

Die Feinstruktur des menschlichen Haares

I. Die Haar-Cuticula

C. ORFANOS

Hautklinik der Universität Köln (Direktor: Prof. Dr. med. G. K. STEIGLEDER)

H. RUSKA

Institut für Biophysik und Elektronenmikroskopie der Universität Düsseldorf
(Direktor: Prof. Dr. med. H. RUSKA)

Eingegangen am 8. November 1967

Summary. The normal human hair cuticula consists of 5—10 overlapping cell layers, each 0,35—0,45 μm thick.

The mature cuticular cells are thin scales consisting of compact cuticular keratin. The cuticular keratin contains a frame work of osmiophobic macromolecules embedded and solidified into an osmiophilic material.

Each cuticular cell shows in the electron microscope different keratin layers: The middle one is not fully keratinized and contains some residuals of cytoplasmic material. Two peripheral more dense keratin layers enclose the middle layer.

Between the cell boundaries is a narrow gap (30 nm) filled with a dielectronic cementing material and a central dense intercellular lamella (10—15 nm). The intercellular materials build up a honey-comb-like system enclosing all cuticular cells.

Zusammenfassung. Die *Cuticula* des menschlichen Kopfhaares besteht aus 5—10 Lagen dachziegelförmig übereinander angeordneter 0,35—0,45 μm dicker *Cuticula*-Zellen.

Die reife *Cuticula*-Zelle stellt eine dünne, breite Schuppe aus kompakt verkittem *Cuticula*-Keratin dar. Jede *Cuticula*-Zelle zeigt im Elektronenmikroskop eine hellere, zum Teil unvollständig verhornte bzw. verkittete, offenbar wenig widerstandsfähige mittlere Keratinschicht, die den Hauptanteil der *Cuticula*-Zelle ausmacht und zwei periphere, dichtere Keratin-Schichten, die als Schale die mittlere Schicht umschließen.

Das *Cuticula*-Keratin ist nicht amorph. Es besteht aus osmiophoben Makromolekülfäden, die durch eine osmiophile Kittsubstanz zu einem festen Gefüge verkittet sind. Dieser Aufbau gleicht einer Folientextur. Die zwei Formen des *Cuticula*-Keratins unterscheiden sich wahrscheinlich durch die unterschiedliche Zahl der S—S-Bindungen.

Der Zusammenhalt der *Cuticula*-Zellen untereinander wird durch den besonderen Aufbau der *Cuticula*-Zellränder und durch eine *Intercellular*-Schicht mit einer besonderen *Intercellular-Lamelle* gewährleistet. Sie dient als mechanisch und chemisch widerstandsfähiges Zementmaterial. Durch sie wird ein *wabenartiges Wand-system* aufgebaut, in das jede *Cuticula*-Zelle eingeschlossen ist.

Ziel dieser Arbeit ist die Aufklärung der Feinstruktur des menschlichen Haares anhand einer größeren Zahl von Kopfhaaren verschiedener Farbe, Herkunft und Qualität.

BIRBECK u. MERCER [1] veröffentlichten 1957 die ersten ausführlichen elektronenmikroskopischen Befunde am menschlichen Haar und Haarfollikel. Die Mehrzahl der Autoren beschäftigten sich jedoch mit dem Aufbau und der Struktur des harten Keratins (Haar [7], Wolle [12], Feder [4]). Dabei konnten ROGERS [11], SWANBECK [16], sowie DOBB, JOHNSON u. SIKORSKI [2, 3, 6], mit verbesserten Techniken und Hochauflösungsaufnahmen sowie durch Röntgen-Interferenzmethoden die Struktur des α -Keratins eindrucksvoll darstellen und die Kenntnis mancher seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften erweitern.

Unsere Untersuchungen betreffen normale und veränderte Haare. Darunter befanden sich blonde, schwarze, alternde (weiße) sowie solche Haare, die mehrere Jahre lang mit verschiedenen Cosmetics (Haar-Spray, Haar-Festiger, Bleichmittel, Dauerwelle) vorbehandelt wurden. An den verschiedenen Haarproben ließen sich im Elektronenmikroskop feinstrukturelle Unterschiede nachweisen. Sie werden im folgenden ausführlich besprochen.

In der vorliegenden Arbeit wird der Aufbau der normalen Haar-Cuticula abgehandelt. In zwei weiteren Mitteilungen werden der Haar-Cortex (II.) und das Haarpigment (III.) des normalen menschlichen schwarzen und blonden Haares besprochen. In einem späteren vierten Abschnitt (IV.) werden Strukturveränderungen beschrieben, die an alternden und mit Haar-Cosmetics vorbehandelten Haaren vorkommen.

Material und Methodik

Untersucht wurden 8 Haarproben von 6 gesunden Erwachsenen. Bei allen Probanden (Pb.) bestanden keine Haar- oder Hautkrankheiten. Mit einer Ausnahme (Pb. 2) handelte es sich um Angehörige der europäischen Rassen.

Zum Studium der Feinstruktur des normalen Haares wurden vier dieser Probanden herangezogen, die außer der üblichen Haarwäsche keine Haarcosmetics verwendeten:

Normale, nicht vorbehandelte Haare

1. dunkel pigmentiertes, leicht naturgewelltes Haar eines 56jährigen Mannes.

2. sehr dunkles (schwarzes), gerades Haar eines 43jährigen Mannes (Japaner).

3. mittelblondes, gerades Haar eines 35jährigen Mannes.

4. hellblondes, zartes und leicht gewelltes Temporalhaar einer 25jährigen Frau.

5. mittelblondes, dickes, gerades Parietalhaar einer 25jährigen Frau.

Die alternden sowie die mit verschiedenen Haarpflegemitteln vorbehandelten Haare wurden in einer zweiten Gruppe zusammengefaßt:

Veränderte oder vorbehandelte Haare

6. alterndes, weißes Haar eines 56jährigen Mannes.

7. mittelblondes, dauergewelltes Haar einer etwa 40jährigen Frau, die häufig verschiedene Haarpflegemittel (Haar-Spray, Festiger) benutzt. Makroskopisch zeigte das Haar keine Alterationen.

8. rot-blondes, dauergewelltes Haar einer etwa 50jährigen Frau, die ihre Haare seit mindestens 15 Jahren mit verschiedenen Chemikalien bleicht, gelegentlich auch färbt. Regelmäßiger Gebrauch von Haar-Spray, Haar-Festiger und anderen Haar-Pflegemitteln. Makroskopisch war das Haar trocken und spröde mit deutlichem Elastizitätsverlust.

Sämtliche Haare stammten von der Temporal-, Parietal- oder Occipital-Region des Kopfes. Aus langen Haaren haben wir das mittlere Drittel zur Untersuchung herangezogen.

Zur weiteren Verarbeitung wurde in Anlehnung an die JOHNSON u. SKORSKI (1962) angegebene Methode folgender Arbeitsgang gewählt:

Entfetten in Äther-Alkohol-Gemisch (1:1): 90 min. — Gründliches Waschen in Aqua dest.: 10 min. — Vorbehandlung mit 0,5 m Na-Thioglycolatlösung (2,85 g Na-thioglycolat in 50 ml Aqua dest.; Einstellen auf pH 4,6 mit $n/10$ HCl) während 18 Std. bei 35°C. — Gründliches Waschen in Aqua dest.: 15 min. — Fixieren in 1% wäßriger OsO₄-Lösung: 10 Tage (bei Zimmertemperatur unter Lichtabschluß). — Gründliches Waschen in Aqua dest.: 15 min. — Aufsteigende Acetonreihe und Einbettung in Vestopal W wie üblich.

Nach der Vorbehandlung mit Na-Thioglycolat, die ROGERS 1959 zur elektronenmikroskopischen Untersuchung von Haaren und Wolle herangezogen hat, läßt sich die Feinstruktur des Haares besser darstellen als in Präparaten ohne diese Vorbehandlung. Auf eigene Beobachtungen an Haarschnitten ohne Na-Thioglycolat-Vorbehandlung sowie auf die Möglichkeit, daß unter dieser Vorbehandlung Artefakte entstehen, wird jeweils im Text hingewiesen. Näheres über die Folgen der Na-Thioglycolat-Einwirkung am Haar wird in späteren Mitteilungen berichtet.

Zur Herstellung der sehr dünnen Schnitte verwendeten wir Diamantmesser (Sorvall-Ultramikrotom MT I). Einige Schnitte wurden mit Uranyl-acetat (ges. Lösung) nachkontrastiert. Mikroskopiert wurde mit dem Siemens Elmiskop I und mit dem Zeiss EM 9 A.

Ergebnisse*Die Cuticula des normalen menschlichen Haares*

Gesamt-Aufbau. Die Haar-Cuticula ist etwa 2,8–3,8 μm breit und besteht aus 5–10 dachziegelförmig und parallel übereinander angeordneten Lagen abgeflachter Cuticula-Zellen (Abb.1); ihre Länge ist im elektronenmikroskopischen Bild nicht mit Sicherheit zu bestimmen. Wir konnten häufig Zellen von über 40 μm Länge beobachten. Die Längsachsen der Cuticula-Zellen bilden mit der zentralen Achse des Haarschaftes einen spitzen Winkel von etwa 18°. Die einzelnen Zell-Lagen

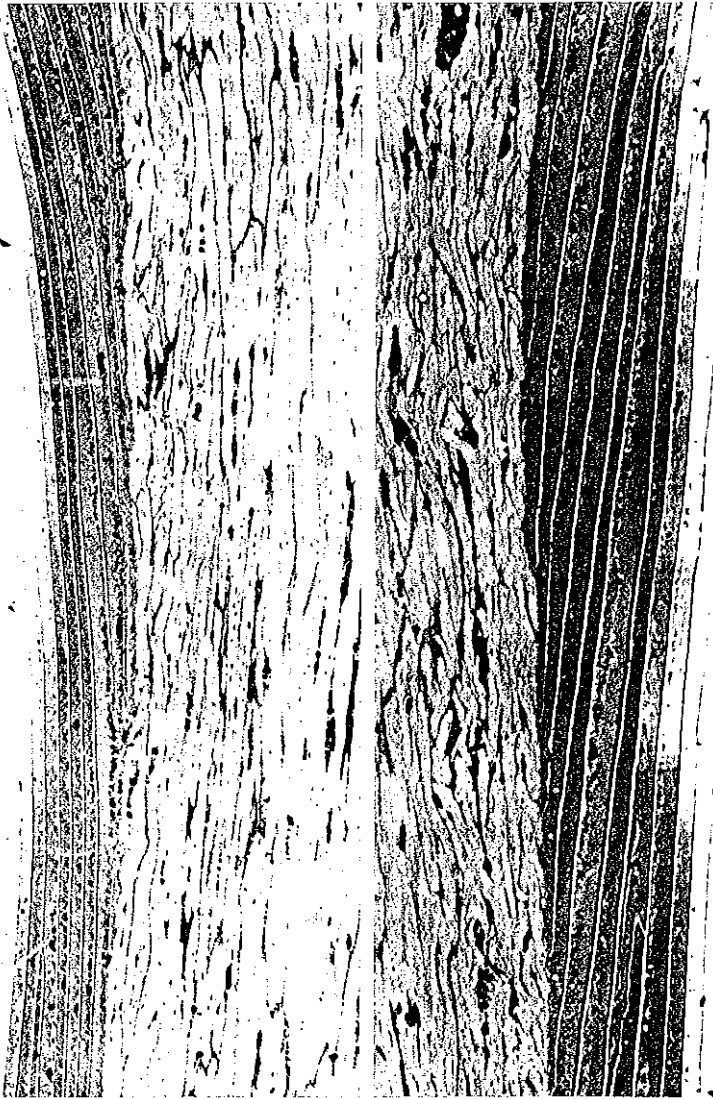


Abb.1. Längsschnitte durch ein blondes, menschliches Haar, in einer Übersichts-Vergrößerung (li.: ca. $\times 4000:1$, re.: ca. $\times 5400:1$). Jede Lage der Cuticula besteht aus einer Cuticula-Zelle, die von der Rinde bis zur Haaroberfläche reicht

werden durch eine 30 nm breite intercelluläre Schicht verbunden, die eine zentral liegende osmiophile Lamelle enthält (Abb.2). Manchmal ist diese Lamelle, deren Breite zwischen 10–15 nm variiert, durch feinkörnige Niederschläge und knopfartige Verdickungen aus osmiophilem

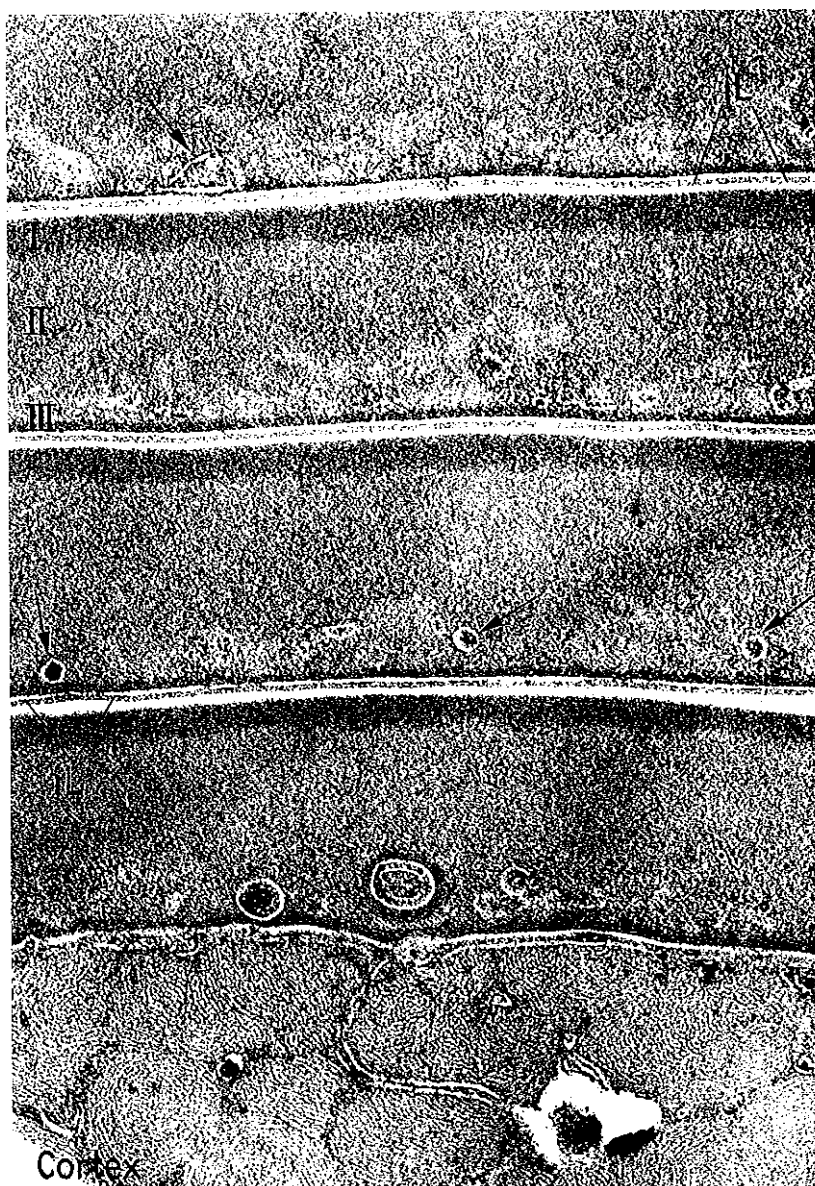


Abb. 2. Querschnitt durch die vier unteren Lagen einer Haar-Cuticula. Innerhalb der Cuticula-Zelle ist die schichtförmige Anordnung des Cuticula-Keratins erkennbar (*I* Äußere Schicht, *II* Mittlere Schicht, *III* Innere Schicht) *iL* intercelluläre Lamelle. Die Pfeile weisen auf Cytoplasmareste in der basalen Zone der mittleren Schicht hin. Vergr.: 52000 × : 1



Abb.3. Längsschnitt durch die Cortex-Cuticula-Grenze. Im Cortex sind Melanin-granula (*Me*) angeschnitten. Vergr.: 27 000 \times 1

Material gekennzeichnet (Abb.4). Die Schicht zwischen Cuticula und Cortex ist etwas dünner (ca. 25 nm) als die zwischen den Cuticula-Zellen (Abb.3). Gelegentlich lassen sich darin unregelmäßige Vorbuchtungen der untersten Cuticula-Zelllage beobachten, die in den Cortex hineinragen. Durch die Intercellular-Schichten und die *Intercellular-Lamelle* erscheint jede Zelle bzw. Zelllage von den Nachbarzellen getrennt. Desmosome oder cytoplasmatische Verbindungen zwischen den einzelnen

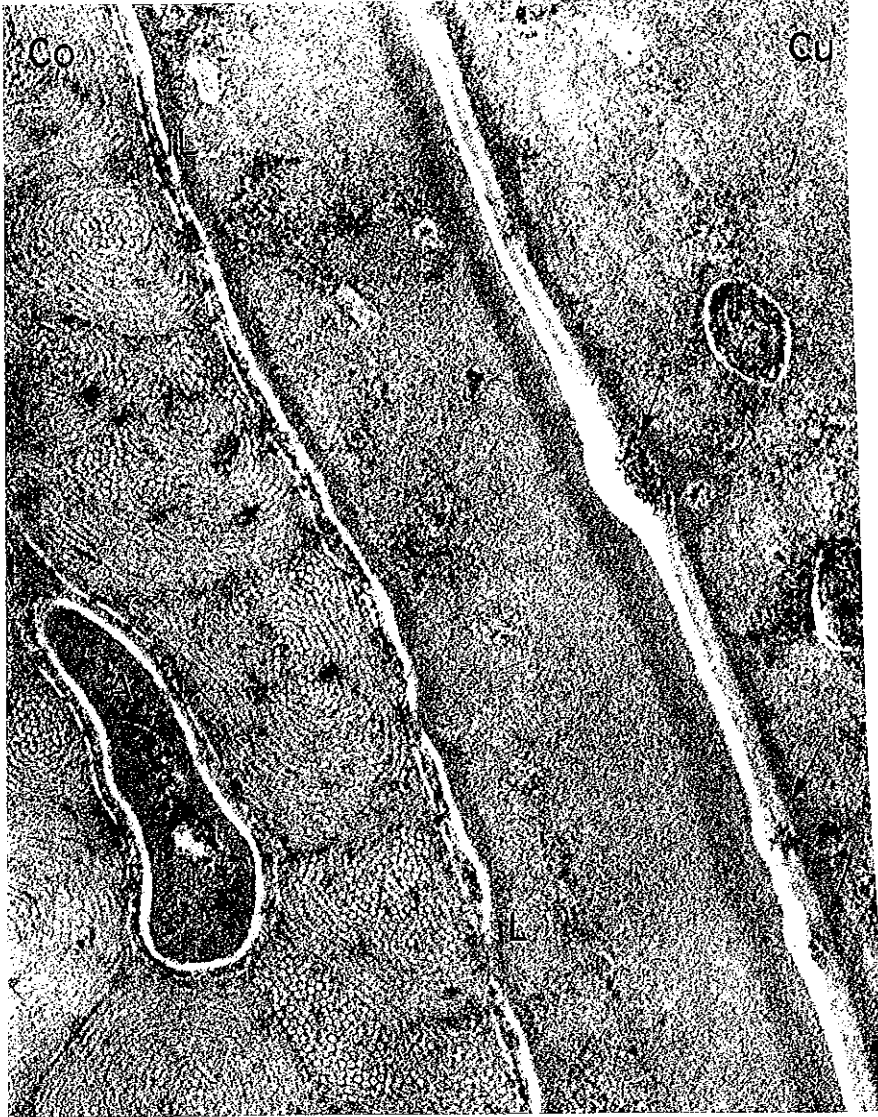


Abb. 4. Querschnitt durch die Cortex- (Co), Cuticula- (Cu) Grenze, die durch einen schmalen Spalt (25 nm) und eine intercelluläre Lamelle (iL) getrennt werden. Pfeile = knopfartige Verdickungen der intercellulären Lamelle (Desmosomen-Reste?). A = schräger Anschnitt einer tieferliegenden Cuticula-Zelle, die in den Cortex zapfenförmig hineinragt. Vergr.: 108000 × 1

Cuticula-Zellen lassen sich nicht nachweisen. Verzahnungen der Cuticula-Zellen untereinander kommen nur selten vor.

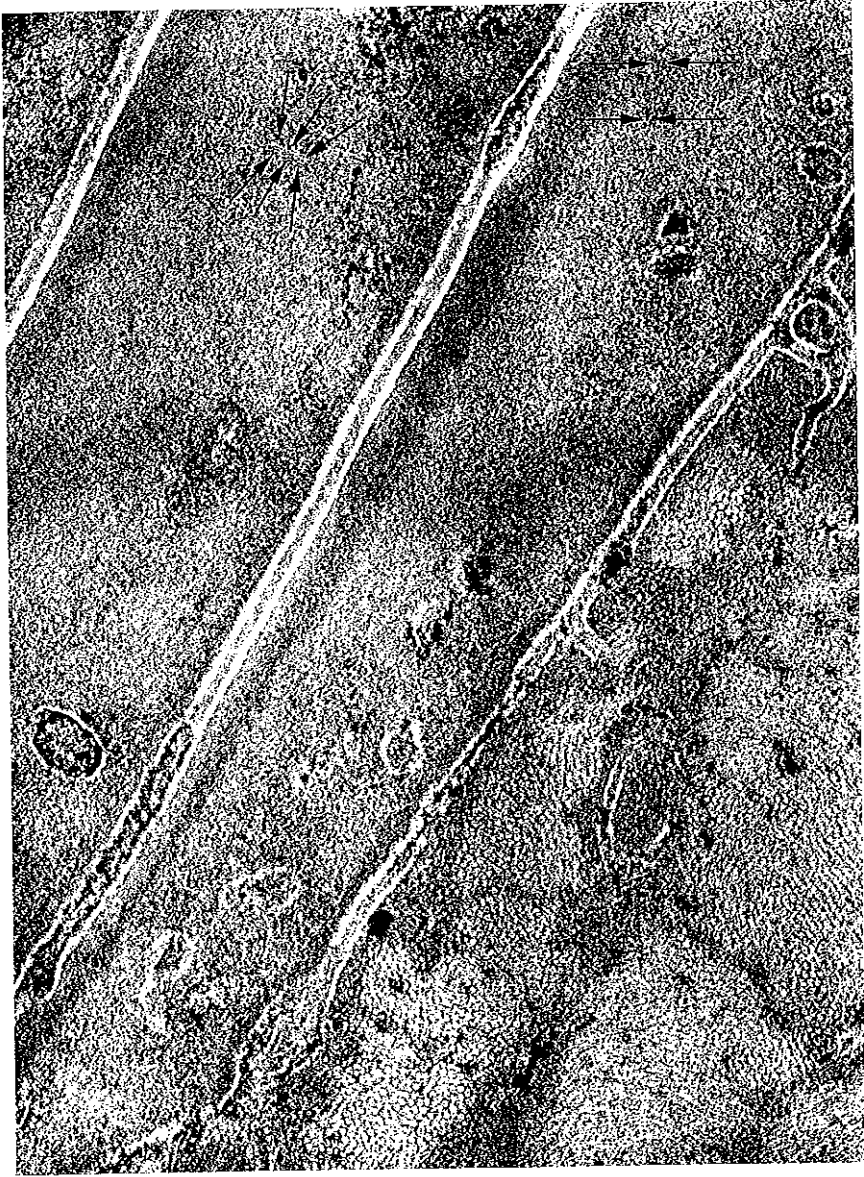


Abb.5. Querschnitt durch die Cuticula-Cortex-Grenze. In den Cuticula-Zellen lassen sich an mehreren Stellen (z. B. Pfeile), eng geflochtene, feine, osmiophobe Makromolekülfäden über kurze Strecken verfolgen, die ohne einheitliche Orientierung in einem osmiophilen Material eingebettet sind. Vergr.: $\times 108\,000:1$

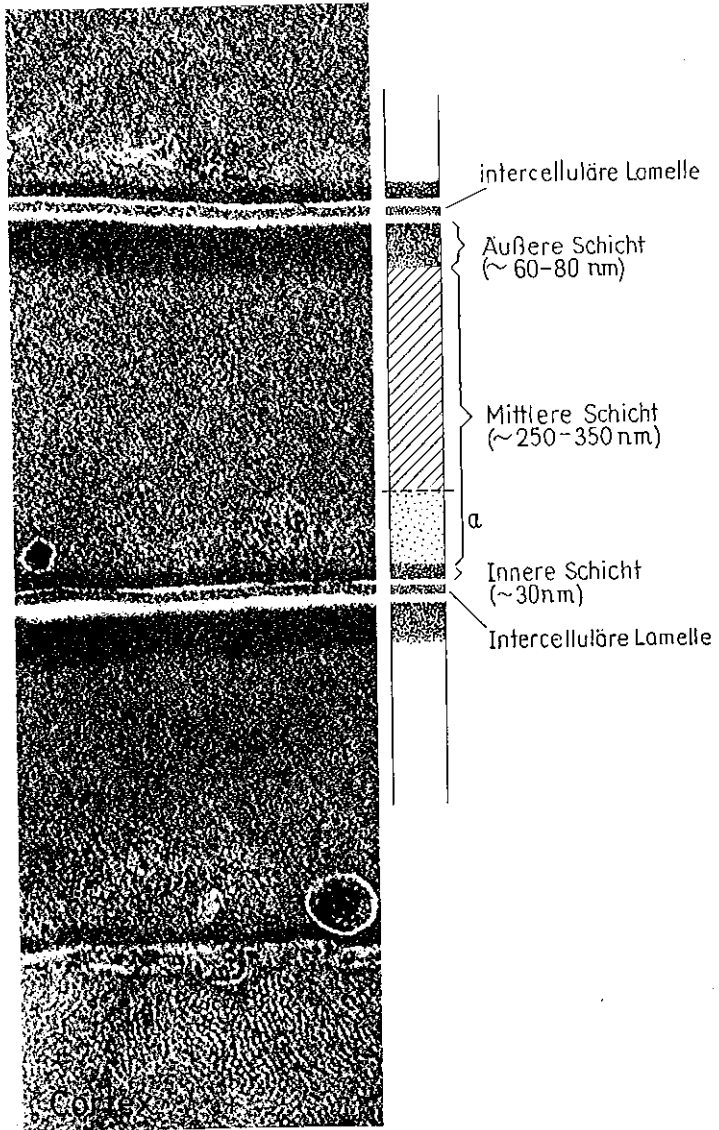


Abb. 6. Teilschematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaues der Cuticula und der Cuticula-Zellen. Der punktierte Bereich (a) stellt die Zone unvollständiger Verhornung der mittleren Schicht dar. Vergr.: 103 000 \times : 1

Cuticula-Zelle. Jede Lage der Cuticula besteht in der Regel aus einer Cuticula-Zelle, die vom Cortex bis zur freien Oberfläche des Haares reicht; ihre Länge und Breite ist im Schnitt nicht mit Sicherheit bestimm-

bar, während ihre Dicke gewöhnlich $0,35-0,45 \mu\text{m}$ beträgt. Sie kann zwischen $0,25-0,7 \mu\text{m}$ variieren. Gelegentlich sind die tieferen Zellabschnitte etwas dicker, da die mittlere Cuticula-Zelldicke zur Peripherie hin geringfügig abnimmt.

Das Keratin der Cuticula-Zelle stellt sich im Elektronenmikroskop streifig-feingranulär dar. Eine filamentäre Struktur ließ sich im Gegensatz zum Haar-Cortex nicht nachweisen. Stärkere Vergrößerungen zeigten aber, daß auch das Cuticula-Keratin nicht „amorph“ ist, sondern aus eng verflochtenen, kurzen, fadenförmigen osmiophoben Makromolekülen besteht (\varnothing ca. 3 nm), die durch eine osmiophile Kittsubstanz zu einem festen Gefüge verkittet sind (Abb. 5). Dieser Aufbau gleicht einer „Folientextur“ [15].

Jede Cuticula-Zelle besteht aus verschiedenen Keratinschichten (Abb. 6): Die *äußere* (Cortex-ferne) und die *innere* (Cortex-nahe) Schicht sind schmaler und elektronendichter als die mittlere. Die äußere Schicht ist $60-80 \text{ nm}$, die innere nur $20-30 \text{ nm}$ breit. Diese zwei Schichten gehen an den Zellrändern ineinander über. Beide bestehen aus besonders osmiophilem Keratin, das als Schale die Cuticula-Zelle umgibt. Gleichzeitig verbindet diese Schale mit Hilfe der Intercellular-Substanzen die Cuticula-Zellen untereinander.

Die *mittlere* Schicht ist der umgebildete cytoplasmatische Anteil der Cuticula-Zelle. In ihr kann man am besten die Feinstruktur des Cuticula-Keratins erkennen, da sie heller ist. Die basale, zum Haarschaft hin liegende Zone der mittleren Schicht ist unvollständig keratinisiert, stellenweise strukturlos und dielektronisch. Diese Zone enthält also wenig Kittsubstanz. Nach der von uns angewandten Vorbehandlung mit Thioglycolat und nach anschließender mehrtägiger Osmiumfixierung finden sich in dieser Zone feinkörnige oder klumpige Niederschläge osmiophiler Materials, die offenbar Reste von Cytoplasma- und Kernmaterial sind. Pigment oder Pigmentreste kommen in der Cuticula nicht vor.

Die klumpigen, manchmal rundlichen Niederschläge täuschen gelegentlich Melaningranula vor. Der Vergleich mit dem Pigment im Cortex (Abb. 4) schützt jedoch vor Verwechslung. Die Niederschläge traten ohne Na-Thioglycolat-Einwirkung und nach kürzerer Osmiumfixierung bei eigenen unveröffentlichten Vergleichs-Untersuchungen nicht auf.

Die Cuticula-Zellen besitzen somit auf beiden Seiten eine scharfe osmiophile Abgrenzung aus reifem Keratin. Regelrechte, d. h. dreischichtige, jede vitale Zelle umgebende Zell-Membranen, lassen sich nicht nachweisen.

Die Struktur einer Cuticula-Zelle ist von ihrer Lage (Cortex-nah oder Cortex-fern) unabhängig. Nur die äußersten Zellbereiche sind gelegentlich kontrastärmer als die tiefer liegenden (Abb. 1). Vor allem werden

dabei die mittlere und die innere Schicht zur Peripherie hin dielektronisch, während die äußere länger erhalten bleibt, d. h. auch in oberflächlichen abgespreizten Cuticulazellen nachweisbar ist. Die parallel-dachziegelförmige Anordnung wird in der Regel bis zu den äußersten Zell-Lagen beibehalten. Abgelöste oder abgespreizte Cuticula-Zellen kommen am normalen Haar selten vor.

Variationen der Cuticula-Struktur verschiedener normaler Haare

Die untersuchten Haare ließen in dem gesamten Aufbau ihrer Cuticula keine wesentlichen Unterschiede erkennen; lediglich die Breite der Cuticula war Schwankungen unterworfen. In dem von uns untersuchten Haarmaterial hatten blonde Haare eine etwas dünnere Cuticula als schwarze.

Demgegenüber kamen unvollständig verhornte Cuticula-Zellen in den verschiedenen Haaren unterschiedlich häufig vor. Ebenso unterschiedlich war im gleichen Haar die Zahl der osmiophilen Niederschläge in der mittleren Cuticula-Zellschicht.

Manche Cuticula-Zellen wiesen in diesem Bereich viele osmiophile Niederschläge auf, während andere Cuticula-Zellen Aufhellungsbezirke zeigten, die nur wenig osmiophiles Material enthielten.

Offensichtlich ist der Grad der Verhornung der verschiedenen Cuticula-Zellen abhängig von ihrem Reifungszustand. In unserem Material war in den Haaren von jüngeren Probanden (Pb. 3 und 4 bzw. 5) der unvollständig verhornte Anteil der mittleren Schicht stets ausgeprägt, während er in dem Haar eines älteren Probanden (Pb. 1) streckenweise völlig fehlte. Bei einem Vergleich zwischen Cuticula-Zellen desselben Haares zeigt sich, daß auch die Lokalisation der Zelle offenbar bedeutsam für ihre Struktur ist: Wahrscheinlich ist in Cuticula-Zellen vom distalen Haaranteil die Keratinisierung weiter fortgeschritten als in den Cuticula-Zellen vom proximalen.

Diskussion

Aufgabe der Haar-Cuticula ist der Schutz des Haares gegen chemische, mechanische und andere physikalische Noxen der Außenwelt. Diese Aufgabe stellt zwei Forderungen an die Cuticula-Zelle: 1. den Aufbau einer gegenüber diesen Noxen widerstandsfähigen Substanz und 2. einen festen Zusammenhalt der Cuticula-Zellen untereinander.

1. In der Cuticula-Zelle wird das *Cuticula-Keratin* aufgebaut. Dieses Material entsteht oberhalb der Haarwurzel in Form kleinerer und größerer Aggregate (300–850 Å), die sich in der lateralen Seite der Zelle ansammeln, miteinander konfluieren und den Zellkern mit den restlichen Zellbestandteilen gegen die basale (Cortex-nahe) Seite der Cuticula-Zelle verdrängen [1,7,13]. An der lateralen Zellseite entsteht dadurch eine

erste zusammenhängende Keratinschicht, während das Cytoplasma zur Mitte hin verdrängt wird. Daher konnten viele Autoren zwei bzw. drei verschiedene Schichten innerhalb der Cuticula-Zelle beobachten, die von manchen Epi-, Exo- und Endocuticula genannt wurden¹.

Über die Entstehung des Cuticula-Keratins ist manches noch unbekannt. Insbesondere ist die Entstehung und das Schicksal der cytoplasmatischen Filamente (7–8 nm) unklar, die ROTH u. HELWIG (1962) sowie HAPPEY u. JOHNSON (1964) in unreifen Cuticula-Zellen beschrieben.

Unsere elektronenmikroskopischen Beobachtungen an ausgereiften Haaren veranlassen uns zu folgenden Schlüssen:

Die definitive Verhornung der Cuticula-Zelle beginnt an ihrer lateralen Seite und schreitet medialwärts fort. Das reife Cuticula-Keratin ist nicht amorph, sondern es stellt offenbar eine *Folientextur* aus feinen (ca. 3 nm), osmiophoben Makromolekulfäden dar, die durch eine osmiophile Kittsubstanz zu einem kompakten Gefüge verkittet sind. Gegen eine amorphe Struktur spricht auch die im Polarisationsmikroskop nachweisbare Doppelbrechung des Cuticula-Keratins [14]. Im Erwachsenen-Haar bestehen annähernd drei Viertel der meisten Cuticula-Zellen aus reifem Cuticula-Keratin, während in der mittleren Schicht eine Zone unvollständiger Keratinisierung übrigbleibt, die Reste von Zellmaterial enthält. Beim Fortschreiten der Keratinisation wird auch diese Zone in Cuticula-Keratin umgewandelt und damit der Keratinisierungsvorgang abgeschlossen.

Jede ausgereifte Zelle der Haar-Cuticula enthält *zwei* Keratinarten: das elektronendichte (adielektronische) Keratin der zwei peripheren (äußeren und inneren) Schichten und das hellere (dielektronische) Keratin der mittleren Schicht. Beides sind Formen des Cuticula-Keratins, die sich wahrscheinlich durch ihren unterschiedlichen Schwefelgehalt bzw. die Zahl der S–S-Bindungen voneinander trennen lassen. Das Keratin der peripheren Schichten, die schalenartig die Cuticula-Zelle umschließen, enthält offenbar zahlreiche S–S-Bindungen und ist dadurch besonders widerstandsfähig. Eine mechanische Schutzfunktion kommt hauptsächlich der dickeren äußeren Schicht zu.

Haarabbauende Krankheitserreger sind offenbar in der Lage die äußere Schicht zu durchdringen. Sie siedeln sich jedoch in der mittleren Schicht an, die leichter abbaubar ist (*Trichophyton mentagrophytes*, MERCER u. VERNA, 1963). Proteolytische Fermente (Trypsin) sollen eine ähnliche Wirkung auf die Cuticula-Zellen haben. Durch Trypsin wird auch die Lamelle zwischen Cuticula und Cortex abgebaut, während durch Pepsin der Cortex herausgelöst wird und die Cuticula erhalten bleibt [10].

¹ Diese Bezeichnungen sind irreführend, da es sich dabei nicht, wie man annehmen könnte, um verschiedene Cuticulae handelt, sondern um verschiedene Keratinschichten innerhalb einer Cuticula-Zelle.

2. Durch welche Substanzen die Cuticula-Zellen in ihrem festen Gefüge zusammengehalten werden, ist bisher nicht mit Sicherheit bekannt. Es scheint, daß die Ausbildung elektronendichter Schichten an den Cuticula-Zellgrenzen nicht nur der Widerstandsfähigkeit der Hornschuppen dient, sondern auch für die Vermittlung der intercellulären Bindungen eine Rolle spielt. Dies entspricht den Befunden von BIRBECK u. MERCER (1957), die als erstes Zeichen der Cuticula-Zell-Differenzierung die Zunahme der Elektronendichte ihrer äußeren cytoplasmatischen Membran beobachteten.

ROGERS [12] demonstrierte an der Wolle Verzahnungen der Cuticula-Zell-Lagen untereinander. Am menschlichen Haar konnten wir solche Verzahnungen nur selten beobachten. Auch die Teilung der Zellausläufer und die Verfüugung zweier benachbarten Cuticula-Zellen sind nicht häufig. Die Bedeutung und das Schicksal der Desmosome, die ROTH u. HELLMIG (1962) und andere Autoren in den unreifen Cuticula-Zellen fanden, ist nicht bekannt. Knopfartige Verdickungen der Intercellular-Lamelle (Abb. 4) lassen an Desmosomen-Reste denken.

Für den intercellulären Zusammenhalt dürften jedoch diese Reststrukturen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Von wesentlicher Bedeutung ist dagegen die Intercellular-Schicht mit ihrer osmiophilen Intercellular-Lamelle, die zwischen allen Cuticula-Zellen zu finden ist und einem Zementmaterial gleicht. Ohne Na-Thioglycolat-Vorbehandlung und nach Kontrastierung der Schnitte mit Bleioxyl und Uranylacetat kommt diese Lamelle kontrastreicher zur Darstellung (vgl. PUCINELLI et al., 1966). Es ist nicht auszuschließen, daß nach der Spaltung und Reduktion der Disulfidbindungen durch Na-Thioglycolat Teile des intercellulären Materials herausgelöst werden, der Zusammenhalt aber bestehen bleibt. Streckenweise findet man an Stelle der Intercellular-Lamelle nur eine schwach osmiophile membranartige Linie. Topologisch entspricht die gesamte Kittmasse zwischen den Cuticula-Zellen pflanzlichen Zellwänden und dürfte auch wie diese als konfluierende Ausscheidung der Zellen entstanden sein. Sie bildet keine in sich geschlossene Membran, sondern ein *Wabensystem*, dessen Wände sich — im Gegensatz zu Zellmembranen — ständig verbinden, um die nächste Zelle zu umgreifen.

Eine solche feste Verfüugung der gesamten Cuticula-Zellen ist in der Lage den Anforderungen gerecht zu werden, die an die Cuticula gestellt werden. Sie erklärt auch das eindrucksvolle elektronenmikroskopische Bild, in dem abgespreizte Schuppen oder sonstige Ablösungen zwischen den Cuticula-Zellen nur selten vorkommen.

Literatur

1. BIRBECK, M. S. C., and E. H. MERCER: The electron microscopy of the human hair follicle. I. Introduction and the hair cortex, *J. biophys. biochem. Cytol.* **3**, 203—214 (1957). — II. The hair cuticle, *J. biophys. biochem. Cytol.* **3**, 215—222 (1957). — III. The inner root sheath and trichohyalin. *J. biophys. biochem. Cytol.* **3**, 223—230 (1957).

2. DOBB, M. G.: The structure of Keratin protofibrils, *J. Ultrastruct. Res.* **14**, 294 (1966).
3. — D. J. JOHNSON, and J. SIKORSKI: High resolution electron microscopy of alpha-Keratin, 5th. Intern. Congr. Electr. Micr. New York: Academic Press 1962.
4. FILSHIE, B. K., and G. E. ROGERS: An electron microscope study of the fine structure of feather Keratin, *J. Cell Biol.* **18**, 1—12 (1962).
5. HAPPY, F., and A. G. JOHNSON: Some electron microscope observations on hardening in the human hair follicle. *J. Ultrastruct. Res.* **7**, 316—327 (1962).
6. JOHNSON, D. J., and J. SIKORSKI: Molecular and fine structure of alpha-Keratin, *Nature (Lond.)* **195**, 31—34 (1962).
7. MÉRGER, E. H.: The Keratinization Process. In: *Keratin und Keratinization*, Bd. 12, Hrsg. ALEXANDER, P., and Z. M. BACQ. Oxford: Pergamon Press 1961.
8. —, and B. S. VERNA: Hair digested by Trichophyton mentagrophytes. *Arch. Derm.* **87**, 357—360 (1963).
9. PUCCELLI, V., and T. CAINELLI: Struttura ultramicroscopica del pelo umano. *G. ital. Derm.* **107**, 1147—1172 (1966).
10. RICHTER, R.: Die Haare. In: *Handbuch f. Haut- u. Geschl.-Krkh., Ergänzungswerk* Bd. 1/3, S. 282. Hrsg. A. MARCHIONINI u. H. W. SPIER: Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1963.
11. ROGERS, G. E.: Structural and biochemical features of the hair follicle. In: *The Epidermis*, Ed. by W. MONTAGNA and W. C. LOBITZ. New York: Acad. Press 1964.
12. — Electron microscopy of wool. *J. Ultrastruct. Res.* **2**, 309—330 (1959).
13. ROTH, S. I., and E. B. HELLWIG: The cytology of the cuticle of the cortex, the cortex and the medulla of the mouse hair. *J. Ultrastruct. Res.* **11**, 52—67 (1964).
14. SCHMIDT, W. J.: Beiträge zur Doppelbrechung des menschlichen Kopfhaares. *Z. Zellforsch.* **15**, 188—206 (1932).
15. —, u. H. RUSKA: Die Markzellen des Federschaftes aufgrund polarisations- und elektronenoptischer Untersuchungen an Ara und Cotinga. *Z. Zellforsch.* **56**, 713—727 (1962).
16. SWANBECK, G.: A theory for the structure of α -Keratin, In: *The Epidermis*, Ed. by W. MONTAGNA and W. C. LOBITZ. New York-London: Acad. Press 1964.

Dr. C. ORFANOS
Universitäts-Hautklinik
5000 Köln-Lindenthal

Prof. Dr. H. RUSKA
Institut für Biophysik und Elektronen-
mikroskopie der Universität
4000 Düsseldorf, Moorenstr. 5