, so lösen sich die geordneten Strukturen der Hornschichtlipide auf und die Barrierefunktion wird gestört.

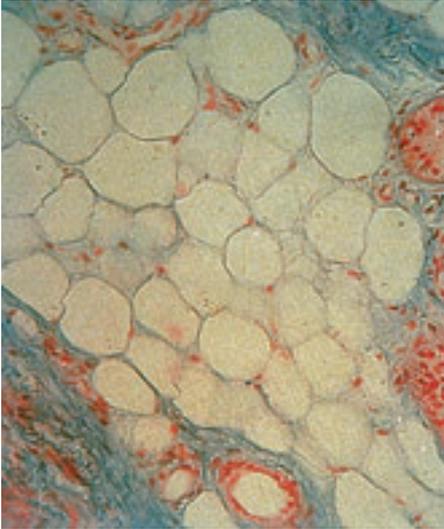
1.3.2 Korium

Die Lederhaut, die nach innen durch die Basalmembran von der Epidermis getrennt wird, besteht überwiegend aus festem Bindegewebe (○ Abb. 1.6). Hauptbestandteil dieses Bindegewebes sind zu etwa 70 % **Kollagenfasern**, dicke, wellig verflochtene Faserbündel, die sich durch hohe Reißfestigkeit auszeichnen. Das Kollagenmolekül ist ein Skleroprotein und besteht aus drei Polypeptidketten, die schraubenförmig miteinander verdreht sind. Zwischen den Kollagenfasern befinden sich elastische Fasern, die nach einer Dehnung schnell wieder ihre ursprüngliche Form einnehmen. Durch Überdehnung reißen sie, eine Nachbildung ist nicht möglich. Die **elastischen Fasern** bestehen zum größten Teil aus dem Skleroprotein **Elastin**. Dazwischen befinden sich zahlreiche Blutgefäße, Lymphgefäße und Nerven. Eine der Hauptaufgaben der Lederhaut ist die Versorgung der gefäßlosen Epidermis mit Nährstoffen. Die Anhangsorgane der Haut, also Haare, Nägel und Drüsen, haben ihren Ursprung in der Lederhaut. Die Lederhaut wird in zwei Schichten gegliedert:

Papillarschicht (Stratum papillare): Die oberste Schicht der Lederhaut lässt im Schnitt eine wellenförmige Trennlinie an der Grenze zur Epidermis erkennen. Durch diese zapfenförmigen **Lederhautpapillen**, die in Vertiefungen der Epidermis ragen, vergrößert sich die Kontaktfläche zwischen Epidermis und Lederhaut. Das ermöglicht zum einen den notwendigen Stoffaustausch, zum anderen erhöht es den Zusammenhalt zwischen



○ **Abb. 1.6** Fasergeflecht der Lederhaut – elektronenmikroskopische Darstellung (Beiersdorf AG Hamburg)



○ **Abb. 1.7** Fettzellen in der Subcutis – lichtmikroskopische Darstellung (Beiersdorf AG Hamburg)

den beiden Hautschichten. Höhe und Anzahl der Lederhautpapillen variieren deutlich. Während an mechanisch beanspruchten Stellen, wie Handinnenflächen und Fußsohlen, sehr hohe Papillen zu finden sind, sind sie beispielsweise an den Augenlidern sehr flach.

Reticular- oder Geflechtsschicht (Stratum reticulare): Zum Körperinneren hin geht die Papillarschicht allmählich in die Reticularschicht über. Der Aufbau der beiden Schichten ist ähnlich, jedoch sind hier die Fasern gröber als im Stratum papillare. Die Zwischenräume enthalten eine Matrix von gelartiger Konsistenz, die durch einen hohen Gehalt an Glukosaminoglykanen, wie z. B. Hyaluronsäure, ein hohes Wasserbindevermögen aufweist.

1.3.3 Subcutis

Die Unterhaut ist ein lockeres, mit Fettgewebe und Fasern durchzogenes Bindegewebe. Das mehr oder weniger reichlich vorhandene Fettgewebe ist in Form von traubenförmig zusammengeschlossenen Fettzellen eingelagert (○Abb. 1.7). Das subcutane Fettgewebe dient vor allem dem Kälteschutz und stellt einen Energiespeicher (Depotfett) dar. Darüber hinaus werden auch darunterliegende Organe vor Stößen geschützt. Die Ausprägung des Unterhautfettgewebes an den verschiedenen Körperstellen hängt nicht nur von Ernährung und Energiebedarf ab, sondern wird auch hormonell gesteuert. So sind die typischen geschlechtsspezifischen Körperformen zu erklären. Durch Übergewicht in der Kindheit wird eine größere Zahl dieser Fettzellen angelegt, wodurch eine Gewichtskontrolle das ganze restliche Leben erschwert wird. Die Fettzellen selbst können nicht mehr abgebaut werden, nur ihr Inhalt kann durch entsprechende Maßnahmen verringert werden. Größere Fettreserven in der Unterhaut erhöhen die Spannung der Haut, weshalb dicke Menschen häufig ein jünger erscheinendes Gesicht haben als schlanke. Vor allem nach strengen Reduktionsdiäten kann der Verlust des Unterhautfettes zur Hauterschlaffung führen.

7 Hautpflege

An die Hautreinigung und gegebenenfalls die Behandlung mit Intensivpflegeprodukten schließt sich die eigentliche Hautpflege an. Sie dient einerseits der Regeneration des durch die Hautreinigung gestörten Hydrolipidfilms und soll andererseits bei Störungen der Haut die Rückführung in den Normalzustand gewährleisten. Durch geeignete Wirkstoffe und Grundlagen müssen Defizite ausgeglichen werden. Bei normaler Haut wird die Erhaltung dieses Idealzustands erwartet. Nicht zuletzt wird von einer guten Hautpflege auch Schutz vor Umwelteinflüssen gefordert.

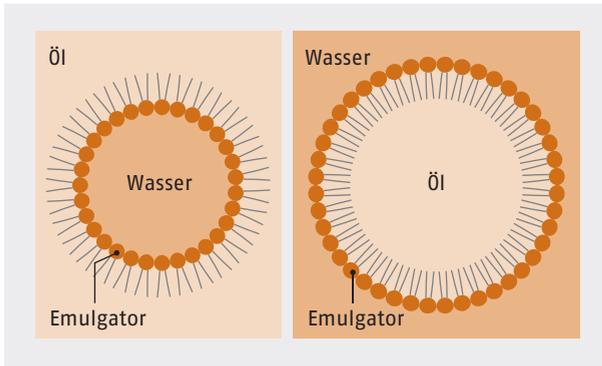
Tagescremes unterstützen die Haut bei der Erneuerung des Hydrolipidfilms, speichern Feuchtigkeit und halten den pH-Wert in Balance. Antioxidanzien (►Kap. 7.7.2), die vor freien Radikalen schützen, sollten in einer Tagespflege nicht fehlen. Viele Tagescremes enthalten UV-Filter. Diese, wegen ihrer fehlenden Tauglichkeit beim Sonnenbaden auch als „Non-Beach-Products“ bezeichneten Zubereitungen, liegen mit ihrem Lichtschutzfaktor (►Kap. 12.9) üblicherweise im Bereich von 4 bis 8. Mittlerweile gibt es aber auch Produkte mit höherem Faktor. Bei der permanenten Verwendung von Pflegeprodukten mit UV-Filtern ist zu beachten, dass die körpereigenen Adaptionsmechanismen an die Sonneneinstrahlung unterdrückt werden und die Haut ständig mit potenziell allergieauslösenden Substanzen belastet wird. Andererseits ist die Sonne der größte Feind der Haut, sodass ein konsequenter UV-Schutz eine der wichtigsten Anti-Aging-Maßnahmen darstellt. In der Nacht ist der Stoffwechsel der Haut auf Regeneration eingestellt. Die Durchblutung ist angeregt und die Zellen teilen sich schneller als bei Tage. Auch die Hauttemperatur ist erhöht. Wirkstoffe können in der Nacht besonders gut aufgenommen werden. Besonders die Hormonrezeptoren sind nachts empfänglicher. Darum enthalten ausgesprochene Nachtcremes häufig mehr Wirkstoffe als Tagescremes. Meist sind sie auch reichhaltiger im Sinne von fetthaltiger. Eine gute Nachtpflege sollte jedoch genauso an den Hautzustand angepasst sein wie die Tagespflege. Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass Tagescremes der Pflege und dem Schutz dienen, während Nachtcremes zu Regeneration und Stärkung verwendet werden.

7.1 Darreichungsformen der Hautpflegeprodukte

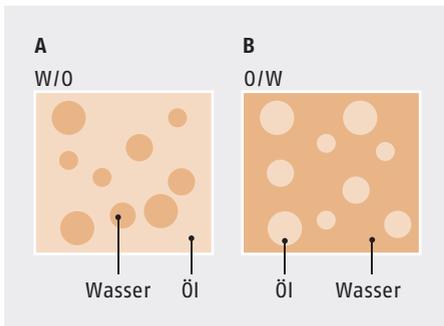
7.1.1 Emulsionen

Hautpflegeprodukte werden meist in Form von Emulsionen angeboten. Emulsionen für die Gesichtspflege sind halbfest, von streichfähiger Konsistenz und werden als Cremes bezeichnet. Für die Anwendung am übrigen Körper werden wegen der besseren Verteilbarkeit flüssige Emulsionen benutzt, die auch Lotionen genannt werden. Emulsionen sind zwei- oder mehrphasige Systeme, die aus zwei nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten bestehen. Die eine Flüssigkeit hat stets hydrophilen Charakter und ist meist Wasser oder eine wässrige Lösung. Die andere Flüssigkeit ist lipophil. Es kann ein Öl natürlicher oder synthetischer Herkunft oder eine andere organische Flüssigkeit sein. Die hydrophile Phase wird immer mit „W“, die lipophile immer mit „O“ bezeichnet.

Durch Zugabe geeigneter Emulgatoren wird die Grenzflächenspannung, die für die fehlende Mischbarkeit verantwortlich ist, erheblich verringert. Der hydrophile Anteil des Emulgators löst sich in der wässrigen Phase, der lipophile Teil in der öligen Phase. Emulgatoren reichern sich in dieser Ausrichtung an den Grenzflächen an und verbinden die ansonsten nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten (◉ Abb. 7.1). Es entsteht eine Emulsion, bei der die eine Flüssigkeit die zusammenhängende äußere Phase bildet, in der die andere in Form kleiner Kügelchen verteilt ist. Einfache Emulsionssysteme bestehen aus zwei Phasen und werden je nach Phasenverteilung als O/W- oder W/O-Emulsionen bezeichnet (◉ Abb. 7.2). In einem Produkt enthaltene Wirkstoffe können je nach Löslichkeit in der Wasser- oder in der Ölphase gelöst sein. O/W-Emulsionen lassen sich leicht verteilen, ziehen schnell ein und hinterlassen keinen Fettfilm.



◉ Abb. 7.1 Ausbildung eines Emulgatorfilms (Voigt 2010)



◉ Abb. 7.2 A W/O-Emulsion, B O/W-Emulsion

Durch die Verdunstung der Wasserphase kann ein kurzfristiger Kühleffekt erzielt werden. Dieser Emulsionstyp eignet sich für normale und fette Haut. W/O-Emulsionen werden vor allem bei trockenen Hautzuständen empfohlen. Sie ziehen weniger schnell ein und hinterlassen einen Fettfilm auf der Haut, der den transepidermalen Wasserverlust reduziert. Aufgrund des schützenden Fettfilms wird eine Emulsion vom Typ W/O häufig als gehaltvoller empfunden, auch wenn der absolute Fettgehalt durchaus geringer sein kann als in einer O/W-Emulsion.

Neben diesen einfachen Emulsionen werden von einigen Herstellern auch sog. multiple Emulsionen angeboten (Abb. 7.3). Charakteristisch für diese Systeme ist, dass die Tröpfchen der inneren Phase ihrerseits noch kleinere Tröpfchen enthalten, die aus äußerer Phase bestehen. Man bezeichnet diese Systeme je nach Phasenverteilung als W/O/W- oder O/W/O-Emulsionen. Trägt man eine W/O/W-Emulsion auf die Haut auf, so wird zunächst das Wasser der äußeren Phase an die Hornschicht abgegeben. Dieser Effekt entspricht dem einer feuchtigkeitsspendenden O/W-Emulsion. Durch Entzug der äußeren Phase vereinen sich die Öltröpfchen und bilden einen Schutzfilm auf der Haut, wie man ihn von einer W/O-Emulsion erwarten würde. Die in der Fettphase eingeschlossenen Wassertröpfchen stellen ein Feuchtigkeitsdepot dar und können die Haut über längere Zeit mit Feuchtigkeit versorgen.

7.1.2 Nanoemulsionen

Liegt die Tröpfchengröße einer Emulsion bei einem Durchmesser von 50 bis 1 000 nm, so spricht man von einer Nanoemulsion. Sie enthält in aller Regel einen Ölgehalt von 10 bis 20 %. Im pharmazeutischen Bereich werden solche Systeme schon seit langem zur parenteralen Ernährung eingesetzt. Die Tröpfchen oder Partikel weisen einen flüssigen lipophilen Kern auf, der nach außen zur wässrigen Phase eine Monoschicht eines Phospholipids besitzt. Sie unterscheiden sich damit deutlich von Liposomen (Kap. 7.3), bei denen ein hydrophiler Innenraum von einer Phospholipid-Doppelmembran begrenzt wird. Auch mit Lipid-Nanopartikeln (Kap. 7.3) sind sie nicht gleichzusetzen, denn diese besitzen im Innern eine Matrix aus festen Lipiden.

Nanoemulsionen eignen sich hervorragend zum Transport lipophiler Wirkstoffe. Ähnlich den Liposomen unterstützen sie die Penetration von kosmetischen Wirkstoffen und können so zur Erhöhung ihrer Konzentration in der Haut beitragen. Sie sind aber auch wegen ihrer kosmetischen Eigenwirkung von Bedeutung. Durch das Einschleusen geeigneter Lipide in die Haut können sie den transepidermalen Wasserverlust vermindern und die Barrierefunktion der Haut stärken. Günstig ist außerdem ihre große physi-

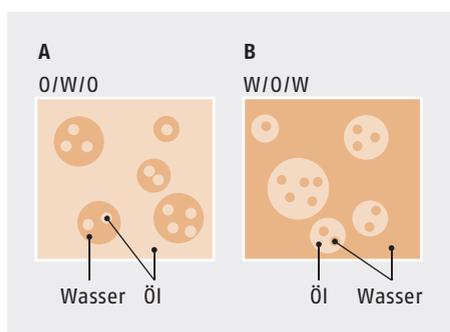


Abb. 7.3 Multiple Emulsionen (Voigt 2010)

kalische Stabilität, die es ermöglicht, dünnflüssige Zubereitungen zum Sprühen herzustellen, die keine Phasentrennung zeigen.

7.1.3 Gele

Einige Hautpflegeprodukte stellen aus technologischer Sicht Gele dar. Gele besitzen ein zusammenhängendes dreidimensionales Gelgerüst, das von einer Feststoffphase gebildet wird. In diesem Gelgerüst ist eine ebenfalls kohärente, also zusammenhängende flüssige (Lyogele) oder gasförmige (Xerogele) Phase verteilt, wobei in der Kosmetik nur Lyogele von Bedeutung sind. Die einzelnen Moleküle der gerüstbildenden Phase werden durch Wasserstoffbrückenbindungen oder Van der Waals'sche Kräfte zusammengehalten. Bei Temperaturerhöhung verflüssigen sich Gele durch den Übergang in ein Sol mit einer inkohärenten festen Phase, durch Abkühlen bildet sich der Gelzustand wieder aus. Aufgrund ihrer plastischen Verformbarkeit und guten Streichfähigkeit eignen sie sich für die Herstellung von Hautpflegeprodukten sowie Arzneimitteln für die kutane Applikation.

Nach der Art der flüssigen Phase unterscheidet man Hydrogele, Kohlenwasserstoffgele und Lipogele. Hydrogele enthalten als flüssige Phase Wasser oder wässrige Lösungen. Das Gelgerüst wird durch sog. Hydrogelbildner aufgebaut. Die Aufnahme des Wassers in die Gelstruktur erfolgt durch Quellung. Zum Schutz vor Verdunstung des Wassers enthalten Hydrogele stets Feuchthaltefaktoren. Zum Schutz vor mikrobiellem Befall müssen sie konserviert werden. Da sie ganz ohne Fett auskommen, werden sie für trockene Hautzustände nicht empfohlen. Vereinzelt finden auch Oleogele als kosmetische Zubereitungen Verwendung. Ihre gerüstbildende Phase wird durch feste Triglyceride gebildet, darin verteilt sind flüssige Triglyceride.

7.1.4 Lamellare Cremegrundlagen

Seit einiger Zeit beobachtet man, dass Tenside die Barrierefunktion der Haut stören. Dies betrifft weniger Tenside aus Hautreinigungsmitteln, sondern in erster Linie Emulgatoren aus Hautpflegemitteln, da sie lange auf der Haut verweilen und daher tiefer eindringen und sich anreichern können. Alle Mizellen bildenden Emulgatoren sind prinzipiell in der Lage, die lamellare Anordnung der Membranlipide aufzulösen und die Lipide beim nachfolgenden Waschen auszuschwemmen. Besonders in die Kritik geraten sind in diesem Zusammenhang die Emulgatoren vom PEG-Typ (► Kap. 7.2.3). Derartige Störungen der Barriere können ursächlich an der Entstehung der trockenen Haut und daraus resultie-



○ **Abb. 7.4** Verschiedene Strukturen im elektronenmikroskopischen Vergleich (Dermotopics Nr. 1 2001)

render Dermatosen beteiligt sein. Dies kann ein Grund sein, weshalb die Zahl der Personen mit trockener und empfindlicher Haut stetig zunimmt und herkömmliche Cremes von vielen nicht mehr vertragen werden.

Diese Erkenntnis hat zur Suche nach neuen biokompatiblen Emulsionssystemen geführt, die die Hautlipide nicht mizellieren. In strukturell mit den Membranlipiden verwandten Substanzen (►Kap.7.2.3) hat man eine Alternative zu den herkömmlichen Emulgatoren gefunden, die nicht nur die Cremegrundlage stabilisiert, sondern darüber hinaus die Barrierefunktion der Haut verbessert und so zur Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts und zur Glättung der Haut beiträgt. Bei den zurzeit eingesetzten Systemen ist der Übergang zwischen Lipid und Emulgator fließend. Durch spezielle, aufwändige Emulgiervorgänge ist es möglich von den herkömmlichen mizellierten Emulsionskügelchen wegzukommen und flüssigkristalline Strukturen mit lamellarer Ausrichtung der Lipidphase herzustellen. Diese Emulsionssysteme ähneln stark der Struktur der Hautlipide. Untersuchungen zeigen, dass gerade bei trockener Haut die geschädigte Hornschicht wieder restrukturiert und die Barrierefunktion gestärkt wird. ◉Abb.7.4 verdeutlicht die Ähnlichkeit der auch als DMS-Creme (Derma Membran Struktur) bezeichneten Struktur mit den Hautlipiden.

7.2 Hilfsstoffe in Hautpflegeprodukten

7.2.1 Wasser

Einer der Hauptbestandteile von Emulsionen und Gelen ist Wasser. Üblicherweise wird gereinigtes, also demineralisiertes Wasser verwendet, das aus Trinkwasser hergestellt wird. Es wird keimfrei verarbeitet. Einige Kosmetikerhersteller bedienen sich heilkräftiger Thermalquellen, um ihr Wasser zu gewinnen. Manche dieser Quellen werden schon seit Jahrhunderten zur Heilung unterschiedlicher Leiden aufgesucht. Das Thermalwasser soll den Stoffwechsel der Haut anregen, ihre Widerstandskraft stärken und gereizte Haut beruhigen. Einige Thermalquellen besitzen einen besonders hohen Gehalt an Mineralien z. B. an Selen, das einen Schutz vor freien Radikalen bieten soll.

7.2.2 Lipidkomponenten

Öle und Fette: Als Lipidkomponente können u. a. folgende pflanzliche Öle und Fette verwendet werden:

- Aprikosenkernöl (INCI: Prunus Armeniaca Kernel Oil),
- Arganöl (INCI: Argania Spinosa Oil)
- Avocadoöl (INCI: Persea Gratissima Oil),
- Erdnussöl (INCI: Arachis Hypogaea Oil),
- Kokosnussöl (INCI: Cocos Nucifera Oil),
- Macadamiaöl (INCI: Macadamia Ternifolia Oil),
- Mandelöl (INCI: Prunus Amygdalus Oil),
- Olivenöl (INCI: Olea Europaea Oil),
- Safloröl aus der Färberdistel (INCI: Carthamus Tinctorius Oil),
- Weizenkeimöl (INCI: Triticum Vulgare Germ Oil),
- Sheabutter (INCI: Butyrospermum Parkii Butter) oder
- Shoreabutter (INCI: Shorea Stenoptera Butter).

Pflanzliche Fette und Öle bestehen hauptsächlich aus Triglyceriden, also aus Estern des dreiwertigen Alkohols Glycerin mit höheren gesättigten und ungesättigten Fettsäuren. Arganöl gilt als das teuerste Öl der Welt. Der Arganbaum wächst ausschließlich im Süden Marokkos und wurde von der UNESCO zum Weltnaturerbe erklärt. Die Früchte werden von Hand geerntet und weiterverarbeitet. Das nussig riechende und schmeckende Öl kann außer für Kosmetika auch in der Küche verwendet werden. Es ist reich an ungesättigten Fettsäuren, insbesondere Linolsäure, und Vitamin E. Macadamiaöl stammt aus den Nüssen des in Australien beheimateten Macadamiabaumes. Es hat ebenfalls einen hohen Gehalt an ungesättigten Fettsäuren und zeigt ein gutes Spreitvermögen, kann sich also leicht von alleine auf der Haut ausbreiten und in die Haut einziehen. Sheabutter wird aus den Nüssen des Sheabutterbaumes hergestellt. Man bezeichnet es auch als Karité-Fett. Shoreabutter wird aus den Fruchtkernen des in Borneo heimischen Shoreabaumes gewonnen. Teilweise werden die Öle gehärtet, wobei Doppelbindungen durch die Addition von Wasserstoff in die weniger oxidationsempfindlichen Einfachbindungen überführt werden. So wird beispielsweise hydriertes Rizinusöl (INCI: Hydrogenated Castor Oil) nicht ranzig und weist noch dazu günstigere kosmetische Eigenschaften auf als das unveränderte Rizinusöl. Da die menschlichen Hautoberflächenlipide zum größten Teil aus gesättigten Fettsäuren bestehen, sollten Pflegecremes nicht zu viele ungesättigte Fettsäuren enthalten, um den Aufbau des Hydrolipidfilms nicht zu stören. Auch chemisch definierte Triglyceride, wie Capryl-/Caprinsäuretriglycerid (INCI: Caprylic-/Capric Triglyceride), ein pflegendes Neutralöl aus den Fettsäuren der Kokosnuss, finden häufig als Lipidkomponente Verwendung.

Wachse: Weitere Grundlagen für Hautcremes sind Wachse. Chemisch sind Wachse Ester höherer einwertiger Alkohole mit höheren, meist gesättigten Fettsäuren. Durch die in natürlichen Wachsen vorkommenden freien Fettsäuren und freien Alkohole haben sie emulgierende Eigenschaften. Wollwachs (INCI: Lanolin) wird aus dem Wollschweiß, einer Hautabsonderung des Schafes, gewonnen. Chemisch besteht es zum überwiegenden Teil aus festen Wachsestern, die aus Stearinen oder Cholesterol als Alkoholkomponente aufgebaut sind. Daneben sind freie Fettsäuren und Alkohole sowie Kohlenwasserstoffe enthalten. In seiner Zusammensetzung ähnelt es den Lipidstrukturen der menschlichen Haut, weshalb es so gut verträglich ist. Ein flüssiger Wachsester ist das Jojobaöl (INCI: Simmondsia Chinensis Oil). Es ist gut verträglich, zeigt ein hohes Spreitvermögen und zieht gut ein. Trotz der ungesättigten Fettalkohole und Fettsäuren, aus denen es besteht, ist es chemisch relativ stabil. Gebleichtes Bienenwachs (INCI: Cera Alba) wird wegen seiner Härte anderen Lipiden zur Konsistenzhöhung zugesetzt. Isopropylmyristat (INCI: Isopropyl Myristate) wird häufig als Lipidkomponente eingesetzt. Es verbessert die Spreitfähigkeit der gesamten Zubereitung. Die Substanzen Isopropylpalmitat (INCI: Isopropyl Palmitate) und Isopropylstearat (INCI: Isopropyl Stearate) verhalten sich ähnlich und werden in gleicher Weise eingesetzt. Decyloleat (INCI: Decyl Oleate), wie auch die anderen Ester, macht die Haut geschmeidig.

Gesättigte Kohlenwasserstoffe: Hierzu zählen die aus Erdöl gewonnenen Produkte Paraffinöl (INCI: Paraffinum Liquidum), Hartparaffin (INCI: Paraffin) und Vaseline (INCI: Petrolatum) sowie hydriertes Polyisobuten (INCI: Hydrogenated Polyisobutene). Die Verwendung dieser Substanzen ist nicht unumstritten, da man ihnen nachsagt, dass sie durch Abdecken der Haut und Verstopfen der Poren die natürliche Wasserdampfabgabe behindern, was zu Hautschäden führen kann. Wenn jedoch die Zubereitung ein gutes

Spreitvermögen zeigt, was man beispielsweise durch Zugabe hoher Konzentrationen der Wachsester oder verschiedener Emulgatoren erreichen kann, und nicht mehr als 10 % der gesättigten Kohlenwasserstoffe enthalten sind, wird ihr Einsatz akzeptiert. Lediglich in Produkten für alternde Haut sollten gesättigte Kohlenwasserstoffe sparsam oder gar nicht eingesetzt werden, da sie durch Abdecken der Haut ein unerwünschtes Signal an die Basalschicht senden, wodurch die ohnehin verminderte Regeneration der Epidermis zusätzlich verlangsamt wird. Vorteilhaft ist die chemische Stabilität der gesättigten Kohlenwasserstoffe. Außerdem schützen sie die Haut wirksam vor Austrocknung und anderen Einflüssen. Sie finden in zahlreichen Kosmetika Verwendung, darunter auch in Hautschutzsalben und wasserfesten Sonnenschutzmitteln. Ein gut spreitender gesättigter Kohlenwasserstoff ist Squalan (INCI: Squalane), das aus Squalen, einem Bestandteil des Haifischleberöls, gewonnen wird. Die Mineralwachs Ozokerit (INCI: Ozokerite) und Ceresin (INCI: Ceresin) werden ebenfalls zu den gesättigten Kohlenwasserstoffen gezählt.

Siliconöle: Weitere verbreitete Lipidkomponenten sind die Siliconöle. Es sind hochmolekulare Siliciumverbindungen, die auch wegen ihrer entschäumenden Wirkung bei der Herstellung von O/W-Emulsionen verwendet werden. Substanzen wie Dimethylpolysiloxan (INCI: Dimethicone) oder Phenylmethylpolysiloxan (INCI: Phenyl Trimethicone) sind wasserabweisend und verfügen über ein gutes Spreitvermögen. Außerdem vermitteln sie ein angenehmes Hautgefühl. Sie überziehen die Haut mit einem wasserfesten Film, ohne die Wasserdampfabgabe zu beeinträchtigen. Man verwendet sie daher häufig zur Herstellung wasserfester Sonnenschutzprodukte. Durch Strukturabwandlungen kann man ihre Öl- bzw. Wasserlöslichkeit verbessern.

7.2.3 Emulgatoren

Wenn Lipide mit Wasser gemischt werden sollen, ist die Anwesenheit eines Emulgators notwendig, um die beiden Phasen in einer Emulsion stabil zu halten. Teilweise haben die Lipidkomponenten selbst oberflächenaktive Eigenschaften und können eine Emulsion zumindest stabilisieren, meist ist jedoch der Zusatz eines oder mehrerer Emulgatoren unumgänglich.

Anionenaktive Emulgatoren: In kosmetischen Produkten findet man beispielsweise Natriumcetylstearylsulfat (INCI: Sodium Cetearyl Sulfate) und Aluminiumstearat (INCI: Aluminium Stearate) als anionische Emulgatoren.

Kationenaktive Emulgatoren: Hier ist im Gegensatz zu den anionenaktiven Emulgatoren das Kation verantwortlich für die Emulgatorwirkung. In Kosmetika werden sie selten als Emulgatoren eingesetzt. Da sie jedoch auch haarkonditionierende (► Kap. 15.1) und keimabtötende Wirkungen besitzen, werden sie teilweise als Konditionierer in Haarbehandlungsmitteln oder als konservierende Zusätze verarbeitet.

Amphotere Emulgatoren: Zu der Gruppe der amphoteren, also zwitterionischen Emulgatoren zählen die Phospholipide mit ihrem wichtigsten Vertreter Lecithin (INCI: Lecithin). Als Membranbestandteile sind Phospholipide hautverwandt und gut verträglich. Man kann mit ihnen sowohl O/W- als auch W/O-Systeme herstellen, die anteilmäßig größere Komponente bildet jeweils die äußere Phase. Allerdings liegt die zerteilte Phase nicht wie in einer klassischen Emulsion kugelförmig vor. Die Phospholipide besitzen eine lamellare Struktur und durchziehen die äußere Phase gelartig. In diese Struktur wird die

innere Phase ein emulgiert. Durch eine entsprechende Herstellungstechnologie kann man daraus flüssigkristalline Strukturen herstellen, die die Hautlipide imitieren (► Kap. 7.1.4).

Eine neuere Substanzgruppe sind die **Lipoproteine**. Sie werden aus den Samen verschiedener Pflanzen gewonnen und besitzen emulgierende und emulsionsstabilisierende, d. h. viskositäts erhöhende Eigenschaften. Den Einsatz von zusätzlichen konventionellen Emulgatoren machen sie überflüssig. Durch ihre Aminosäurestruktur sind sie amphoter und im schwach sauren Milieu einer Creme positiv geladen. Die Stabilisierung von emulgierten Öltröpfchen geschieht nicht durch Mizellierung, sondern durch gleichsinnige Aufladung und damit Abstoßung der Tröpfchen. Wird die Creme auf die Haut aufgetragen, so reagieren die Proteinanteile mit Calciumionen der Haut, die Ladung wird aufgehoben und die Emulsion bricht. Sie kann jetzt die Haut mit einem dünnen Film überziehen und einziehen. Die auch als LPC-Cremes bezeichneten Zubereitungen sind stabil und wirken bereits ohne weitere Wirkstoffe aktiv auf die Haut. Das Resultat ist eine verbesserte Elastizität und Glättung der Hautoberfläche.

Nichtionogene Emulgatoren: Diese Substanzen sind im Gegensatz zu den anderen Emulgatoren relativ wenig durch Elektrolyte und andere chemische Substanzen beeinflussbar. Da sie außerdem in wässriger Lösung neutral reagieren, gewinnen sie immer mehr an Bedeutung. Für die Herstellung kosmetischer Zubereitungen werden häufig isolierte Fettalkohole wie Cetylalkohol (INCI: Cetyl Alcohol) und Stearylalkohol (INCI: Stearyl Alcohol) oder ein Gemisch beider, Cetylstearylalkohol (INCI: Cetearyl Alcohol), und Sterole wie Cholesterol (INCI: Cholesterol) eingesetzt. Sie sind grenzflächenaktiv, haben aber nur eine geringe Tensidwirkung. Man kann mit ihnen W/O-Emulsionen stabilisieren. Sie sind außerdem sehr hautfreundlich und halten die Haut geschmeidig.

Eine relativ gute Emulgatorwirkung haben die Partialfettsäureester des Glycerols. Zur Herstellung von Hautpflegeprodukten werden häufig verwendet:

- Glycerolmonostearat bzw. Stearinsäuremonoglycerid (INCI: Glyceryl Stearate),
- Isostearinsäuremonoglycerid (INCI: Glyceryl Isostearate),
- Laurinsäuremonoglycerid (INCI: Glyceryl Laurate),
- Linolsäuremonoglycerid (INCI: Glyceryl Linoleate),
- Linolensäuremonoglycerid (INCI: Glyceryl Linolenate),
- Ölsäuremonoglycerid (INCI: Glyceryl Oleate).

Sie halten wie Fettalkohole die Haut geschmeidig. Ähnliche Eigenschaften zeigen die Polyglycerylverbindungen, wie:

- Triglyceryldiisostearat (INCI: Polyglyceryl-3 Diisostearate),
- Triglyceryldioleat (INCI: Polyglyceryl-3 Dioleate),
- Triglycerylmonooleat (INCI: Polyglyceryl-3 Oleate),
- Tetraglycerylmonoisostearat (INCI: Polyglyceryl-4 Isostearate).

Die Partialfettsäureester des Sorbitans, also des ringgeschlossenen Ethers des mehrwertigen Alkohols Sorbitol, wie:

- Sorbitanmonoisostearat (INCI: Sorbitan Isostearate),
- Sorbitanmonooleat (INCI: Sorbitan Oleate),

12 Sonnenkosmetik

In der heutigen Zeit steht die gebräunte Haut als Statussymbol noch immer hoch im Kurs. Es ist für viele Menschen erstrebenswert, durch gebräunte Haut den Eindruck von Sportlichkeit, Gesundheit und Fitness zu erwecken. Sogar die Qualität einer Urlaubsreise wird nicht selten am Grad der Bräune gemessen. Aber Bräune um jeden Preis birgt bedrohliche, manchmal sogar lebensbedrohliche Risiken. Dabei hat ein Aufenthalt in der Sonne auch positive Seiten. Ein maßvolles Sonnenbad kann das Wohlbefinden steigern und die Stimmung aufhellen. Auch einige Stoffwechselreaktionen werden durch Sonnenstrahlen erst in Gang gesetzt. So wird Calciferol, das Vitamin D, erst bei UVB-Bestrahlung in der Haut gebildet. Allerdings ist hierfür eine UV-Dosis ausreichend, der ein Mensch in normaler Bekleidung ausgesetzt ist. Manche Hautkrankheiten bessern sich spontan bei Einwirkung von Sonne, und die Talgdrüsen von fett-feuchter, unreiner Haut normalisieren meist ihre Sekretion.

Aber kaum ein Mensch weiß, wie viel Sonne tatsächlich gut für seinen Körper ist. Wer weiß schon, dass bereits vor dem Auftreten eines Sonnenbrandes die Strahlendosis für mögliche Spätschäden erreicht ist? Oder dass ein starker Sonnenbrand in Bezug auf chronische Hautschäden weniger gefährlich ist als mehrere leichte Sonnenbrände? Will man sich ohne Angst vor Folgeschäden in der Sonne aufhalten, ist der Einsatz von Sonnenschutzmitteln, die dem Pigmentierungstyp und der Strahlenintensität angepasst sind, die beste Lösung. Richtig angewendet, ist damit eine „schonende Bräune“ zu erreichen.

12.1 Elektromagnetisches Spektrum der Sonne

Von der Sonne trifft ständig Energie in Form von Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen auf die Erde. Je kürzer die Wellenlänge, umso höher ist der Energiegehalt der Strahlung. Die Strahlung aus dem Sonnenspektrum kann in langwellige Infrarotstrahlung, sichtbares Licht und kurzwellige ultraviolette Strahlung, UV-Strahlung, unterteilt werden. Die Infrarotstrahlung mit einer Wellenlänge von 780 bis 5000 nm ist für die Wärme, die von der Sonne ausgeht, verantwortlich. Das sichtbare Licht hat eine Wellenlänge von 400 bis 780 nm. Die sich direkt daran anschließende Strahlung mit 320 bis 400 nm wird als UVA bezeichnet, wobei hier noch einmal in UVA₁ mit einer Wellenlänge von 340 bis 400 nm und UVA₂ mit einer Wellenlänge von 320 bis 340 nm unterteilt wird.

Diese Unterteilung erwies sich als sinnvoll, als man erkannte, dass bei Wellenlängen unterhalb 340 nm andere biologische Wirkungen eintreten als darüber.

Mit einer Wellenlänge von 280 bis 320 nm schließt sich daran die UVB-Strahlung an. Strahlen mit einer Wellenlänge von 100 bis 280 nm werden als UVC-Strahlen bezeichnet (Abb. 12.1).

Glücklicherweise dringt nicht die ganze von der Sonne emittierte Strahlung zu uns auf die Erde. Die auf der Erde auftreffende UV-Strahlung besteht zu etwa 95 % aus UVA und zu 5 % aus UVB. Durch Adsorption und Streuung an den Gasen der Erdatmosphäre und durch Bewölkung und Luftverschmutzung wird ein großer Teil vor allem der energiereicheren Strahlung zurückgehalten. Im mitteleuropäischen Raum treffen keine Strahlen mit Wellenlängen unterhalb 295 nm auf die Erde. UVC-Strahlen werden von der Ozonschicht vollständig zurückgehalten. Wenn sich das „Ozonloch“ jedoch weiter so rasant vergrößert, ist irgendwann mit verheerenden Schäden durch UVC-Strahlen zu rechnen.

In welchem Verhältnis die einzelnen Strahlungen auf der Erde ankommen, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Hier spielen neben dem Stand der Sonne und der Jahreszeit auch der Standort, vor allem der Breitengrad und die geographische Höhe, eine Rolle. Auch die Bewölkung und mögliche Reflexionen durch die Beschaffenheit des Bodens verändern das Ausmaß der einzelnen Strahlenanteile. Steht die Sonne senkrecht am Himmel, also in einem 90°-Winkel, so trifft mehr Strahlung auf die Erde als bei kleineren Winkeln, da der Weg bis auf die Erdoberfläche bei senkrechtem Sonnenstand am kürzesten ist. Diese höchstmögliche Strahlenenergie wird allerdings nur am Äquator erreicht, im mitteleuropäischen Raum beträgt der maximale Einfallswinkel der Sonnenstrahlen etwa 60°. Im Winterhalbjahr verringert sich der Sonnenstand zusätzlich. Im Gebirge ist die Entfernung zwischen Sonne und Erdoberfläche geringer, was die Strahlungsintensität erhöht. Liegt zusätzlich Schnee, kann bis zu 100 % der UV-Strahlung reflektiert werden. Heller Sand reflektiert nur ungefähr 20 %. Selbst Gras reflektiert noch etwa 2,5 %. UVA-Strahlen durchdringen Fensterglas, UVB-Strahlen werden zurückgehalten.

Strahlung, die direkt von der Sonne auf die Erde gesendet wird, nennt man direkte Sonneneinstrahlung. Durch Streuung in der Atmosphäre wird ein Teil abgelenkt und

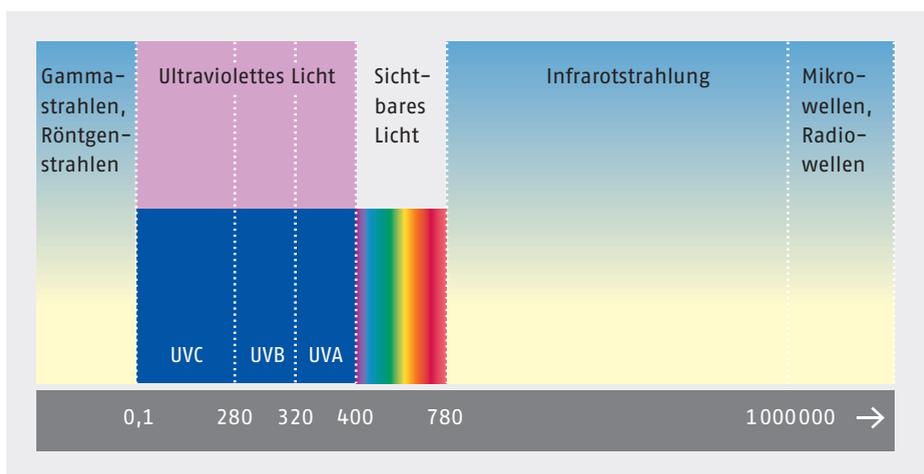


Abb. 12.1 Spektrum der elektromagnetischen Wellen mit Angabe der Wellenlängen in nm (Grafik: Christoph Bühler, Stuttgart)

gelangt dann indirekt auf die Erde. Vor allem bei dunstigem Wetter kann der Anteil an indirekter Strahlung sehr hoch sein. Die Summe beider Strahlungen wird als Globalstrahlung bezeichnet.

12.2 Wirkung der Strahlung in der Haut

Um in der Haut eine Wirkung, ganz gleich ob positiv oder negativ, ausüben zu können, müssen die Strahlen in die Haut eindringen. Die Eindringtiefe (Abb. 12.2) ist abhängig vom Energiegehalt und damit von der Wellenlänge der Strahlung. Aus gutem Grund ist unsere Haut so aufgebaut, dass die energiereiche UVC-Strahlung am wenigsten tief eindringen kann. Sie wird annähernd vollständig von der Hornschicht absorbiert. UVB-Strahlen gelangen zu etwa 10% bis zur Basalschicht der Epidermis, erreichen also auch lebendes Gewebe. Der Rest wird von der Hornschicht aufgenommen. Die UVA-Strahlung mit größerer Wellenlänge, also niedrigerem Energiegehalt, dringt bis in die Lederhaut vor. Für Infrarotstrahlung ist die Haut besonders durchlässig, ihr Energiegehalt ist allerdings gering. Ihre Absorption erzeugt lediglich Wärme, die allerdings andere unerwünschte chemische Reaktionen beschleunigen kann. Eine andauernde Einwirkung von Infrarotstrahlung kann auch ohne Begleitung anderer Strahlen Schäden verursachen.

Werden Strahlen von der Haut absorbiert, dann geht die Energie dieser Strahlen nicht verloren. Sie wird in Form einzelner Portionen, den Lichtquanten, von der Materie aufgenommen. Die Lichtquanten treten in Wechselwirkung mit Molekülen, aus denen die Haut aufgebaut ist. Einzelne Atome aus diesen Molekülen können durch Aufnahme von Ener-

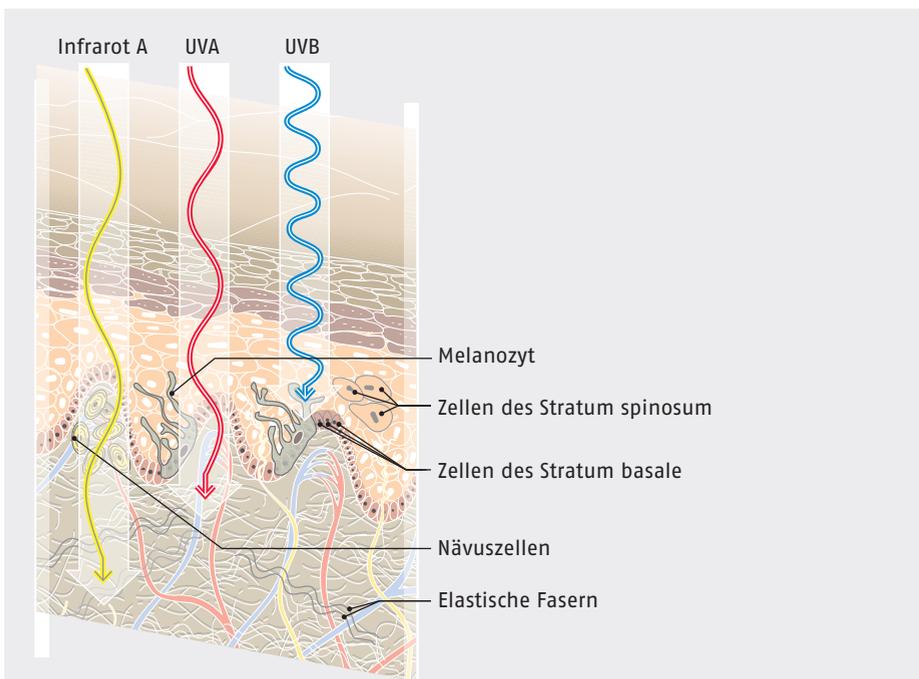


Abb. 12.2 Eindringtiefe der UV-Strahlung (Adler 2012)

gie in einen angeregten Zustand überführt werden. Dabei werden Elektronen aus einem niedrigeren Energieniveau in ein höheres gehoben. Möglich ist dies jedoch nur, wenn der Energiegehalt des eintreffenden Lichtquants exakt mit der Energie, die für die Anhebung des Elektrons nötig ist, übereinstimmt. Das heißt eine Absorption und damit eine Wirkung kann nur dann stattfinden, wenn in dem entsprechenden Gewebe ein geeigneter Reaktionspartner vorhanden ist, der genau diesen Energiegehalt aufnehmen kann.

Der angeregte Zustand ist instabil und wird in den meisten Fällen durch Abgabe der Energie in Form von Wärme wieder beendet. Es kann aber auch zu Reaktionen im Molekül, beispielsweise Spaltungen, Polymerisationen oder Umlagerungen, kommen. Die Energie der Infrarotstrahlen reicht nicht aus, um Elektronen in einen angeregten Zustand zu überführen. Nur die Brownsche Molekularbewegung wird verstärkt, was die erwähnte Wärme erzeugt. Der UVA-Bereich mit seinem höheren Energiegehalt vermag dagegen Elektronen auf ein höheres Energieniveau zu heben. Treffen UVB-Strahlen auf die Haut auf, so sind sie in der Lage, Elektronen ganz von ihrer Umlaufbahn um den Kern zu entfernen. Es entstehen Ionen oder, wenn ein einzelnes, ungepaartes Elektron zurückbleibt, Radikale. Die noch energiereicheren UVC-Strahlen bewirken dies in größerem Umfang mit einer Vielzahl von verschiedenen Molekülen.

Je mehr Strahlung von einer Hautschicht absorbiert wird, umso mehr Energie wird von ihr aufgenommen und umso höher ist die Anzahl der Veränderungen in dieser Schicht. UVC-Strahlung findet seine Reaktionspartner hauptsächlich in der toten Hornschicht, während UVB-Strahlen ihre Wirkung auch in der Basalschicht entfalten. UVA-Strahlen sind aufgrund ihrer Eindringtiefe bis in die Lederhaut für Veränderungen an den elastischen und kollagenen Fasern verantwortlich. Je energiereicher und damit gefährlicher eine Strahlung ist, umso früher wird sie also von der Haut abgefangen. Auf diese Weise sollen mögliche Schäden gering gehalten werden. Allerdings gelingt die Aufnahme der Strahlen in den genannten Zellschichten nicht immer vollständig. Geringe Mengen an Strahlung finden keinen Reaktionspartner. Sie durchdringen die einzelnen Hautschichten, bis sie auf ein Molekül treffen, das genau diese Energiemenge aufnehmen kann. In tiefere, noch lebende Bereiche eingedrungen, kann wiederum die Strahlung mit dem größten Energiegehalt die meisten Schäden anrichten, selbst wenn sehr geringe, nicht mehr messbare Strahlenmengen auftreten.

12.2.1 Wirkungen der Infrarotstrahlung

Für Infrarotstrahlung ist die Haut besonders durchlässig. Die Begründung liegt darin, dass Infrarotstrahlen durch ihren niedrigen Energiegehalt kaum Schäden anrichten können und überwiegend positive Wirkungen entfalten. Das tiefe Eindringen der Infrarotstrahlung bis in die Lederhaut ist für das angenehme Wärmegefühl beim Aufenthalt in der Sonne verantwortlich.

Auch bei der Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) kann man je nach Wellenlänge IRA-, IRB- und IRC-Strahlen unterscheiden. Die IRA-Strahlung kann von den Mitochondrien der Hautzellen absorbiert werden und zu oxidativem Stress in der Zelle führen. Die Folge ist eine Beschleunigung der Hautalterung. Auch das Hautkrebsrisiko steigt, wie man inzwischen weiß. Bei lang anhaltender Bestrahlung mit Infrarot können außerdem durch Überhitzung der Haut und des Gesamtorganismus Schäden auftreten. Die Haut verliert zunächst Feuchtigkeit und trocknet aus. Trifft weiter Infrarotstrahlung auf die Haut, so rötet sie sich. Man spricht vom **kalorischen**, also wärmebedingten **Erythem**. Schlimmstenfalls können Verbrennungen auftreten. Wird die Haut über lange Zeit immer wieder

mit Infrarotstrahlung belastet, so kann dies auch zu chronischen Schäden führen. Diese ähneln sehr den chronischen, durch UVB-Strahlen entstandenen Schäden.

Gehen durch lang andauernde Infraroteinwirkung sehr viel Wasser und Salze mit dem Schweiß verloren, hat das Auswirkungen auf den gesamten Organismus. Das Elektrolytgleichgewicht in der quergestreiften Muskulatur verschiebt sich, was sich in Muskelkrämpfen äußert, die als **Hitzekrämpfe** bezeichnet werden. Kann beispielsweise durch hohe Luftfeuchtigkeit die Schweißbildung nicht zur Abkühlung des Körpers führen, so werden die peripheren Gefäße stark erweitert, um auf diese Weise Wärme abzugeben. Die erweiterten Gefäße fassen große Mengen Blut, das dann für die Versorgung der inneren Organe und des Gehirns fehlt. Es kommt zum **Hitzekollaps**. Die schwerwiegendste Folge der Überhitzung ist der Hitzschlag. Der Hitzschlag tritt ein, wenn keine der Möglichkeiten Wärme abzugeben zum Erfolg führt. Dann kommt es zum Wärmestau mit Körpertemperaturen bis zu 42 °C. Ohnmacht und schlimmstenfalls der Tod sind die Folge.

12.2.2 Wirkungen der UVA-Strahlung

Lange Zeit wurde UVA-Strahlung für ungefährlich gehalten, da sie von den UVB-induzierten Schäden in den Hintergrund gedrängt wurde. Erst durch die Entwicklung von Lampen, die fast reine UVA-Strahlung aussenden, wie sie in Solarien verwendet werden, konnte der Einfluss des isolierten UVA-Anteils untersucht werden. Dabei fand man, dass UVA-Strahlung der wichtigste Auslöser für die sog. **polymorphen Lichtdermatosen** (► Kap. 12.5) ist. Hierzu wird auch die **Mallorca-Akne** gezählt. Neben diesen Akutreaktionen lösen UVA- und UVB-Strahlen gemeinsam die Prozesse aus, die zur **vorzeitigen Hautalterung** führen. UVA-Exposition führt wegen der Penetration der Strahlung in tiefere Hautschichten zu Veränderungen in der Lederhaut. Durch Brüche in den Elastinfasern verliert die Haut an Elastizität, die Schäden an den Kollagenfasern vermindern den Feuchtigkeitsgehalt und damit die Spannung der Haut. Beim Besuch des Solariums sollte man bedenken, dass die künstlichen Strahlenquellen, sofern sie von modernen Geräten stammen, zwar nur UVA-Strahlung emittieren, diese jedoch ein Vielfaches der Intensität des natürlichen UVA des Sonnenlichtes beträgt.

12.2.3 Wirkungen der UVB-Strahlung

UVB-Strahlung ist von allen Strahlenarten, die aus dem Sonnenlicht tatsächlich auf die Erde und damit auf die Haut auftreffen, die energiereichste Strahlung. Das erklärt, weshalb ein Großteil der Schäden UVB-induziert ist, obwohl viel mehr UVA- als UVB-Strahlung auf der Erde ankommt. So ist UVB-Strahlung in der Lage, mit Lipiden in den Membranen zu reagieren und durch Ablösung einzelner Elektronen Radikale zu bilden. Auch Proteine sind geeignete Reaktionspartner. Hier können durch die Ausbildung neuer Bindungen Vernetzungen entstehen oder es werden bestehende Bindungen aufgebrochen. Die folgenschwerste Wirkung der UVB-Strahlen ist ihr Effekt auf die Nukleinsäuren. Bausteine der DNA werden verändert. Falls die Schäden nicht zum Zelltod führen oder durch körpereigene Reparatursysteme behoben werden können, treten Mutationen auf. Dies erklärt das **vorzeitige Altern** der Haut bei UVB-Exposition und das Auftreten von **Präkanzerosen** und **Hautkrebs**. Eine Akutreaktion als Folge von UVB-Strahlung ist der **Sonnenbrand**.

12.3 Akute Lichtschäden

Zu lange andauernde Sonnenexposition kann zu Schäden an verschiedenen Organen führen. Besonders betroffen sind neben der Haut auch die Augen. UVB-Strahlen lösen eine schmerzhafte Entzündung der Hornhaut aus, die erst nach einigen Stunden auftritt, aber meist reversibel ist. Der beste Schutz vor diesem als Fotokeratitis bezeichneten akuten Lichtschaden ist eine Brille mit UV-absorbierenden Gläsern bis 400 nm. Wird der Kopf längere Zeit von der Sonne bestrahlt, so kann dies zum Sonnenstich führen. Vor allem bei Personen mit lichthem Haar dringt die Infrarotstrahlung bis an die Hirnhäute vor. Die Folge sind Kopfschmerzen, Schwindel, Gleichgewichtsprobleme und Fieber. Durch ihre exponierte Lage ist die Haut das Organ, an dem es am häufigsten zu Schäden durch Sonnenstrahlen kommt.

12.3.1 Sonnenbrand

Setzt man sich kurze Zeit ungeschützt der Sonne aus, so sind normalerweise keine akuten Reaktionen zu erwarten. Um einen Sonnenbrand (Strahlenerthem) auszulösen, ist eine bestimmte Schwellendosis an Strahlen notwendig. Diese Strahlenmenge wird als minimale Erythemdosis (MED) bezeichnet. Der Schwellenwert ist von mehreren Faktoren abhängig. Unter anderem wird er vom Pigmentierungstyp (►Kap. 12.7.1), vom schon vorhandenen Bräunungsgrad und von der Dicke der Lichtschwiele (►Kap. 12.7.2) bestimmt. Die MED ist also individuell verschieden und ändert sich für jeden einzelnen Menschen in Abhängigkeit von der Gewöhnung der Haut an die Sonne. Nach welcher Zeit die MED erreicht ist, wie lange man sich also in der Sonne aufhalten kann, ohne mit einem Strahlenerthem rechnen zu müssen, hängt darüber hinaus von der Intensität der Bestrahlung ab. Leider bemerkt man den Sonnenbrand aber erst nach etwa zwei bis vier Stunden.



○ **Abb. 12.3** Sonnenbrand (Beiersdorf AG Hamburg)

Dann ist es für Gegenmaßnahmen zu spät. Ein Sonnenbrand ist also kein Warnsignal, sondern eine bereits vorliegende akute Hautschädigung.

Der Sonnenbrand tritt ausschließlich an den bestrahlten Hautstellen auf. Besonders gefährdet sind die sog. Sonnenterrassen im Gesicht. Die Unterlippe, die Nase und die Haut über dem Jochbein sind bei den meisten Menschen die am stärksten sonnenexponierten Körperstellen. Die sonnenverbrannte Haut ist rot, schmerzt, juckt und fühlt sich heiß an (● Abb. 12.3). In leichten Fällen ist nur eine Rötung zu erkennen, in schwereren Fällen kann es aber auch zu Blasenbildung (● Abb. 12.4) und Ödemen kommen. In jedem Fall werden Zellen zerstört, die einige Tage später als sog. Sonnenbrandzellen (Sunburn-Cells) zusammen mit der durch die Lichtschwiele verdickten Hornschicht abgestoßen werden.

Ausgelöst wird der Sonnenbrand ausschließlich durch UVB-Strahlen. Als Mechanismus für die Entstehung eines Sonnenbrandes wird folgender Zusammenhang diskutiert: Durch UVB-Strahlen entstehen in der Haut freie Radikale, die bekanntlich die Fettsäuren der Membranlipide oxidieren. Im Verlauf dieser Reaktionen wird unter anderem Arachidonsäure freigesetzt, die am Anfang der Prostaglandinsynthese steht. Prostaglandine sind Gewebshormone, die wesentlich an der Entstehung von Entzündungsreaktionen beteiligt sind. Auch der Sonnenbrand stellt eine Entzündungserscheinung dar. UVA-Strahlen sind nicht in der Lage, ein Strahlenerthem auszulösen. Allerdings können sie die akut schädigende Wirkung von UVB-Strahlen steigern. Dieses Phänomen wird als Fotoaugmenta-tion bezeichnet.

Die beim Sonnenbrand entstehenden Prostaglandine sind außerdem in der Lage, die Zellteilungsrate der strahlengeschädigten Zellen zu drosseln. So wird verhindert, dass Zellen mit veränderter DNA ihre fehlerhafte Erbinformation weitergeben. Dies ist vermutlich die eigentliche Aufgabe des Sonnenbrandes. Das Gewebshormon Histamin



● Abb. 12.4 Sonnenbrand mit Blasenbildung (Beiersdorf AG Hamburg)

scheint keine große Rolle bei der Entstehung des Sonnenbrandes zu spielen, weshalb Antihistaminika wenig bis keine Wirkung zeigen. Sinnvoll hingegen ist eine ausreichende Versorgung mit Zink, da der Zinkverbrauch bei Entzündungen erhöht ist.

Lindernde Sofortmaßnahmen sind Kühlung und Befeuchtung mit Kompressen oder O/W-Emulsionen. Die Produkte sollen eher fettarm sein, damit sich die Wärme nicht staut.

12.4 Chronische Lichtschäden

Chronische Lichtschäden treten nach immer wiederkehrender Sonnenbestrahlung auf. Wie bei den akuten Schäden können neben der Haut auch andere Organe betroffen sein. So kennt man an den Augen die durch UVB-Strahlung entstandene Linsentrübung. Typische chronische Lichtschäden der Haut sind die vorzeitige Hautalterung, Präkanzerosen und bösartige Geschwulste. Für die vorzeitige Hautalterung ist keine bestimmte Schwelendosis an UV-Strahlung notwendig. Alle Lichtstrahlen, die im Laufe des Lebens auf die Haut getroffen sind, addieren sich und zeigen ihre Auswirkungen.

12.4.1 Vorzeitige Hautalterung

Das genetisch bedingte Zeitaltern (►Kap. 1.6), das jedes Organ betrifft, kann durch Umwelteinflüsse, allen voran die Bestrahlung durch die Sonne, wesentlich beschleunigt werden. Während UVA₁-Strahlung für eine direkte Schädigung von Zellbestandteilen nicht genügend Energie besitzt, sind UVA₂- und UVB-Strahlen in der Lage, mit Zellbausteinen in Wechselwirkung zu treten. Nur UVB-Strahlung ist in der Lage, die DNA-Moleküle direkt anzuregen. UVA₂-Strahlen schädigen die DNA indirekt über die Bildung freier Radikale aus anderen Molekülen, was man vereinfacht als DNA-Schäden durch oxidativen Stress bezeichnet. UVA₁-Strahlung kann, genau wie Infrarotstrahlung, durch Erwärmung des Gewebes die Austrocknung der Haut beschleunigen.

Vorzeitig gealterte Haut unterscheidet sich äußerlich kaum von zeitgealterter Haut. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass das Alter der betroffenen Person nicht mit dem Aussehen der Haut zusammenpasst. Auch die lichtgealterte Haut weist eine dünnere Epidermis auf, deren Hornschicht unregelmäßige Verhornungen zeigt. Die Oberfläche der Haut ist trocken, faltig und runzlig. Durch die unregelmäßige Pigmentierung und Durchblutung ist die Haut fleckig. In der Lederhaut nimmt die Elastizität durch den Verlust intakter elastischer Fasern ab. Das Kollagen verliert sein Wasserbindevermögen, die Haut wird faltig. An besonders sonnenbelasteten Stellen können daraus tiefe Furchen werden. Für die Vorgänge in der Epidermis werden vor allem die UVB-Strahlen verantwortlich gemacht, da diese hier weitgehend vollständig absorbiert werden, also mit Bausteinen der Epidermis reagieren. Die Schäden in der Lederhaut sind überwiegend UVA₂-induziert, da diese Strahlung zu einem hohen Prozentsatz erst von der Lederhaut aufgenommen wird.

Die Zellkerne der lebenden Hautzellen können Strahlung mit einer Wellenlänge unter 320 nm absorbieren. Strahlung mit dieser Wellenlänge, also UVB-Strahlung, kann beim Auftreffen auf Nukleinsäuren von diesen absorbiert werden. In den meisten Fällen bilden sich dadurch zusätzliche Verknüpfungen der DNA-Doppelhelix durch Dimerisierung von Pyrimidinbasen. Es kann jedoch auch zum Bruch eines DNA-Stranges oder zur Anlagerung anderer Moleküle kommen. In jedem Fall ist die Informationsübertragung gestört.