

# Untersuchungen über die Wege der relativen Luftfeuchte im Haar und über den Nachweis des Wassers im menschlichen Kopfhaar.

Von

TH. LOCHTE und H. BRAUCKHOFF, Göttingen.

Mit 5 Textabbildungen.

(Eingegangen am 7. Juli 1948.)

Über das Eindringen von Luft<sup>1</sup> in das Haar kann kein Zweifel bestehen, wie man an dem Verhalten des Haarmarkes erkennen kann. Der Markstrang erscheint im durchfallenden Licht schwarz. Untersucht man das Haar aber in Wasser oder Xylol, so hellt sich mit dem Eindringen des Wassers oder Xylols zugleich auch der Markstrang auf und man kann seinen Aufbau, die Granula und die Lufträume im Mark gut erkennen. Ist das Haar aber nach einiger Zeit wieder getrocknet, so füllt sich der Markstrang mit Luft und er erscheint im durchfallenden Licht wieder schwarz. Es kann also an dem Eindringen von Luft in das Haar nicht gezweifelt werden.

Die Wege, auf denen die Luft eindringt, entziehen sich aber dem Auge. Das Eindringen von Wasser in das Haar kann man an beiden Längsseiten unter dem Mikroskop von der Oberfläche aus als hellere Streifen verfolgen, die sich allmählich verbreitern, ohne daß man angeben könnte, ob das Eindringen auf mikroskopisch feinen Bahnen erfolgt oder allein durch Kontaktwirkung mit dem Wasser und fortschreitende Quellung der Zellelemente.

Da auch das Xylol in das Haarinnere eindringt, und zwar *ohne* Quellung, muß man annehmen, daß besondere Wege für die Flüssigkeitsaufnahme vorhanden sind, die aber so klein sind, daß sie sich der optischen Wahrnehmung bei 300—500facher Vergrößerung im Mikroskop entziehen. Es war ein wesentlicher Fortschritt der Erkenntnis, als ERICH LEHMANN<sup>2</sup> zeigte, daß an gedeckten Haaren ein *Luftaustritt* aus dem menschlichen Haar erfolgt. Das dort beigegebene Bild eines Knabenhaars zeigt bei 800facher Vergrößerung und bei einer Dehnung des Haars von 40% zahlreiche kleine Gasbläschen, die am freien Rande der oberflächlichen Cuticulazellen hervorperlen. Es entweicht hier Luft, die nur aus dem Haarmark oder der Rindensubstanz entstammen kann.

<sup>1</sup> Streng genommen handelt es sich um die atmosphärische Luft und relative Luftfeuchte.

<sup>2</sup> LEHMANN, E.: Melliand Textilber. 1941, Nr 9.

Es müssen demnach feinste Luftwege in den Cuticulazellen vorhanden sein; aber nicht nur in diesen, sondern wahrscheinlich auch in der Subcutis (REUMUTH) bzw. in der Epidermismembran (E. LEHMANN), die sich REUMUTH als mit der Cuticula in Zusammenhang stehend vorstellt. REUMUTH<sup>1</sup> schließt aus verschiedenen technischen und mikroskopischen Tatsachen auf eine netzartig poröse Struktur der Cuticula und Subcutis. Diese Angaben konnten von HARRISON<sup>2</sup> bestätigt werden.

E. LEHMANN<sup>3</sup> vertritt die Auffassung, daß sich unter der Schuppen- schicht des Haares eine Haut oder Membran befindet, die als basale Verwachsung des Schuppenkeratins angesehen werden soll und nur in Verbindung mit der Schuppe als selbständiger Teil des Haares angesehen werden kann. Ihr Membrancharakter erreicht eine wechselnde Durchlässigkeit, je nachdem saure oder alkalische Lösungen auf sie einwirken. In der Praxis der Pelzfärberei ist es nämlich — wie LEHMANN ausführt — üblich, vor einem Färbeprozeß mit Oxydationsfarbstoffen das Haar einer alkalischen Vorbehandlung zu unterziehen, die den Zweck haben soll, Fett und Schmutz zu entfernen<sup>4</sup> und „das Haar zu öffnen“. Wird dagegen eine saure Vorbehandlung gewählt, so ist das Haar „geschlossen“, d. h. die Durchlässigkeit der Epidermismembran ist gedrosselt. H. ZAHN<sup>5</sup> untersuchte dann die mit Natriumbisulfit und Pankreatin abgebauten und im Porzellanmörser zerriebene Wolle und konnte unter dem Übermikroskop zeigen, daß die Schuppenzellen Längsstrukturen, Poren und Längsspalten in 10—100  $\mu$  Breite zeigen. Die Subcutis bezeichnet er als locker und netzartig gebaut. (Sie würde nach der Auffassung von E. LEHMANN bei alkalischer Vorbehandlung ihre Poren öffnen, bei saurer schließen können.)

Doch kann nach neueren Untersuchungen von E. LEHMANN<sup>6</sup> die Annahme einer netzartig porösen Struktur nicht als gesichert gelten. Es muß vielmehr angenommen werden, daß diese Aufbauzone des Haares den Charakter einer geschlossenen Haut aufweist und der Befund einer netzartigen Struktur als eine Sekundärerscheinung zu werten ist.

Unter der Subcutis (Epidermismembran) liegen die Rindenzellen mit langen schmalen Kernen. Ihre Enden sind kammartig gestaltet oder gegabelt. E. LEHMANN<sup>7</sup> bezeichnet auf Grund seiner Studien an

<sup>1</sup> REUMUTH: Diss. Aachen 1937. — Melliand Textilber. 1942.

<sup>2</sup> HARRISON: Amer. Dyestuff Rep. Quarterly Res. 1938, No 5, 393.

<sup>3</sup> LEHMANN, E.: Melliand Textilber. 1941, Nr 3.

<sup>4</sup> Die Erscheinung der Einstellgeschwindigkeit bei alkalischer Vorbehandlung des Haares läßt sich auch im Hygrometersversuch erweisen, wenngleich eine alkalische Vorbehandlung der Hygrometerhaare infolge der schädigenden Wirkung von Alkali nicht zu empfehlen ist.

<sup>5</sup> ZAHN, H.: Melliand Textilber. 1943, Nr 4.

<sup>6</sup> LEHMANN, E.: Melliand Textilber. 1944, Nr 1.

<sup>7</sup> LEHMANN, E.: Melliand Textilber. 1941, Nr 3.

bromierten Haaren die Epidermismembran und die äußeren Teile der Rindenzellen als Wollgelatine.

Es sei nun noch darauf hingewiesen, daß im Faserinneren von Wollrindenfasern 1925 von H. MARK und R. BRAUKMEYER Hohlräume oder Lochbildungen beschrieben wurden, v. BRUNSWIK<sup>1</sup> sprach von Hohlräumen im nicht ganz verhornten Zellumen der Faserzellen. Sie sind lange bekannt, denn schon A. KÖLLIKER erwähnt S. 223 seiner Gewebelehre 1889 kleine mit Luft oder Flüssigkeit gefüllte Hohlräume. Sie entstehen nach REUMUTH<sup>2</sup> durch Soxhletextraktion mit Benzin, Trichloräthylen, Methylenechlorid u. a. m. und werden auch nach längerem Kochen beobachtet. Ihre Form ist als kugelförmig oder ellipsoid zu bezeichnen. In wäßrigen Bettungsmitteln sind sie nur für kurze Zeit wahrzunehmen und verschwinden dann wieder (vermutlich durch Quellung bzw. Füllung mit Wasser). Bei nicht entfetteten Haaren sind die kleinen Hohlräume nach SPÖTTEL vorwiegend mit Fett gefüllt<sup>3</sup>. Je mehr Fett das Haar enthält, um so schlechter reagiert es erfahrungsgemäß im Hygrometer auf den Wassergehalt der Luft; das gilt sowohl für das Oberflächenfett wie für das Porenfett. Größeres Interesse hat man den Poren des Haares bislang nicht entgegengebracht<sup>4</sup>. Es darf aber wohl als sicher angenommen werden, daß sie bei der Luft- und Wasseraufnahme des Haares eine beachtliche Rolle spielen. Soweit ich feststellen kann, beginnen die Luftspalten bereits in dem weißen Spitzenteil des unverletzten Haares und sind in diesem bereits von Pigmentkörnchen umgeben, die auf weißem Grunde liegen: Sobald das Haar breiter wird, liegen diese linearen Pigmentanhäufungen nicht mehr auf rein weißem, sondern auf gefärbtem Untergrunde und heben sich fleckenförmig von diesem ab; das ist der Fall etwa bei Schaftbreite 20—25. Das Haar kann bei weiterer Zunahme der Breite ein direkt getigertes oder geflecktes Aussehen bekommen, das durch die Zunahme der pigmentierten Luftspalten bedingt ist.

Damit sind die Unterlagen geschaffen für die Vorstellungen, die wir uns zur Zeit von den Wegen der Luftfeuchtigkeit in einem entfetteten Haar zu machen haben. Nehmen wir eine netzartig poröse Struktur der Epidermismembran an, so dringt demnach die Luftfeuchtigkeit (ebenso wie das Wasser) von außen durch die Poren der Cuticulazellen und der Epidermismembran und gelangt nun in die pigmentierten Hohlräume oder Lochbildungen der Rindenzellen, wobei sie ihren Wasser-

<sup>1</sup> BRUNSWIK, v.: Berlin: Gebrüder Bornträger 1925.

<sup>2</sup> REUMUTH: Melland Textilber. 1942.

<sup>3</sup> FRÖHLICH, G., W. SPÖTTEL, E. TAENZER: Wollkunde, herausgeg. von R. O. HERZOG. Berlin: Springer 1929.

<sup>4</sup> Doch erwähnt sie A. HERZOG (Melland Textilber. 1928, Nr 33). Über die sichtbaren Verwendungen der Schafwolle nach Behandlung mit sauren Chlorkalkbädern. Er sah sie auch nach Behandlung mit heißem Glycerin.

gehalt an die hydrophilen Zellwände abgibt. Ist die Epiderismembran aber eine geschlossene Haut, so wirkt sie gewissermaßen als Filter, sie quillt auf und leitet durch Kontakt die Feuchtigkeit weiter zu den Rindenzellen. Die Bedeutung der Lochbildungen der Rindenfasern bleibt dann ungeklärt.

Wahrscheinlich haben beide Vorstellungen ihre Berechtigung. Wenn man nämlich der Anschauung von BONGARDS<sup>1</sup> folgt, daß die Luftfeuchte sich auf der Oberfläche der Gegenstände verdichtet, muß man annehmen, daß die *Wasseraufnahme sowohl durch Kontaktwirkung wie gleichzeitig durch Capillarwirkung vor sich geht*. Es fragt sich nun, ob man noch auf anderem Wege als dem hygrometrischen die aufgenommene Luftfeuchte bzw. das Wasser im Haar erkennen kann. Zu diesem Zweck haben wir Versuche an wassergesättigten Haaren vorgenommen, indem wir die Haare plötzlich höheren Temperaturen aussetzten. Dabei gingen wir von der Vorstellung aus, daß das Wasser sich in Dampf umwandeln und an den Stellen sichtbar werden muß, an denen es sich im Haar befunden hat. Es kamen demnach nur kurze Einwirkungen hoher Temperaturen zwischen 100—200° in Betracht, da bei noch höheren Temperaturen das Keratin im Bereich des Markes und dessen Umgebung größere Luftblasen bildet, die auf einen Zerfall des Keratins hindeuten. In diesen Versuchen trat Rotfärbung ein bei 157° C. Die Rotfärbung ist als eine Verbrennungserscheinung des *getrockneten* Keratins aufzufassen. Würde man das Haar langsam erhitzen, so würde selbst ein hoher Wassergehalt des Haares schnell verdunsten und das Haar eintröcknen, sobald die Temperatur etwa 100° C erreicht<sup>2</sup>. Es fragt sich also, welche mikroskopischen Bilder bei plötzlicher kurzer Erhitzung eines wassergesättigten Haares entstehen.

Unsere Erhitzungsversuche wurden bei 35% relativer Luftfeuchtigkeit der Zimmerluft und bei einer Zimmertemperatur von 12—14° C im Institut für med. Physik bei Herrn Professor KÜSTNER durchgeführt, dem ich hierfür zu besonderem Danke verpflichtet bin.

<sup>1</sup> BONGARDS: Feuchtigkeitsmessung. München und Berlin: R. Oldenbourg 1926.

<sup>2</sup> Und zwar deshalb, weil der Wassergehalt eines Haares sehr gering ist. Rechnet man 1 cm<sup>3</sup> Wasser zu 1 g, so enthält er etwa 20 Tropfen. Ein einzelner Tropfen würde danach 0,05 g wiegen. Beim menschlichen Kopfhaar bewegen sich aber, wie man durch Wägung trockener und nasser Haare leicht feststellen kann, die Wassermengen meist in der vierten Dezimale. Danach würde die in einem 10 cm langen Kopfhaar befindliche Wassermenge etwa auf den 300sten Teil eines Tropfens (0,00018 g Wasser) zu setzen sein, je nach Dicke des Haares. Nach CHAMBERLAIN und SPEAKMAN beträgt der Wassergehalt eines wassergesättigten Haares 31,18 % des Trockengewichtes [Z. Elektrochem. 37, (1931)]. Nach unseren Wägungen wogen 10 trockene Haare von 10 cm Länge (in Zimmerluft) 6 mg; ein einzelnes Haar demnach 0,6 mg; mithin 30 % des Trockengewichtes 0,18 mg Wasser bei einem einzelnen Haar = 0,00018 g Wasser. Es ist gewiß erstaunlich, mit wie geringen Wassermengen das Hygrometerhaar arbeitet.

Ein zylindrisches, etwa 40 cm hohes Glasgefäß wurde von außen durch eine Wicklung elektrisch erhitzt. Das Gerät war durch Asbest wärmeisoliert. In dem Gefäß befand sich ein Quecksilberthermometer, das auf die gewünschte Temperatur eingestellt wurde. Nach einiger Übung gelang es, auch ohne Benutzung eines Kontaktthermometers, die gewünschte Temperatur auf 1—2 Min. vollkommen gleichmäßig zu erhalten. In die erhitzte Luft in der Mitte dieses Apparates wurden die mehr oder minder wassergesättigten Haare plötzlich eingehängt, die auf ein dünnes schmales, mehrfach perforiertes Aluminiumblech von 10 cm Länge aufgezogen waren. Da mit der Entfernung von der Mitte des Apparates, in der sich die Hg-Kugel des Thermometers befand, nach oben und unten in je 7 cm Entfernung die Temperatur um etwa  $20^{\circ}\text{C}$  sank, konnten bei einer Erhitzung auf  $180^{\circ}\text{C}$  auf 1—2 Min. an dem eingehängten Haare die mikroskopischen Stadien der Erhitzung von  $160$ — $180^{\circ}\text{C}$  genau verfolgt werden<sup>1</sup>.

Bei Temperaturen von etwa  $130$ — $180^{\circ}\text{C}$  erscheinen die Poren des Haares als schwarze bläschenartige Gebilde. Ein weißes Haar sieht daher im durchfallenden Licht bei schwacher Vergrößerung (etwa 65mal) wie bestäubt aus; die vergrößerten Poren sind rundlich oder elliptisch. Beim Senken des Tubus sieht man eine helle kurze Linie aufblitzen, die der Länge der Luftspalte entspricht. Die kleinen luftgefüllten Räume haben nicht alle die gleiche Größe; die letztere variiert zwischen der staubförmigen Granulaform bis zu 0,0081 Größe (3 Teilstriche des Okularmikrometers bei 370facher Vergrößerung). Meist liegen die Bläschen reihenförmig und man kann gleichzeitig den Übergang zu längeren Spalten beobachten. Es ist dies auch aus den Abbildungen von REUMUTH<sup>2</sup> zu erkennen. Ergänzt man diese Befunde durch die mikroskopische Untersuchung von Haaren, die schnell durch die Flamme gezogen wurden unter Zusatz von Xylol, so kann man in den Poren das Eindringen des Xylols näher verfolgen und feststellen, daß mit dem Verschwinden der schwarzen Pore die helle strichförmige Linie der Luftspalte erhalten bleibt. An kürzeren schwarzen Spalten kann man beobachten, daß einige helle Granula in der Spalte sichtbar werden, zwischen denen gelegentlich auch schwarze oder graue Granula oder solche, die schwach pigmentiert erscheinen, erkennbar werden. Diese

<sup>1</sup> Will man dem Raume, der mit erhitzter Luft gefüllt ist, eine in allen Raumteilen gleichmäßige Temperatur sichern, so müßte nach dem Vorschlag von Prof. KÜSTNER die kühtere und heißere Luft mechanisch oder durch elektrisches Rührwerk gemischt werden, da unter natürlichen Verhältnissen die Diffusion heißer Gase in diejenigen mit geringerer Temperatur eine zu langsame ist. Eine solche Apparatur ist später in Benutzung genommen worden. Es ergaben sich aber dabei keine wesentlichen neuen mikroskopischen Befunde.

<sup>2</sup> REUMUTH: Klepzig's Textil-Z. 1942, H. 13/14 (Abb. 24 und 25). — Melliand Textilber. 23 (1942), (Abb. 19).

letzteren Granula entsprechen demnach den Pigmentgranulis in der Umgebung der Luftspalten.

Ähnliche Verhältnisse kann man an den Granulis des Haarmarkes beobachten. Das anfangs schwarze lufthaltige Haarmark wird bei der Erhitzung mehr und mehr gelichtet. Selbst an stark erhitzten Haaren kann man aber immer noch einige schwarze Markgranula im mikroskopischen Bilde verfolgen. Häufig findet man in dem erhitzten Haarmark abwechselnd helle und dunkle Partien in regelmässiger Folge. Das Haarmark wird breiter und kann einzelne Gasblasen enthalten. Die Breite des Haares nimmt mit beginnender Hitzeschädigung des Markes etwas zu. — Ein etwas anderes Bild ergibt sich bei den Haaren Neugeborener und in den unverletzten Haarspitzen erwachsener Personen. Bei stärkerem Wassergehalt treten dann bei plötzlicher Erhitzung langgestreckte, linienförmige Lufträume in der Rinde des Haares auf, die offenbar durch Zusammenfließen reihenförmiger Lufträume (Poren) entstanden sind. Sie haben eine Länge von 0,027 mm bei 370facher Vergrösserung und darüber. Die Dampfspalten können eine Breite bis zu 3 Teilstichen erreichen und so dicht liegen, daß das Haar im durchfallenden Licht fast schwarz erscheint. Bei der Beobachtung frisch erhitzter Haare in Xylol gelingt es, das allmähliche Verschwinden der schwarzen Dampfspalten zu beobachten. Auch im Canadabalsampräparat kann man dasselbe feststellen, nur erfolgt das Aufhellen des schwarzen Spaltes wesentlich langsamer. In einem Falle waren nach Erhitzung auf 130° C die Spalten nach 5 Stunden wieder verschwunden. Bei höheren Erhitzungstemperaturen halten sich die Dampfspalten länger, unter Umständen anscheinend unabhängig vom Wassergehalt der Luft mehrere Wochen lang. Man wird annehmen dürfen, daß die Keratinfasern das Wasser allmählich aufnehmen. Zurück bleiben dann die Granula der Rindenzellen, die zum Teil noch lufthaltig und schwarz erscheinen.

In einem anderen Versuche am 2. 9. 44 waren in einem Haar, das mehrfach angehaucht war und das plötzlich  $1\frac{1}{4}$  Min. auf 180—183° C erhitzt war, die Dampfspalten schon nach 4 Stunden nicht mehr erkennbar.

Am 4. 7. 44 waren bei einem plötzlich auf 200—205° C  $1\frac{1}{2}$  Min. erhitzten Haar die erweiterten Luftspalten am 5. 7. im Canadabalsampräparat verschwunden.

In einem anderen Falle am 16. 1. 45 war ein wassergesättigtes Haar plötzlich  $\frac{3}{4}$  Min. auf 160° C vormittags erhitzt worden. Unmittelbar danach sah das Haar bei schwacher Vergrösserung in Xylol wie bestäubt aus; außerdem fanden sich breite erweiterte schwarze Dampfspalten. Bei der Untersuchung nachmittags 5 Uhr waren alle Dampfspalten verschwunden. Man erkennt aber in der Rinde noch eine starke helle

Längsstreifung, die offenbar durch die vorausgegangene Bildung der Dampfspalten verursacht war.

Am 15. 1. 45 wurde ein *nasses* weißes menschliches Kopfhaar *plötzlich*  $1\frac{3}{4}$  Min. auf  $170^{\circ}\text{C}$  erhitzt und in Xylol untersucht. Es fanden sich lange, zusammenhängende, schwarze zentrale Dampfspalten in der Umgebung des Markes. Die Dampfspalten hatten eine Länge bis  $40/370$  und 2 Teilstriche Breite; die peripheren waren im allgemeinen kürzer, 10—20 Teilstriche lang, 2—3 Teilstriche breit.

Nach einiger Zeit lösen sich die langen Luftspalten in dicht stehende Gruppen schwarzer Punkte (Granula) auf, zwischen denen man einzelne hellglänzende weiße Granula erkennt.

Nach 5 Stunden waren die erweiterten Luftspalten nicht mehr zu erkennen, wahrscheinlich, weil das Xylol in sie eingedrungen war.

Am 16. 1. 45 wird dasselbe Haar wieder in Wasser gelegt und  $1\frac{3}{4}$  Min. auf  $160^{\circ}\text{C}$  erhitzt. Erweiterte Poren; das Haar sieht wie bestäubt aus. In der Mitte des Haares zahlreiche erweiterte, breite wurstförmige Lufträume. Nachmittags 5 Uhr sind wieder alle schwarzen erweiterten Lufträume verschwunden. Man erkennt aber noch die langen linienförmigen Luftspalten im Haar.

Am 27. 3. 45 wurde ein *nasses*, weißes menschliches Kopfhaar plötzlich einer Temperatur von  $375^{\circ}$  ausgesetzt. Es wurde nach dem Einhängen sofort wieder herausgezogen, um Verbrennung zu vermeiden. Makroskopisch war das Haar noch weiß geblieben. Mikroskopisch ergeben sich an dem  $0,081 \text{ m}$  breiten Haar zentrale linienförmige Dampfspalten; wo sie fehlten, zeigte das Haar noch ein längsstreifiges Aussehen. Der unterste Teil des Haares war gelb gefärbt. Das Haar sah hier wie bestäubt aus durch die zahlreichen erweiterten Poren.

Nachuntersuchung am 10. 4. 45. Die helle Längsstreifung des Haares ist noch sehr deutlich. Das Mark ist unverändert und gut granuliert. Beim Verschieben des Präparates erkennt man vor Beginn der schwarzen Dampfspalten graue Längsstreifen in der Rinde bzw. Spuren schwärzlicher Linien, die als Reste der früheren Dampfspalten zu deuten sind. Am Rande solcher grauen Fasern erkennt man auch einige schwarze Granula.

Im Bereich der gut erhaltenen, noch schwarzen Dampfspalten hat die Breite des Haares von 30 auf 32 Teilstriche zugenommen. Die Poren sind zunächst kleinste punktförmige Gebilde, die in Reihenform liegen. Die helle Linie ist beim Senken des Tubus bereits erkennbar. Die reihenförmigen Poren erstrecken sich auf 10—20 Teilstriche Länge im Okularmikrometer bei 370 facher Vergrößerung. Die Breite des Haares ist in diesem Teil auf 37 Teilstriche gestiegen ( $0,1 \text{ m}$ ).

Die Untersuchungen wurden versuchsweise später in der Weise abgeändert, daß die Haare an einem elektrisch erhitzten Draht entlang

gezogen wurden. Da die Haare bei glühendem Draht sofort durchbrannten, wurde der Strom durch den Widerstand so weit abgeschwächt, daß das angelegte Haar etwa in 4—5 Sek., in anderen Fällen nach 10—15 Sek., durchbrannte. Natürlich konnte der Hitzeinfluß auf das Haar auch dadurch abgeändert werden, daß es schneller oder langsamer an dem Draht vorbeigezogen wurde.

Bei diesen Versuchen mußte das Haar an beiden Enden mit Daumen und Zeigefinger gefaßt und leicht gespannt werden; denn ein frei in der Luft schwebendes menschliches Kopfhaar kann man am heißen Draht nicht vorbeiziehen. Es wird immer nur gelingen, einzelne Stellen des in der heißen Luft bewegten Haares mit dem Draht in Berührung zu bringen.

Bei solchen Versuchen muß man sich darüber klar sein, daß die Temperatureinwirkung eine ganz andere ist als im Heißluftapparat. An dem erhitzten Draht wirkt die Temperatur nur auf eine umschriebene Stelle *von außen* auf die Cuticula und die daruntergelegenen Zellschichten ein.

Demgemäß findet man an der Cuticula Verbrennungen, die zum Abbrechen der Cuticulazellen führen; die Veränderungen unterhalb der Cuticula hängen von der Schnelligkeit ab, mit der das Haar am Draht vorbeigeführt wurde. Sie waren um so geringer, je größer die Schnelligkeit war und um so tiefergehend, je langsamer die Bewegung erfolgte.

Bei allen starken Verbrennungen zeigten sich oberflächliche gelbe oder bräunliche Verschorfungen der Cuticula, die bei abgeblendetem Lichte unter dem Mikroskop infolge der Gasbildung in den Rindenzellen hell aufleuchteten. Die Gasbildungen begannen mit kleinsten Luftblasen, die sich schnell vergrößerten. Bei stärkeren Verbrennungen reicht die Gasbildung bis in das Mark hinein. Es entstehen dann größere Gasblasen, die zu einer spindelförmigen Verbreiterung des Haarschaftes führen können.

Zieht man wassergesättigte Haare über einen erhitzten Draht, so findet sich deutliche Porenbildung und weiterhin Bildung von Dampfspalten zwischen den Rindenfasern, so daß das Haar im durchfallenden Lichte unter dem Mikroskop schwarz erscheint. Insoweit sind also die Hitzeveränderungen des Haares ähnlich denen bei der Heißluftbehandlung des Haares. Wo die Spalten aufgeheilt waren, fanden sich auch wieder granulierte Dampfspalten, aber nicht regelmäßig. Es beruht dies darauf, daß bei dieser Art der Erhitzung — je nach dem Wassergehalt und der Schnelligkeit der Bewegung — höhere und niedere Temperaturen abwechselnd zur Wirkung gelangen. Bei schneller Bewegung kommt es nur zur Porenbildung, bei Verlangsamung der Bewegung dagegen zu rundlichen und eiförmigen größeren Gasblasen, die bereits auf den Keratinzerfall zurückzuführen sind; in diesen letzteren

findet man dann keine Granula mehr. Man muß also zweierlei Spalten unterscheiden: die granulierten Dampfspalten und die granulafreien Spalten, die durch die Vergasung des Keratins entstehen.

Das physiologische Paradigma der granulierten Dampfspalten findet man in den weißen Wimperhaaren und Augenbrauenhaaren von älteren Leuten in der Umgebung des Markes und fleckweise auch in der Rinde. Man kann an diesen auch das lineare Bild der Luftspalte zum Teil noch erkennen. Auch der basale Teil von Kopfhaaren dicht über der Wurzel kann granulierte Luftspalten zeigen.

Man gewinnt aus diesen Versuchen den Eindruck, daß die Porenbildung und die Bildung der Dampfspalten um so länger erkennbar bleiben, je höher der Wassergehalt und die Temperatur waren (bzw. je länger die erhöhte Temperatur eingewirkt hatte) und daß bei geringem Wassergehalt und niedrigen Temperaturen die Poren und Dampfspalten mehr flüchtiger Natur sind.

Die Poren der Rinde dürften identisch sein mit den von REUMUTH beschriebenen Poren. Mit dieser Auffassung stimmen, wie dargelegt, die Bilder überein, die REUMUTH<sup>1</sup> gegeben hat, insbesondere hinsichtlich Größe, Form und Reihenlage der Poren. Beachtlich erscheint auch der Umstand, daß die Bilder REUMUTHS bei der Soxhlet-Extraktion und am wassergekochten Haar, also *unter dem Einfluß der Hitze*, entstanden sind.

Nach dem Verschwinden der schwarzen linearen Dampfspalten findet man in einzelnen Fällen noch eine stellenweise graue Längsstreifung der Rindenzellen; auch diese verschwindet allmählich und es bleibt eine auffallende Längsstreifung der Rinde zurück, die auf das gelockerte Gefüge der Rindenfasern zurückzuführen ist. Von einer „fibrillären“ Streifung kann meines Erachtens nicht gesprochen werden, da die Rindenfasern sich aus einzelnen Zellen aufbauen und die letzteren erst bei starken Vergrößerungen den Aufbau aus Fibrillen erkennen lassen.

Die kurzen Spalten von 5—7 Teilstriche Länge (bei 370facher Vergrößerung) gehören den natürlichen Luftspalten des Haares an; eine sichere Entscheidung, ob eine Luftspalte oder eine lineare Dampfspalte vorliegt, wird nicht immer möglich sein. Die Ränder der Spalten sind stets glatt. Eine Zunahme der Dampfspalten bei der Erhitzung gedeckter Haare konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Granula der schmalen Dampfspalten der Rinde wird man, wie dargelegt, wohl als Pigmentgranula auffassen müssen, die beim weißen Haar natürlich weiß erscheinen und die in der Wand der Dampfspalten liegen; soweit sie kein Pigment enthalten, kann man daran denken,

<sup>1</sup> REUMUTH: Klepzig's Textil-Z. 1942, H. 13/14, 288. — Melliand Textilber. 23, 1, 53 (1942).

daß sie unter dem Einfluß der Hydrolyse aus dem Rindenkeratin entstanden sind<sup>1</sup>.

Es kommen aber auch kürzere Dampfspalten vor, deren Ränder unregelmäßig gekerbt erscheinen und die den Eindruck erwecken, als ob sie aus vergasten Granulis entstanden wären. Solche Bilder fanden sich gelegentlich unterhalb der weißen Cuticula an wassergesättigten und durch die Flamme gezogenen gekrümmten Haaren des Gorilla,

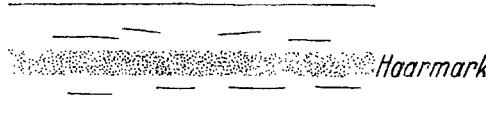


Abb. 1. Getrocknetes Haar. Mehrfach angehaucht, dann plötzlich erhitzt auf 188° 1½ Min. Die wasser dampfgefüllten Räume haben die Rinde in der Umgebung des Markes erweitert. Das Wasser ist von den Rindenzellen absorbiert. Haar mit Dampfspalten.



Abb. 2. Wasserhaltiges, markhaltiges, weißes menschliches Kopfhaar, schnell durch die Flamme gezogen, mit Dampfspalten. Einzelne Dampfspalten zeigen bereits Granula. Präparat in Canadabalsam vom 23. 1. 45, gezeichnet am 26. 6. 45. Vergrößerung 65mal. Die Dampfspalten heben sich als schwarze Linien von dem weißen Haare ab.

Abb. 3. Granulierte Dampfspalten in der Rinde eines durch die Flamme gezogenen menschlichen nassen Kopfhaares. Canadabalsam.

Orang und des Mantelpavians. Diese Dampfspalten können ihre Entstehung dem vergasten Wasser, vorwiegend aber wohl dem Zerfall des Keratins bzw. der Granula verdanken. Solche unregelmäßigen Ränder von kurzen Dampfspalten fanden sich aber immer nur dicht unterhalb der Cuticula oder in der Umgebung von Luftspalten. Im allgemeinen bleibt das Haarpigment völlig unverändert erhalten. Die Wasseraufnahme des Keratins können wir immer nur an dem Quellungszustande der Haarrinde erkennen, wenn man nicht die weißen, grauen oder schwarzen Granula, die als verschiedene Stufen der Luftverdichtung zu deuten wären, als Kondensationskerne anerkennen will.

Gleicher oder ähnliches dürfte für die Granula des Haarmarkes gelten. Gelegentlich kann man bei erhitzten Haaren beobachten, daß eine *große* schwarze *Granulierung* des Markes erkennbar ist, in welcher der einzelne lufthaltige Herd etwa die Größe eines Zellkernes aufweist.

<sup>1</sup> Die Granula spielen sowohl in der normalen wie in der pathologischen Anatomie der Epithelzellen seit ALTMANN eine wichtige Rolle. Es war deshalb von Interesse, daß bei der Erhitzung des wasserhaltigen Keratins Granula zur Beobachtung gelangten.

Eine Vergrößerung der Granula vor der Vergasung habe ich nicht mit Sicherheit feststellen können.

Die relativ großen Hohlräume im Haarmark scheinen dafür zu sprechen, daß es sich hier um die Vorratskammern des gespeicherten Haarwassers handelt. Damit würde auch im Einklang sein, daß der Markreichtum dickerer Haare häufig ein größerer ist als der der dünneren Haare. Auch der relative Wasserreichtum des Haares in der unmittelbaren Umgebung des Markes läßt sich verstehen, denn es pflegen die ersten Dampfspalten und Poren nach der Erhitzung in der unmittelbaren Umgebung des Markes erkennbar zu werden.

Aus unseren früheren Untersuchungen ergab sich, daß die thermische Verkürzung eines Haares völlig irreversibel ist, das gleiche gilt von der Zunahme der Longitudinalquellung des Haares und von der Abnahme der Reißfestigkeit. Dagegen geht unter dem Einfluß des Wassers die Trägheit der Wasseraufnahme erhitzter Haare wieder zurück und ebenso die durch Austrocknung bedingte sog. Degeneration des Haares (Längung<sup>1</sup>), d. h. die Fähigkeit der Wasseraufnahme des erhitzten Haares ist nicht gestört. Die beschriebene Poren- und Dampfspaltenbildung im Haare dürften bei kurzer Einwirkung von Temperaturen bis zu etwa 180° C. noch reversibel sein, bei längerer Einwirkung aber nicht mehr. Im hygrometrischen Bilde kommt die Porenbildung kaum zum Ausdruck, da die langen Haarfasern nicht wesentlich geschädigt sind. Die Dampfspaltenbildung, besonders wenn sie mit Gelbfärbung des Haares oder Keratinzerfall verbunden ist, führt aber dazu, daß die Longitudinalquellung das Vielfache der Longitudinalquellung eines nicht erhitzten Haares betragen kann. Die Dampfspaltenbildung höheren Grades wird voraussichtlich auch die Reißfestigkeit des Haares herabsetzen.

Unsere Untersuchungen<sup>2</sup> ergänzen insofern das eingangs entworfene Bild von den Luftwegen des Haares, als die Porenbildung und die Markräume als die präformierten Lufträume des Haares aufzufassen sind. Die granulierten Dampfspalten sind sekundäre Bildungen, die aber in den Spaltbildungen der Wimper- und Augenbrauensaare alter Leute ihre physiologische Parallelie finden und ebenso in den Luftspalten die sich in der Rinde alter Dermoidhaare nachweisen lassen. Ist die Vorstellung richtig, daß die Luftfeuchte sich zuerst in der Umgebung der Poren und des Markes kondensiert, so würde das zugunsten einer netzartig porösen Struktur der Epiderismembran sprechen, denn es liegt kein anatomisch erkennbarer Grund für die Wasseraufnahme schon zwischen Cuticula und Epiderismembran vor. Andererseits

<sup>1</sup> Vgl. BRAUCKHOFF, H.: Biochem. Z. 316, 374 (1944).

<sup>2</sup> Vgl. LOCHTE, TH.: Untersuchungen an Dermoidhaaren, S. 18. Leipzig: Verlag Dr. Schopf, 1940.

zeigt das Haarhygrometer, daß sich das Haar schon innerhalb von Minuten auf eine Änderung der Luftfeuchte einstellt. Das Haarkeratin

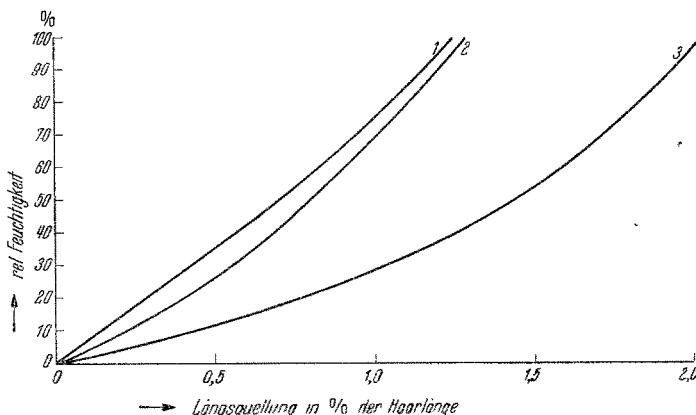


Abb. 4. Längsquellung von Haaren in Abhängigkeit von der relativen Feuchte.  
1 Orang; 2 Schimpanse; 3 menschliches Frauenhaar.

kann demnach die nach BONGÅRDS verdichtete Luftfeuchte direkt aufnehmen. Es besteht folglich eine mehrfache Sicherung der Aufnahme des Haarwassers (Capillar und Kontaktwirkung). Der verschiedene Quellungszustand der Haarzellen und Fasern macht an sich die Annahme einer gewissen Bewegungsfreiheit der Rindenzellen erforderlich, die durch die elastischen Eigenschaften der Epiderismembran gesichert sein dürfte.

Die hier dargelegten Anschauungen sind zweifellos auch für das tierische Haar von Interesse. Untersucht wurden von Dr. BRAUCKHOFF die Haare von Schimpansen, vom Gorilla, vom Orang und vom Pan paniscus auf ihre hygrometrischen Eigenschaften. Alle Haare wiesen eine geringere Longitudinalquellung auf als das menschliche Haar. Während das letztere im Feuchtigkeitsintervall 0—100% um etwa 2% in der Längsrichtung quillt, wurden von Herrn Dr. BRAUCKHOFF bei den Affenhaaren im gleichen Feuchtintervall folgende Quellungswerte festgestellt: Schimpanse 1,0%, 1,06%, 1,08%, 1,29%; Orang 1,24%; Gorilla 1,2%; Pan paniscus 1,18%, 1,40%.

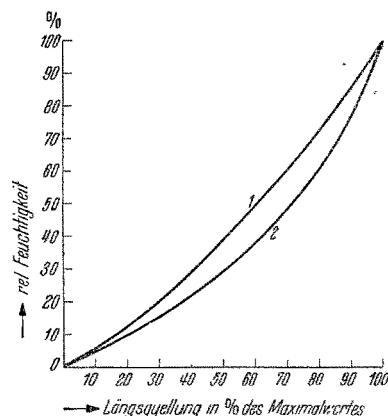


Abb. 5. Längsquellung eines Schimpansen- und eines menschlichen Frauenhaars (auf gleiche Endwerte bezogen).  
1 Schimpansenhaar; 2 menschliches Frauenhaar.

Trägt man im Schaubild die Längenänderung als Abszisse, die relative Feuchte als Ordinate ein, so verläuft die Kurve sowohl beim menschlichen Haar als auch bei den Affenhaaren nach oben konkav. Jedoch ist bei den Affenhaaren der Kurvenverlauf flacher, beim Orang bei niederen Feuchtigkeiten sogar annähernd geradlinig (vgl. Abb. 4 und 5). Im allgemeinen kann man sagen, daß sich das Tierhaar im Hygrometerträger verhält als das menschliche Haar. Geringer ist auch die Reißdehnung der Affenhaare gegenüber dem menschlichen Haar. Die Schimpansenhaare waren nur um 3,5—10,3 %, die Oranghaare um 17,6—29,7 % ihrer Länge dehnbar.

Es wäre nun gewiß von Interesse gewesen, auch das Haar der anthropomorphen Affen, des Gorilla, Orang, Schimpansen und vom Pan paniscus weiter auf Poren und Dampfspalten zu untersuchen. Die in meinem Besitz befindlichen Haare dieser Tiere waren aber alle so stark pigmentiert, daß sie sich zu einem Erhitzungsversuch nicht eigneten. Bleichversuche mit Perhydrol gelangen nur unvollkommen; sie waren auch nicht unbedenklich, da das  $H_2O_2$  das Haar leicht schädigt. Die Erhitzungsversuche an weißen Haaren der anthropomorphen Affen müssen daher auf spätere Zeit verschoben werden<sup>1</sup>.

#### Zusammenfassung.

1. Die Wege für die Luftfeuchte des Haares bestehen in der Cuticula in feinsten Poren und Längsspalten von 10—100  $m\mu$  Breite, die unter dem Übermikroskop erkennbar werden. Die porige Struktur der Epiderismembran ist noch nicht völlig gesichert. In der Rinde finden sich pigmentierte Luftspalten und Poren.

2. Wassergesättigte, plötzlich auf 180° erhitzte menschliche Kopfhaare lassen erweiterte Poren und Dampfspalten erkennen, letztere besonders an den Kopfhaaren Neugeborener und in den unverletzten Haarspitzen erwachsener Personen. Die Dampfspalten entstehen in der Umgebung der Haarfasern, die Poren aus vergrößerten präformierten Lufträumen in der Rinde des Haares.

3. Die Wasserbildung im Haare erfolgt nach BONGARDS durch direkte Aufnahme der verdichteten Luftfeuchte von der Oberfläche des Haares einerseits durch Kontaktwirkung, andererseits durch Capillarwirkung und von den Poren der Rinde aus.

4. Die wasserhaltigen Granula geben das Wasser sehr schnell an die Rindenzelle ab. Der Wassergehalt ist dann nicht mehr mikroskopisch an den Granulis, sondern nur durch den Quellungszustand der Faser noch nachweisbar.

5. Ähnliches gilt für die Granula des Haarmarkes. Die Lufträume des Markes werden als die Speicher des Haarwassers aufgefaßt. Bei

<sup>1</sup> ELÖD, E., H. NOWOTNY u. H. ZAHN: Melliand Textilber. 1942, 313.

erhitzten wasserhaltigen Haaren finden sich die ersten Dampfspalten in der Umgebung des Haarmarkes.

6. Während die thermische Verkürzung eines Haares völlig irreversibel ist, und ebenso die Zunahme der Longitudinalquellung als Folge der Erhitzung und die Abnahme der Reißfestigkeit, geht die Trägheit der Wasseraufnahme wieder zurück und ebenso die durch Austrocknung bedingte Längung (Degeneration) des Haares.

Die Poren- und Dampfspaltenbildung dürfte bei kurzer Einwirkung von Temperaturen bis zu etwa 180° C noch reversibel sein, bei längerer Einwirkung nicht mehr.

Im hygrometrischen Bilde kommt die Porenbildung und die Bildung einzelner weniger Dampfspalten nicht zum Ausdruck, da sie reversibel sind. Dampfspaltenbildung höheren Grades wird voraussichtlich die Reißfestigkeit des Haares herabsetzen, ganz besonders dann, wenn die Gasbildung durch Zerfall des Keratins bedingt wurde.

7. Das tierische Haar zeigt keine so deutliche Porenbildung und Dampfspaltenbildung wie das menschliche Haar.

8. Das Haar des Mantelpavians zeigte deutliche Poren- und Dampfspaltenbildung.

9. Weiße Haare des Schimpansen, Orang und Gorilla sowie vom Pan paniscus standen nicht zur Verfügung. Über ihr Verhalten bei der Erhitzung kann daher zur Zeit noch nichts ausgesagt werden.