

Über erhitzte Haare in gerichtsmedizinischer Beziehung.

Von

TH. LOCHTE und H. BRAUCKHOFF, Göttingen.

(Eingegangen am 2. Oktober 1947.)

Im voraus sei bemerkt, daß die Frage, ob eine Person lebend in die Flammen geraten oder als Leiche verbrannt ist, nicht durch die Untersuchung des fertigen Haares beantwortet werden kann.

Das menschliche Haar ist aus Zellen der Haut aufgebaut, die verhornt sind. Das Haar ist nichts Lebendiges mehr, insbesondere zeigt es keinen Stoffwechsel. Mit der Verhornung hat das Haar eine Eigenschaft gewonnen, die ihm einen langen Bestand sichert. Unter günstigen Bedingungen kann es Millionen von Jahren überdauern (Haarfunde in der Braunkohle und vom Mammut im sibirischen Eise).

Lebend ist vom Haar nur der Wurzelteil auf der Papille. Beide Teile gehören der Haut an.

Es kann daher die eingangs aufgeworfene Frage unter Umständen wohl durch die Untersuchung der Haut, nicht aber durch die Untersuchung der Haare Beantwortung finden.

Eine hervorstechende Eigenschaft des Keratins ist seine Fähigkeit, Wasser aufzunehmen. Beim menschlichen Haare ist sie so fein ausgebildet, daß der Wassergehalt des Haares genau dem relativen Feuchtegehalt der atmosphärischen Luft folgt. Infolgedessen ist das menschliche Haar zu hygrometrischen Messungen geeignet. Allerdings nur dann, wenn es bis zu einem gewissen Grade entfettet ist. Stark fett haltige Haare reagieren naturgemäß nur sehr langsam oder gar nicht auf die atmosphärische Feuchtigkeit. Das *Haarkeratin ist hydrophil*. Das normale menschliche Haar hat ferner die Eigenschaft, dehnbar zu sein. Im lufttrockenen Zustande kann es etwa um ein Drittel seiner Länge gedehnt werden. Legt man es in Wasser, so geht es wieder auf seine ursprüngliche Länge zurück. Ein nasses Haar kann ungefähr auf seine doppelte Länge gedehnt werden. Wasser und Erhitzung macht die Dehnung gänzlich oder teilweise rückgängig. Schon anhauchen genügt, ein gedehntes Haar zur Kontraktion zu veranlassen.

In den folgenden Zeilen sollen die Veränderungen, die an erhitzten Haaren beobachtet werden können, Gegenstand der Untersuchung sein, insbesondere nach der Richtung hin, welche Schlüsse man auf die Temperatur ziehen kann, der das Individuum ausgesetzt war.

Mit bloßem Auge können an erhitzten Haaren nur Farbenveränderungen und Kräuselung, schließlich eine Herabsetzung der Festigkeit

des Haares wahrgenommen werden. Die feineren Veränderungen sind bislang nicht genauer untersucht worden. Es gehört dazu die Verwendung besonderer Apparate. Am längsten ist das Haarhygrometer in Gebrauch (1783 hergestellt durch *Horace Benedicte de Saussüre*). In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts kam dazu in allmählich steigendem Maße der Gebrauch des Mikroskops. Wichtige Untersuchungen von Haaren im polarisierten Lichte und Beiträge zur Doppelbrechung des menschlichen Kopfhaares verdanken wir J. W. SCHMIDT¹. J. W. SCHMIDT stellte fest, daß die Doppelbrechung in der Rinde nach Erhitzung verschwindet, auch die des Oberhäutchens fällt bis zur Isotropie, kehrt dann mit umgekehrtem optischen Charakter wieder, geht aber durch weiter gesteigerte Erhitzung endgültig verloren. Der Wandel der Optik vollzieht sich ohne wahrnehmbare Änderung der mikroskopischen Struktur².

Die Firma Leitz in Wetzlar hat ein besonderes Gerät gebaut, das es erlaubt, die Vorgänge am gedehnten Haare zu erforschen³. Die mikroskopischen Veränderungen an erhitzten gedehnten Haaren sind aber noch nicht untersucht. Ein besonderes Haardehnungsgerät für technisch wissenschaftliche Untersuchungen hat der wissenschaftliche Mitarbeiter der Firma Wilhelm Lambrecht in Göttingen, Dr. H. BRAUCKHOFF, hergestellt⁴.

Für die Erhitzung der Haare wurde in unseren Versuchen ein elektrisch beheiztes zylindrisches Glasgefäß von etwa 40 cm Höhe des Instituts für Med. Physik (Direktor: Prof. Dr. H. KÜSTNER) verwendet. Das Gerät ist durch Asbest gut wärmeisoliert. In dem Glasgefäß befindet sich ein Hg-Thermometer mit Gradeinteilung bis 400°, das sich in einem starken Gummipfropfen befindet, der die obere Öffnung des Glasgefäßes verschließt. Eine zweite, etwa fingerdicke Bohrung in dem Gummipfropfen gestattet es, die Haare in die erhitzte Luft an einer gegliederten Kette aus Eisendraht freihängend einzuführen. Das Thermometer erlaubt es, die Temperatur genau einzustellen (mit geringen Schwankungen bis etwa 5° bei länger dauernder Erhitzung). Die am Thermometer abgelesene Zahl bezieht sich auf die Luftwärme im Bereiche des unteren Endes des Thermometerrohres. Weiter oberhalb und unterhalb dieser Stelle sinkt die Ziffer auf der Strecke eines etwa 70 mm langen Haares um 20–30°, je nach der Höhe der Temperatur. Diese Ungenauigkeit trat bei jeder Benutzung der Temperatur zutage, gestattet es aber doch, die Einzel-

¹ SCHMIDT, J. W.: Mikrokosmos 1925 u. Z. Zellforsch. 15, 188 (1932.)

² Vgl. hierzu auch die Angaben von E. ELÖD, H. NOWOTNY und H. ZAHN in Melliands Textilberichten, Heidelberg 1944: Über die Reaktionsfähigkeit und Struktur des Wollkeratins.

³ LEHMANN, E.: Melliands Textilberichte 1941, Nr 9.

⁴ BRAUCKHOFF, H.: Biochem. Z. 312, 51 (1942).

beobachtungen miteinander zu vergleichen, und konnte insoweit unbedenklich in Kauf genommen werden. Die Haare wurden teils freischwebend, an einem Holzstabe locker mit einem Fädchen befestigt, in die erhitzte Luft gesenkt, teils an einem schmalen, mehrfach durchlochten dünnen Aluminiumblech oder Kartonstreifen, in den die Haare von bestimmter Länge eingezogen waren, teils in Papierhüllen, in denen das Haar lose lag.

Diesen Anordnungen lag der Gedanke zugrunde, daß die Höhe der erreichten Eigenwärme des Haares für den mikroskopischen Haarbefund von entscheidender Bedeutung sein mußte. Die Widerstandsfähigkeit des Keratins bedingt es, daß das Haar relativ hohe Temperaturen ertragen kann, ohne wesentlich zu leiden. Insbesondere treten bis 190° keine *Farbenveränderungen* und *Kräuselungen* des Haares ein. Das Hauptinteresse haben daher für den Gerichtsarzt die Temperaturen von 190—250°.

Es interessiert uns in erster Linie die Wasseraufnahmefähigkeit des Haares, d. h. seine Quellfähigkeit.

Die *Quellfähigkeit des Keratins*¹ ist umso größer, je trockener das Haar ist. Will man Versuche darüber anstellen, so muß man — wie oben angegeben — entfettete Haare verwenden, die leichter das Wasser aufnehmen als fetthaltige und man muß Haare zugrunde legen, die durch längere Erhitzung auf etwa 100—120° C völlig wasserfrei geworden sind. Nach der Entnahme aus dem Heizapparat muß man das Haar *sofort* unter das Mikroskop bringen, da es bei Berührung mit der atmosphärischen Luft sofort beginnt, wieder Wasser aufzunehmen. Die steigende Wasseraufnahme kann man an der Einstellungsgeschwindigkeit des Haares im Haarhygrometer genauer verfolgen.

Das im Haare vorhandene Wasser kann man sichtbar machen, wenn man das Haar plötzlich einer Temperatur von 150—180° für 1—2 Min. aussetzt. Das Wasser wandelt sich sofort im Dampf um. Es vergrößern sich die vorhandenen Lufträume des Haares, d. h.

¹ Die Quellung des Haares bleibt bei allen Haaren, bei denen diese Vorbedingungen nicht erfüllt sind, ein nicht exakt meßbarer Vorgang, sowohl bezüglich der Longitudinalquellung, wie der Breitenquellung des Haares. Bei einem zimmertrockenen Kopfhair ergab sich in der unverletzten Haarspitze bei Berührung mit Wasser eine Quellung von 1 Teilstrich Breite bis auf $1\frac{1}{2}$ —2 Teilstriche Breite. An einer abgebrochenen Spitze von 4 Teilstrichen Breite eine Verbreiterung auf 5 Teilstriche; bei einer abgebrochenen Spitze von 10 Teilstrichen eine Verbreiterung auf 11 Teilstriche. Aus dieser Beobachtung geht die Unvollkommenheit dieser Versuche eindeutig hervor, denn wenn sich eine Haarspitze von 1 auf 2 Teilstriche verbreitert, müßte man bei einem 10 Teilstriche breitem Haare eine Quellung bis auf 20 Teilstriche erwarten. Es müßte auch stets oder doch in den meisten Fällen die Quellung mit einer sichtbaren Bewegung des Haares verbunden sein. Das ist aber nicht der Fall und zwar deshalb, weil das Haar nur eine geringe Längsquellung aufweist.

es kommt zur Porenbildung. War die Erhitzungstemperatur niedrig, etwa 125—150° C, so können die Poren wieder verschwinden; betrug die Temperatur 150—190°, so bleiben die Poren längerer Zeit oder dauernd. War der Wassergehalt des Haares erheblich, so fließen die Poren zu Dampfspalten zusammen, die als schwarze Linien zwischen den Fasern der Rindenzellen sichtbar werden, zuerst in der Umgebung des Markes. Bei Untersuchung in Xylol gelingt es, die Dampfspalten mit Xylol zu füllen und man sieht im Innern der Spalte zahlreiche Granula. Untersucht man das Haar einige Zeit nach Herstellung der Dampfspalten im Kanadabalsampräparat, so kann man ein allmähliches Grauwerden der Dampfspalten beobachten, das darauf beruht, daß die Granula der Dampfspalten nur vereinzelt noch schwarze Färbung aufweisen. Offenbar haben die Haargranula zum Teil das Haarwasser an die Rindenzellen abgegeben.

Bei der Untersuchung erhitzter Haare über 200° werden die Quellungsvorgänge im Mikroskop dem Auge sichtbar.

Die starke Erhitzung der Haare schädigt die Polypeptidketten. Die Hitzeschädigungen des Haares sind daher irreversible. Die im Mikroskop erkennbare Bewegung stärker erhitzter Haare ist daher nicht auf eine Streckung der Polypeptidketten zurückführbar, sondern allein auf Quellungsvorgänge.

Die mikroskopischen Veränderungen an erhitzten Haaren sind im wesentlichen bekannt. Als erstes Zeichen der Erhitzung ist eine Vergrößerung der feinen, zentral gelegenen Luftspalten in der Rinde, in der Umgebung des Markes zu bemerken. Das Haar erscheint bei schwacher Vergrößerung (65fach) wie übersät mit feinen schwarzen Punkten. Bei stärkerer Vergrößerung (370fach) zeigen die Luftspalten eine Länge von 5 Teilstriichen und eine Breite von 1 Teilstrich im Okularmikrometer. Gleichzeitig finden sich auch vergrößerte Luft Räume im Mark, zum Teil auch größere Luftblasen. Dieses Bild ergibt sich *bei langsamer Austrocknung* des Haares bis zu 180°. Bei weiterer Erhitzung (bis 210°) tritt Gelbfärbung des Keratins ein, erst schwächer, dann bis zum satten Gelb, dann Orange (bis 215—220°), schließlich Mahagonirot und Schwarzrot. Mit steigender Gelbfärbung werden die vergrößerten Luftspalten zahlreicher und größer, in der Achse des Haares nehmen sie die Gestalt von *Luftbläschen* an. Der Markstrang nimmt an Breite zu von 5 auf 8 Teilstriche im Okularmikrometer (bei 370°). Im roten Teile des Haares wird die Luftsäule des Markes bei einem Haar von 0,081 mm Breite bereits 10—15 Teilstriche breit (bis 0,04 mm). Bei Druck bricht das Haar in der Längsachse durch. Die Rinde verschmälert sich. Diese Feststellungen können nur an weißen Haaren gewonnen werden. Bei pigmentierten Haaren

ist auf die weiße oder gelbe Farbe¹ des Keratins der Cuticula, der unverletzten weißen Haarspitze, eventuell des helleren Fußteiles des Haares eventuell auch auf die Farbe des Keratins gedehnter Haar-teile zu achten.

Die Rotfärbung des Haares tritt bei 180—190° C sehr schnell ein, bei niedrigeren Temperaturen langsamer. Im Autoclaven erhielten wir bei 5 atü und 20 Min. Erhitzungsdauer bei weißem menschlichem Haar eine Umwandlung zu glänzendem Goldrot schon bei 152°. Die Rotfärbung hängt aber nicht nur vom Wassergehalt und der Höhe der Temperatur und deren Einwirkungsdauer ab, sondern auch von der Dicke der Keratinschicht. An dickeren Haaren ist die Rotfärbung früher erkennbar als bei sehr dünnen Haaren. Auch die beginnende Gelb- und Orangefärbung des Keratins ist in dicker Schicht leichter erkennbar als in dünner.

Für das unbewaffnete Auge ist mit der Umwandlung des weißen Keratins nach Gelb-, Orange und Rot ebenfalls eine Farbenveränderung wahrnehmbar, die bei hellblonden Haaren deutlicher in die Erscheinung treten muß als bei stark pigmentierten. Es ist beachtlich, daß hier Farbmischungen entstehen, in allen Schattierungen der natürlichen Haarfarben mit Gelb, Orange und Rot. Diese Farbmischungen sind in den Farbtafeln von WILHELM OSWALD nicht angegeben. Es fehlt auch die braune Farbe.

Das beschriebene Bild gilt für Haare, die langsam (etwa in 30 bis 40 Min.) bis auf 220° erhitzt wurden, also für langsam getrocknete Haare. Das Endprodukt ist ein mahagonirot, leicht brüchiges, röhrenförmiges Gebilde, das bei geringem Druck mit der Präpariernadel bei Untersuchung in Xylol sofort zersplittert.

Bei stark wasserhaltigen Haaren ist die Luftblasenbildung in Rinde und Mark eine sehr lebhaft. Sie führt zu einer starken Volumenzunahme des Haares (bis etwa 0,2 mm). Mikroskopisch zeigt das Haar einen waben- oder schwammartigen Bau. Je nach Art der Erhitzung, der Dauer derselben und der Höhe und je nach dem Wassergehalt des Haares ist das mikroskopische Bild ein verschiedenes.

¹ *Gelbfärbung* des weißen Haares tritt im allgemeinen erst bei einer Temperatur von 170—180° ein, umso schneller, je länger der Aufenthalt des Haares in dem elektrischen Heizapparat dauerte. Bisher nicht publizierte Versuche ergaben, daß man das weiße menschliche Kopfhair etwa 40—50 Stunden lang auf 150° erhitzen muß, um Gelbfärbung zu erzielen und ebenso lange auf 165 bis 175°, um Orange- oder Rotfärbung zu erreichen. — Ein gelb gewordenes Haar hatte eine Longitudinalquellung von 2%. Gelbfärbung trat bei einem trockenen, plötzlich auf 195—200° erhitzten Haare in 1½ Min. ein, bei einem nassen auf 207—210° erhitzten Haare in 1—1½ Min. Die Farbe ging teilweise nach gelbrot. — Weiß- oder Gelbfärbung wurde an Haaren beobachtet, die rasch durch die Flamme gezogen wurden und ferner bei Haaren, die mit elektrischen Funken verbrannt waren.

Die Gasblasenbildung betrifft zuerst die präformierten Hohlräume des Haares, die Poren der Rinde und die Lufträume des Markes, die sich infolge des entstehenden Wasserdampfes vergrößern bei Temperaturen zwischen 100—130° C. Bei Temperaturen von 200° C und mehr kommt es zu größeren Luftblasen aus den bereits vorhandenen; außerdem aber zu einem Zerfall des Keratins und zur Bildung von Aminen und Schwefelwasserstoff.

Auch bei wasserhaltigen Haaren treten bei starker Erhitzung Gelb-, Orange- und Rotfärbung des Keratins auf, je nach der Höhe und Dauer der Erhitzung früher oder später. Das Endprodukt kann unter geeigneten Bedingungen wiederum ein mahagonirot, leicht splitterndes Haar sein mit konfluierenden zentralen Lufträumen.

Das normale Haar erscheint bei mikroskopischer Betrachtung als ein leicht biegsames, jeder Bewegung folgendes Gebilde. Das auf 190° erhitzte Haar zeigt dagegen eine gewisse Steifheit oder Starre. Dieser Zustand erklärt sich aus der Vergrößerung der kleinen Luftspalten und den vergrößerten Lufträumen des Markes. Man kann diesen Befund aber nicht ohne weiteres diagnostisch verwerten, weil alle Haare, die über die Dicke eines Kopfhaares (0,07—0,09 mm) hinausgehen (0,1—0,15 mm), z. B. Pubertätshaare eine gleiche oder ähnliche Steifheit zeigen, aber mikroskopisch von Kopfhaaren nicht ohne weiteres zu unterscheiden sind.

Die Erweiterung der feinen Luftspalten im zentralen Teile der Haare konnte schon bei einer Erhitzung auf 170° von 2—5 Min. Dauer festgestellt werden, ebenso auch als wesentlicher Befund bei einer Erhitzung auf 254° nach 30 Sek. Daraus ergibt sich, daß *bei niederen Temperaturen und langer Einwirkung dieselben Bilder zustande kommen können wie bei hohen Temperaturen von kurzer Dauer*. Dieser Punkt erfordert besondere Beachtung bei Feststellung der *Höhe* der erreichten Temperaturen, weil gleichzeitig immer die *Dauer* der Temperatur zu berücksichtigen ist.

Damit kommen wir zu den weiteren Untersuchungsergebnissen, die teils aus Anlaß der hier aufgeworfenen Fragen, teils aus anderen Gründen früher vorgenommen wurden¹. Während die meisten Körper in der Wärme an Volumen zunehmen, ist beim menschlichen und tierischen Haare das Gegenteil der Fall: *Sie verkürzen sich ähnlich dem Kautschuk*. Damit ist ein weiterer Faktor gegeben, der zu einer gewissen Steifigkeit des Haares führt. Die Verkürzung führt aber auch zur *Krümmung* und *Kräuselung* des Haares. Es wurden deshalb Versuche unternommen, die *Größe der Verkürzung* bei *plötzlicher* Erhitzung zu ermitteln. Diese ist, wie unsere Untersuchungen zeigten, wirksamer als eine langsame Erhitzung. Sie beruht auf einer Ver-

¹ LOCHTE, TH. u. H. BRAUCKHOFF: Biochem. Z. 316.

kürzung der Polypeptidketten und wird durch die Anwesenheit von Wasser im Haar begünstigt. Das Wasser wirkt gewissermaßen als Gleitmittel.

Unsere Untersuchungen ergaben bei plötzlicher Erhitzung *luft-trockener nicht gedehnter Haare*:

Tabelle 1.

	Temperatur	Ursprüngliche Länge mm	Endlänge nach der Erhitzung mm	Verkürzung in Prozenten der Haarlänge	Dauer der Erhitzung
1.	170°	171,5	170	0,87	1 Min.
2.	170°	182	180	1,1	2 „
3.	180°	171	169	1,1	2 „
4.	190°	178	176	1,1	2 „
5.	210—215°	157,5	155	1,6	2 „
6.	210—215°	160	153,5	4	10 „
7.	230°	157	149,6	4,7	50 Sek.
8.	240°	178	170	4,5	50 „ Haar brüchig
9.	254°	151	142,5	5,6	3 „ „ „
10.	250°	157	147	6,3	50 „ „ „

Man darf wohl annehmen, daß bei plötzlicher Erhitzung sich das Haar bei der ersten Berührung mit der heißen Luft sofort zusammenzieht, also gewissermaßen schockartig. Die weiteren Ergebnisse unserer Untersuchungen an erhitzten Haaren wurden an *allmählich erhitzten und gedehnten* Haaren gewonnen mit Hilfe eines Kontaktthermometers, das auf elektrischem Wege eine genaue Einstellung der gewünschten Temperatur gestattete. Es ergab sich, daß sich im Bereiche von 100—160° die durchschnittlich 70—71 mm langen, 24 Stunden hindurch in Zimmerluft um 30 % gedehnten Haare um 52,2—72,2 % der Überdehnung verkürzten; zwischen 160—210° schon um 102—158 % der Überdehnung (Tabelle 2). Die gedehnten Haare trugen am unteren Ende ein durchlochstes Metallplättchen von 104 mg Gewicht, wie es für Hygrometerhaare üblich ist. Bei sehr dünnen Haaren hatte schon diese geringe Belastung zur Folge, daß sie sich nicht in der Hitze zusammenziehen konnten, sondern daß dabei sogar eine Verlängerung des Haares durch Dehnung eintrat. Die zunehmende Verkürzungstendenz mit steigender Temperatur ist aus diesen Versuchen ohne weiteres erkennbar.

Spannt man ein trocken erhitztes Haar in ein Hygrometer, so *nimmt es den Wasserdampf der Luft* bzw. auch Wasser beim Benetzen *äußerst träge auf*. Die Einstellungsgeschwindigkeit des Hygrometers wird erst nach völliger Aufnahme der Sättigungsfeuchtigkeit wieder normal. Während bei Bespritzen mit destilliertem Wasser ein normales Haar in etwa 45—60 Sek. auf 2 % genau den Sättigungszustand erreicht, nimmt die Einstellzeit nach Erhitzen auf über 100° auf 80

bis 100 Sek., nach Erhitzungstemperaturen oberhalb 160° auf über 100 Sek. zu, während in einem nachfolgenden Versuch infolge der Regeneration des Haares die Einstellzeit wieder normal war. Um einwandfreie Vergleichswerte zu erhalten, wurde immer von der gleichen Ausgangsfeuchtigkeit (40—45 %) ausgegangen.

Von Wichtigkeit sind auch hier die Ermittlungen über die *Longitudinalquellung* des Haares. Diese und die folgenden Untersuchungen wurden von BRAUCKHOFF im Laboratorium der Firma Wilhelm Lambrecht durchgeführt und von ihm formuliert. Normalerweise ändern die Haare im Bereiche von 0—100 % relativer Feuchtigkeit ihre Länge um 1,7—2 %. Die Kurve, die die Längenänderung in Abhängigkeit von der relativen Feuchtigkeit wiedergibt, verläuft annähernd logarithmisch. Für gleiche Feuchtigkeitsintervalle sind somit bei niederen Feuchtigkeiten die Längenänderungen größer als bei höheren Feuchtigkeiten. Durch starke Erhitzung ändern sich nun die hygrometrischen Eigenschaften des Haares in beträchtlichem Maße. *Die Longitudinalquellung nimmt zu, und zwar am stärksten bei höheren Feuchtigkeiten, so daß die Charakteristik der eben erwähnten Kurve eine ganz andere wird.* Die Zunahme der Longitudinalquellung hängt wieder von der Höhe der Temperatur und der Zeitdauer der Erhitzung ab. Unter der Voraussetzung, daß die Erhitzung mindestens mehrere Stunden gedauert hat, lassen sich hygrometrisch bereits Erhitzungstemperaturen von 150° an aufwärts nachweisen. Die Longitudinalquellung nimmt im Feuchtigkeitsbereich von 30—65 % um 10—15 %, im Feuchtigkeitsbereich von 60—95 % um 20—25 %, nach mehrstündiger Erhitzung auf 150° zu. Mit steigender Erhitzungstemperatur genügen schließlich auch kürzere Erhitzungszeiten zum Nachweis einer stattgehabten Erhitzung. So konnte eine merkliche Zunahme der Longitudinalquellung bei einem nur 8 Sek. hindurch auf 250° erhitzten Haare festgestellt werden. Sie kann schließlich das 4—5fache des nicht erhitzten Haares betragen, aber *eine endgültige Aussage über die Höhe der Erhitzungstemperatur läßt sich infolge des Einflusses der Zeitdauer nie machen.* Diese Änderung der Longitudinalquellung ist *völlig irreversibel*, d. h. sie kann weder in kälterer Luft noch im Wasser wieder rückgängig gemacht werden. Jede Schädigung des Haares hat eine Zunahme der Longitudinalquellung zur Folge, z. B. auch chemische Schädigung.

Im Hygrometer werden die Längenänderungen des Haares durch einen geeigneten Hebelmechanismus auf einen Zeiger übertragen, der über einer in Prozenten der relativen Feuchtigkeit geteilten Skala spielt. Die Firma Lambrecht hat für besondere Versuchszwecke aber auch Hygrometer hergestellt, in denen die Haare leicht ausgewechselt werden können. Ferner benutzt die Firma Lambrecht ein Prüfgerät, in dem

die Längenänderungen der Haare direkt ermittelt werden können. An das untere Ende des zwischen 2 Gleitschienen aufgehängten Haares wird ein Celluloidplättchen mit von 2 zu 2 mm geteilten Strichmarken gehängt, das sich unter dem Einfluß der Längenänderungen in vertikaler Richtung verschiebt. Die Verschiebung der Strichmarken kann mittels der Okularmikrometerteilung einer Ableselupe ermittelt werden. Nach Überstülpen eines Glaszylinders kann die rel. Feuchtigkeit in beliebigen Grenzen variiert werden. Die Meßergebnisse haben eine Genauigkeit von $\pm 0,02$ mm.

Schließlich sei noch folgendes erwähnt: Wenn man ein *erhitztes* Haar in ein Hygrometer einspannt und beobachtet die Anzeige zwischen 30 und 80 % relativer Feuchtigkeit, dann bei gleicher Feuchtigkeit nach Benetzen mit Wasser, so stellt man im ersteren Falle eine 12—20 % höhere Feuchtigkeit fest, als im letzteren Falle. Es dokumentiert sich darin die in der Hygrometrie als „Degeneration des Haares“ bezeichnete starke Austrocknung des Haares. Es leuchtet ein, daß auch diese Erscheinungen zum Nachweis trocken erfolgter Erhitzungen dienen können, allerdings nur unter der Voraussetzung, daß die Haare keinesfalls schon vor der Untersuchung mit Wasser oder wasserdampfgesättigter Luft in Berührung kamen.

Die Reißdehnung des normalen Haares liegt etwa bei 35—45 % der ursprünglichen Länge. Sie sank in unseren Versuchen¹:

nach $9\frac{3}{4}$ Stunden Erhitzung auf 180^0	auf $25,5\%$.
„ 2 „ „ „ 200^0	„ $15,2\%$
„ 1 „ „ „ 210^0	„ $7,7\%$
„ 8 „ „ „ 200^0	„ $5,0\%$

Die Erhitzung auf 200^0 läßt wieder die Bedeutung der Erhitzungsdauer erkennen. Die Feststellung der *herabgesetzten Reißdehnung* kann somit ebenfalls zum Nachweis einer erfolgten Erhitzung dienen, vorausgesetzt, daß keine anderweitige (eventuelle chemische) Schädigung vorlag.

Unsere Angaben über die Wirkung höherer Temperaturen auf das menschliche Haar wären unvollständig, wenn wir nicht auch der *Wirkung des gespannten Dampfes* mit einem Überdruck von 1—5 atü gedächten. Bei diesen Versuchen ist zunächst die sehr beträchtliche Verkürzung besonders bemerkenswert. Wir geben die Ergebnisse, wie wir sie bei völlig ungedehnten Haaren beobachteten, in nachfolgender Übersicht wieder.

Es ergibt sich daraus, daß mit steigender Temperatur stärkere Verkürzungen eintreten, aber auch mit längerer Einwirkung erhöhter Temperaturen. Im einzelnen Falle waren die Ergebnisse nicht immer ganz gleichmäßig. Auffällig sind insbesondere die Unterschiede bei

¹ Biochem. Z. 316, 380, Tabelle III 33, 41, 56, 57, 66.

den Haaren, die eine Viertelstunde hindurch in heißem Dampf bei einem Überdruck von 2 atü erhitzt wurden. Ein Teil der Haare verkürzte sich um 3—5%, andere Haare um 10—13%, und nur bei zwei

Tabelle 2. Die Verkürzung von in heißem Dampf bei Überdruck erhitzten Haaren.

Überdruck	Erhitzungs- dauer Stunden	Verkürzung in Prozenten der ursprüngl. Länge
2 atü (135°)	$\frac{1}{4}$	3—5
2 „ (135°)	$\frac{1}{4}$	7
2 „ (135°)	$\frac{1}{4}$	10—13
2 „ (135°)	2	20—23
3 „ (145°)	$\frac{1}{4}$	20—23
4 „ (153,3°)	$\frac{1}{4}$	23—28
5 „ (160°)	$\frac{1}{4}$	23—28
3 „ (145°)	2	30—34

Haaren wurden Verkürzungen zwischen 5 und 10% festgestellt (und zwar etwa 6—7%). Die Ursache für diese unterschiedliche Verkürzung der von gleicher Haarsorte stammenden Haare bei gleicher Behandlung erscheint uns noch nicht geklärt.

Eine sehr beträchtliche Zunahme der Longitudinalquellung ist ein weiteres

charakteristisches Kennzeichen der in heißem Dampf unter Überdruck erhitzten Haare. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist, nahm bei einigen Haaren im Feuchtigkeitsbereich 95—67% die Longitudinalquellung um das 10—20fache zu. Bei 95% traten bei stärker geschädigten Haaren Fließerscheinungen (mit der Zeit zunehmende Verlängerung) auf infolge des gleichzeitigen Einflusses der geringen Belastung, die etwa 300 mg betrug (Haarklemme und Meßplättchen).

Tabelle 3. Verkürzung und Longitudinalquellung von in heißem Dampf unter Überdruck erhitzten Haaren.

Nr.	Über- druck atü	Behand- lungsdauer Stunden	Verkürzung %	Longitudinalquellung bei		
				95—67 % r. F.	67—33 % r. F.	33—67 % r. F.
1	2	$\frac{1}{4}$	11	3,97	2,00	1,56
2	2	$\frac{1}{4}$	3	1,07	0,80	—
3	2	$\frac{1}{4}$	11	4,78	1,36	—
4	2	$\frac{1}{4}$	3	0,70	0,920	—
5	2	$\frac{1}{4}$	7	2,48	1,35	—
6	3	$\frac{1}{4}$	20	6,15	2,20	—
7	3	$\frac{1}{4}$	22	7,10	2,20	—
8	2	2	21	7,00	2,10	1,95
9	2	2	22	7,05	2,33	1,76
10	2	$\frac{1}{4}$ ¹	0,7	0,730	0,810	—
11	3	$\frac{1}{4}$ ¹	20	5,52	2,50	—
12	4	$\frac{1}{4}$ ¹	23	7,60	1,70	—
Normalhaar			0	0,32	0,51	—

Völlig frei von Fließerscheinungen waren die Haare 2, 4 und 10 infolge der Brüchigkeit, die insbesondere bei Erhitzungen oberhalb

¹ Diese Haare wurden vor der Heißdampfbehandlung plötzlich 10 Min. auf 190° lufttrocken erhitzt.

Tabelle 4. Die Abweichungen der Anzeige von Hygrographen nach erfolgter Dampfbehandlung.

r. F. in %	Abweichung der Hygrographenanzeige nach Dampfbehandlung der Harfen			
	nach 4 Std. Erhitzung in 100° heißem Dampf (0 atü) (2 Harfen)	nach 1/4 Std. Erhitzung in 100° heißem Wasser	nach 1/4 Std. Erhitzung in heißem Dampf bei 1 atü (121,5°)	nach 2 Std. Erhitzung in heißem Dampf bei 1 atü (121,5°)
	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.
95	—3 bzw. —6	—9	— 7	—11
65	—5 bzw. —8	—8	— 9	—21
30	—6 bzw. —7	—7	—12	—14

2 atü sehr ins Gewicht fiel, war bei über 4 atü erhitzten Haaren die Ermittlung der Longitudinalquellung meist nicht mehr möglich.

Es geht aus dieser Tabelle hervor, daß auch die Longitudinalquellung genau so wie die Verkürzung mit der Erhitzungstemperatur und der Erhitzungsdauer zunimmt. Die Parallelität zwischen der Longitudinalquellung und der Verkürzung ist auch besonders anschaulich bei den auf 2 atü erhitzten Haaren (1—5).

Auch bei Einwirkung von heißem Dampf mit 0 und 1 atü Überdruck wurde eine Verkürzung und Zunahme der Longitudinalquellung festgestellt, jedoch in merklich geringerem Maße. Es wurden Haarharfen, wie sie in Lambrechts Hygrographen verwendet werden, in Hygrographen eingespannt und in Feuchtelagen bei 95, 65 und 30% vor und nach der Behandlung mit heißem Dampf mit der Anzeige eines Normalgerätes (Aspirationspsychrometer) verglichen. Die nach der Heißdampfbehandlung festgestellten Änderungen hinsichtlich der Hygrographenanzeige sind aus Tabelle 3 ersichtlich. Es sei bemerkt, daß 1% relativer Feuchtigkeit einer Längenänderung von etwa 0,015 bis 0,02% entspricht (in trockenen Lagen etwas mehr). Die Verkürzung und die Änderung der Longitudinalquellung beträgt somit bei diesen Haaren in allen Feuchtigkeitslagen nur wenige Zehntelprozent. Es geht aber aus diesen Versuchen hervor, daß bereits kurze Einwirkungen von heißem Dampf oder Wassereine Änderung im Haarkeratin zur Folge haben, die dann bei höheren Dampftemperaturen sehr beträchtlich werden.

Die *mikroskopische Untersuchung* im Autoclaven erhitzter weißer Haare ergab, daß Gelbfärbung schon bei 2 atü beobachtet wurde, Orange- bzw. Rotfärbung bei 3 atü. Die Farbänderung der Haare tritt aber nicht bei allen Haaren ein und nicht in ganzer Länge des Haares. Gekräuselter Haar wurde zuerst bei 3 atü gefunden. Am pigmentierten Haare sind vorhandene Änderungen wesentlich schwerer zu erkennen als am weißen Haare. Aus der mikroskopischen Untersuchung der mit gespanntem Dampf behandelten Haare ergab sich wiederum, daß die ersten erkennbaren Veränderungen im Mark und in der das Mark umgebenden Rindensubstanz liegen, bestehend in

Erweiterung der vorhandenen Lufträume. Soweit die Untersuchungen im gespannten Dampf.

Bei einer *Trockentemperatur* von 250° ist das Wasser bereits verdampft, ebenso ein Teil des S und N.

Es bleiben die Elemente C, Na, K, Mg, Si, Ca und eventuell Hg, As, Pb, Fe, Bi, Cd u. a. Von diesen vergasen As, Pb und Hg schon bei niederen Temperaturen, andere Elemente bei höheren Temperaturen. Für die Untersuchung brüchiger eventuell verkohlter Haarreste kommen nur noch chemische und spektrographische Untersuchungen in Frage. Das Ergebnis würde dann mit dem Ergebnis der Untersuchung unverletzter Haare vom Rumpf oder den Extremitäten zu vergleichen sein; eventuell könnte man aus dem Verschwinden der Elemente einen Schluß auf die Höhe der erreichten Temperaturen ziehen.

Das *Röntgenspektrum* stark erhitzter Haare hat nach ZAHN eine gewisse Ähnlichkeit mit demjenigen säuregeschädigter Haare, eine Beobachtung, die unseren, auf hygrometrischem Wege an säuregeschädigten Haaren gewonnenen Resultaten entsprechen würde¹.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Das fertige menschliche Haar ist kein lebendes Gebilde. Es weist keinen Stoffwechsel auf. Es ist daher unmöglich, an ihm zu erkennen, ob die gefundenen Hitzewirkungen im Leben oder im Tode entstanden sind. Diese Feststellungen können nur durch den Befund an der äußeren Haut (Papille und Haarwurzel) und durch den übrigen Obduktionsbefund getroffen werden.

2. Einwirkungen von Temperaturen über 150° sind bei längerer Dauer auf die Haare *makroskopisch* feststellbar durch Farbveränderungen, Kräuselung der Haare und Brüchigkeit. *Mikroskopisch* durch die Erweiterung der Luftspalten der Rinde und der Lufträume des Markes, durch Gasbildung der Haare, Gelb- und Rotfärbung des weißen Keratins von 210° ab. *Physikalisch* durch die starke Zunahme der Longitudinalquellung, Herabsetzung der Reißdehnung, äußerst träge Wasseraufnahme, die nach Eintritt der Sättigungsfeuchtigkeit verschwindet. Im *Hygrometer* geben trocken erhitzte Haare zwischen 30—80% relative Feuchtigkeit eine 12—20% höhere Feuchtigkeitsanzeige an, als nach Benetzen mit Wasser.

3. Neben der *Höhe* der Temperatur ist stets auch die *Dauer* der Temperatureinwirkung zu berücksichtigen. Niedrigere Temperaturen von langer Dauer können am Haar dieselben Veränderungen hervorrufen wie hohe Temperaturen bei kurzer Dauer.

4. Für den Gerichtsarzt sind die Temperaturen zwischen 190 und 250° von besonderer Wichtigkeit. In diesem Temperaturbereich liegen

¹ ELÖD, E., H. NOWOTNY u. H. ZAHN: Über Reaktionsfähigkeit und Struktur des Wollkeratins. Mellands Textilberichte. Heidelberg 1944.

die makroskopisch wahrnehmbaren Veränderungen erhitzter Haare (Farbänderungen, Kräuselung, Brüchigkeit).

5. Die Gasblasen im Haar entstehen teils aus präformierten erweiterten Lufträumen in der Rinde und im Mark, teils aus der vom Haar absorbierten Luftfeuchtigkeit, teils aus dem Zerfall des Keratins.

6. Das wasserhaltige Haar zeigt bei starker Erhitzung einen waben- oder schwammartigen Bau; das wasserarme Haar geringere Blasenbildung.

7. Für die Untersuchung brüchiger, eventuell verkohlter Haarreste kommen nur noch chemische und spektrographische Untersuchungen in Frage. Das Ergebnis könnte man mit dem Ergebnis der Untersuchung unverletzter Haare vom Rumpfe oder der Extremitäten vergleichen; eventuell könnte man aus dem Verschwinden der Elemente einen Schluß auf die Höhe der erreichten Temperaturen ziehen.

Folgerungen für die Praxis.

1. Am fertigen menschlichen Haar kann nicht festgestellt werden, ob die Hitzewirkung im Leben oder im Tode entstanden ist. Diese Feststellungen können nur durch den Befund an der äußeren Haut und durch den übrigen Obduktionsbefund ermittelt werden.

2. Einwirkung von Temperaturen über 150° sind bei längerer Dauer physikalisch und hygrometrisch feststellbar durch die vergrößerte Longitudinalquellung des Haares, die träge Wasseraufnahme und besonders durch die Abnahme der Reißdehnung.

3. Temperaturen von 210—250° sind durch die Kräuselung der Haare, die Brüchigkeit, ferner durch Änderung der Farbennuance und bei weißem Haar durch Rotfärbung erkennbar.

4. Zwecks Nachweis der Erhitzung ist es erforderlich, daß bleistiftdicke Haarsträhnen — an der Kopfhaut abgeschnitten — entnommen werden, sowohl von der unmittelbaren Umgebung der verbrannten Stelle als auch von einer nicht verletzten, geschützt gelegenen Stelle.

5. Die Proben müssen in natürlichem Zustande — also bei schlichtem Haar in gestrecktem Zustand, aber nicht eingerollt — zwischen Lagen trockenen Zeitungspapieres oder von Aktendeckeln dem Untersucher übersandt werden.

6. Die Haarprobe ist vor der Eröffnung des Schädels zu entnehmen. Sie darf nicht gedehnt werden.

7. Stark brüchige Haare und verkohlte Haare sind in sauberer Papierhülle zur eventuellen chemischen oder spektrographischen Untersuchung aufzubewahren.

8. Jede Benetzung der Haarprobe mit Wasser und jede Berührung mit wasserdampfgesättigter Luft (Nähe kochenden Wassers) ist tunlichst zu vermeiden.

9. Die Haarprobe ist gut zu verpacken und unverzüglich dem Experten zu übersenden.
