

# Über mikroskopisch sichtbare Bewegungserscheinungen an menschlichen und tierischen gedehnten, superkontrahierten und erhitzten Haaren.

Von

TH. LOCHTE und H. BRAUCKHOFF.

(Eingegangen am 10. November 1948.)

Das menschliche Haar läßt sich in trockenem Zustand etwa um ein Drittel seiner Länge dehnen. In nassem Zustand kann das Haar etwa um 50—60% seiner Länge gedehnt werden. Als ein gedehntes Haar in Wasser untersucht wurde, war eine Bewegung des Haares im mikroskopischen Bilde zu erkennen, die Cuticulasäume, die Markinseln, die Luftspalten des Haares, anhaftende Staubeilchen, Pigmentklümpchen zogen vor den Augen des Beschauers langsam vorüber. Die genauere Untersuchung ergab dann, daß das Haar nicht etwa im Wasser schwamm, sondern daß die Bewegung durch eine Kontraktion des gedehnten Haares hervorgerufen war. Das Haar zog sich bis auf seine Originallänge zusammen. Dieses Phänomen, das den Gegenstand einer genaueren Untersuchung im Rauchwarenmarkt 1942 bildete, wurde als „Gleitphänomen“ bezeichnet. Die Durchsicht der Literatur ergab dann, daß bereits W. T. ASTBURY und WOODS<sup>1</sup> eine ausführliche Arbeit über die Dehnungsverhältnisse des Haares insbesondere in heißem Dampf publiziert hatten. Dies veranlaßte uns zu weiteren Untersuchungen, die 1942 in der Biochem. Zeitschrift niedergelegt wurden (TH. LOCHTE und H. BRAUCKHOFF: Mikroskopische und hygroskopische Untersuchungen an gedehnten und superkontrahierten menschlichen Kopfhaaren<sup>2</sup>).

<sup>1</sup> ASTBURY, W. T., and WOODS: Phil. Trans. roy. Soc. Lond. **232**, 33 (1933).

<sup>2</sup> Ein weiteres Eingehen auf die Literatur erscheint kaum erforderlich. Ich möchte aber nicht unerwähnt lassen, daß nach SPEAKMAN [J. Text. Inst., Manchr. **27**, 231 (1936)] eine Verkürzung der Fasern immer dann eintritt, wenn man die Cystin- und Salzbindungen spaltet, so daß die Peptidketten freier beweglich werden und sich in eine kürzere Modifikation umlagern. Nach E. ELÖD, NOWOTNY und ZAHN besteht das Wesen der Superkontraktion in einer Schädigung der Keratinsubstanz, vorwiegend in einer Aufspaltung der Peptidbindungen, wobei die Peptidreste sich zuerst stärker knäulen und dann infolge Sprengung in niedermolekulare Teile auskrystallisieren (denat. Keratin). Die Haare schrumpfen bei schnellem Erhitzen in ihrem eigenen Sorptionswasser. In reinem Formamid kontrahieren sich nach E. ELÖD und ZAHN [Kolloid-Z. **108**, H. 2/3 (1944)] 10 Min. lang erhitzte Roßhaare schon bei 114°. Bei 125° C erreichen sie eine Verkürzung von 30%.

Während die Erscheinungen an gedehnten Haaren, insbesondere ihre Kontraktion durch Wasser und Hitze weitgehend geklärt sind (TH. LOCHTE und H. BRAUCKHOFF<sup>1</sup>), sind die Untersuchungen über das Wesen der Superkontraktion noch nicht als abgeschlossen zu bezeichnen. Es stellte sich dabei heraus, daß mikroskopisch erkennbare Bewegungsvorgänge am Haar auch bei superkontrahierten Haaren zu beobachten waren. Diese Vorgänge, die für den Mikroskopiker von besonderem Interesse sind, sollen hier zur Darstellung gelangen.

ASTBURY hatte bereits festgestellt, daß die in Wasserdampf gedehnten Haare, insofern man die Spannung kurze Zeit nach der Dehnung plötzlich unterbricht, zusammenschnurren und im Endresultat eine Verkürzung bis  $\frac{1}{3}$  der Originallänge erleiden.

Nach unseren Untersuchungen verkürzte sich ein 67 mm langes Haar, das im Laufe von 50 Sek. um 75 % seiner Länge in heißem Dampfe gedehnt und 85 Sek. in gedehntem Zustand gehalten war, bei plötzlicher Entspannung bis auf 53 mm (21 %).

Ein 71,5 mm langes Haar, das im Laufe von 50 Sek. um 75 % in heißem Dampfe gedehnt war und weitere 100 Sek. in gedehntem Zustande gehalten wurde, verkürzte sich bei plötzlicher Entspannung auf 56 mm (21,7 %).

Im Gegensatz zu einem in trockener Luft gedehnten Haare zeigt das superkontrahierte Haar bei Berührung mit Wasser ein Gleitphänomen, das auf dem Eintritt einer Verlängerung des superkontrahierten Haares beruht. Die Verlängerung ist aber reversibel und beruht allein auf der merklich verstärkten Längsquellung des superkontrahierten Haares.

Dehnt man in trockener Luft ein superkontrahiertes Haar, so verkürzt es sich bei Wasserzusatz wie ein normales Haar; es zeigt also ein Gleitphänomen in derselben Richtung, wie ein normales gedehntes Haar, d. h. eine *Verkürzung*. Wie beim normalen Haare erfolgte auch hier die Verkürzung bis zur Originallänge des superkontrahierten Haares, wie makroskopische Untersuchungen zeigten.

In weiteren Versuchen gelang es, an Haaren, die im Autoklaven  $\frac{1}{4}$  Stunde auf 5 atü erhitzt waren, eine Verlängerung nach Zusatz von Perhydrol, dann von verdünntem Perhydrol und schließlich auch von Wasser festzustellen, und zwar von 20 auf 21 mm Länge bei 2 atü; und bei 4 atü von 20 auf 23 mm Länge.

Da die mit Wasser benetzten Haare sich schlängelten, war mikroskopisch die Bewegung nicht immer direkt zu sehen; aus der

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

um Teil erheblichen Verlängerung mußte aber der Schluß gezogen werden, daß tatsächlich eine mikroskopisch *sichtbare* Bewegung erfolgt war.

Weitere Versuche folgten dann an Haaren, die durch die Flamme gezogen waren. Wir folgten damit der Angabe von H. ZAHN<sup>1</sup>, der an einem weißen, nicht gedehnten Roßhaare, das durch eine kleine Bunsenflamme gezogen wurde, eine Schrumpfung bis zu 32% festgestellt hatte. Wir konnten Versuche mit einer Gasflamme 1945 in Göttingen nicht anstellen. Stattdessen wurden die Versuche in der Weise durchgeführt, daß die nicht gedehnten Haare an der stark erhitzten Drahtspule eines elektrischen Widerstandes erhitzt wurden. Die Temperatur dieses Drahtes wurde auf etwa 300° C geschätzt.

Zunächst wurden weiße menschliche Kopfhaare von 100 mm Länge an beiden Enden mit Papierschutz und Metallklemmen versehen, um das Haar zu spannen. Mit den so armierten Haaren wurde die Drahtspule des Widerstandes flüchtig berührt, und zwar möglichst an mehreren Stellen. Dabei geschah es, daß das Haar sofort durchbrannte. Immerhin gelang es, einige wichtige Ergebnisse zu erzielen. Die Versuche wurden gemeinschaftlich mit Dr. BRAUCKHOFF durchgeführt.

Am 9. 6. 45 verkürzte sich ein 100 mm langes menschliches Kopfhaar durch Erhitzung am Widerstande auf 94,5 mm (4,5%).

Als das Haar unter dem Mikroskop mit Wasser in Berührung gebracht wurde, trat eine sehr lebhafte Bewegung mit Verschiebung der Cuticulasäume ein.

Unter Umständen führt das ganze Haar so starke Bewegungen aus, daß es aus dem mikroskopischen Gesichtsfeld verschwindet und daß eine neue Einstellung des Mikroskops erforderlich wird. Dadurch kann die Zeit verloren gehen, die erforderlich ist, die Größe der Bewegung am Okularmikrometer zu messen. Nur wenn das Haar in völlig gestrecktem Zustand aufbewahrt war, werden solche Bewegungen vermieden.

Am 12. 6. 45 verkürzte sich ein 100 mm langes, wassergesättigtes Kopfhaar durch wiederholtes Anlegen an den Widerstand auf 83 mm (17%).

Bei Wasserzusatz war eine deutliche lineare Bewegung des Haares mikroskopisch erkennbar, wobei sich das Haar von 83 auf 87 mm verlängerte.

Im mikroskopischen Bilde zeigte das Haar Porenbildung zum Teil in Reihen, Dampfspalten und zentral größere Luftblasen. Das Keratin war stellenweise gelb geworden.

<sup>1</sup> ZAHN, H.: Naturw. 31, 137 (1943).

Am 19. 6. 45 wurde ein menschliches Kopfhaar von 82 mm Länge am Widerstand erhitzt. Die Verkürzung betrug 7 mm = 10%. Dabei zerriß das Haar in 2 Stücke von 21 und 54 mm Länge.

Das 21 mm lange Stück zeigte mikroskopisch ein weißgelbes Ende, zahlreiche zentrale Gasblasen, an dem anderen orangefarbenen Ende Wabenstruktur.

Nach Benetzung mit Wasser trat eine Verlängerung von 21 bis 23,5 mm ein; mikroskopisch starke lineare Bewegung.

Das 54 mm lange Haarstück zeigte an einem Ende weiße, dann gelbe Färbung mit zentralen Luftblasen, die bis zur Wabenstruktur führten. Dieses Haar wurde in 2 Stücke von 21 und 33 mm Länge unterteilt. Das 21 mm lange Haarstück verlängerte sich bei Wasserzusatz auf 22,5 mm; das 33 mm lange Haarstück auf 35,5 mm. Es zeigte eine deutliche, mikroskopisch erkennbare lineare Bewegung. Bewegungserscheinungen können demnach nicht nur an weißen erhitzten Haaren, sondern auch an gelben beobachtet werden.

Am 20. 6. 45 verkürzte sich ein menschliches Kopfhaar von 91 mm Länge nach der Erhitzung auf 74 mm, also um 17 mm (19%). Bei Berührung mit Wasser trat an 2 Stellen eine sehr schnelle, mikroskopisch wahrnehmbare lineare Bewegung des Haares auf, dabei verlängerte sich das Haar um 9—83 mm Länge.

Ein zweites Haar von 85 mm Länge verkürzte sich am Widerstand auf 73 mm. Nach Einlegen in Wasser erreichte das Haar 78 mm Länge, später in Zimmerluft, bei schätzungsweise 60% relativer Luftfeuchte, 76 mm.

Es ergab sich aus diesen Versuchen, daß bei plötzlicher Erhitzung des natürlichen menschlichen Kopfhaares auf etwa 300° C eine Superkontraktion bis etwa 19% eintrat. Nach Wasserzusatz trat eine Verlängerung des Haares ein, die zu einer mikroskopisch wahrnehmbaren linearen Bewegung des Haares führte. Das Haar paßt sich von jetzt ab der relativen Luftfeuchte an. Man kann auch noch am *gelben* und *roten* Keratin nach Wasserzusatz Bewegungserscheinungen wahrnehmen, ja es rollen sich Teile gelb und rot gewordener Haare, die man zuvor in Wasser legen muß, um sie wieder dehnungsfähig zu machen, nach erfolgter Dehnung in einer Terpentinölwasseremulsion engspiralig ein<sup>1</sup>.

Nach den Beobachtungen von BRAUCKHOFF betrug die Längsquellung erhitzter Haare in den meisten Versuchen 6—12% der Originallänge. Diese Werte entsprechen annähernd denen der auf 2 bis 3 atü erhitzten Haare, die auch eine ähnliche Superkontraktion zeigten,

<sup>1</sup> LOCHTE, TH., u. H. BRAUCKHOFF: Kolloid.-Z. 107, 2 (1944).

während bei allmählich erhitzten Haaren die Längsquellung des Haares bei Wassersättigung 3 % nicht überschritt. Dieses Ergebnis ist insofern interessant, als auch die Superkontraktion bei den allmählich erhitzten Haaren nur sehr geringfügig war, während andererseits die Reißfestigkeit sehr gelitten hatte und auch eine beträchtliche Rotfärbung eingetreten war. Es zeigte sich also, daß eine plötzliche und nur flüchtige Erhitzung auf sehr hohe Temperatur eine beträchtliche Superkontraktion und Zunahme der Längsquellung nebst beträchtlichen Veränderungen im mikroskopischen Bilde zur Folge hat, während eine langsame Erhitzung auf hohe Temperaturen sich in merklich geringerer Verkürzung und Zunahme der Längsquellung äußerte, wohingegen bei genügend langer Dauer die Abnahme der Reißfestigkeit und die Verfärbung bedeutend augenfälliger sein kann als im ersteren Falle.

Zu einer stärkeren Kontraktion gehört demnach immer ein hinreichender Wassergehalt des Haares, der bei langsamer Erhitzung verloren geht. Je höher die plötzlich einwirkende Temperatur ist, um so bedeutender ist die Kontraktion. Die beginnende Rotfärbung kann sowohl dann bei Haaren, die ihren Wassergehalt verloren haben, eintreten als auch bei wassergesättigten Haaren (im Autoklaven).

Diese Versuche regten die weitere Frage an, wie sich Tierhaare bei plötzlicher starker Erhitzung verhalten.

1. Ein Rinderschwanzhaar eines 1jährigen Rindes, 61 mm lang, wurde am Widerstand erhitzt und verkürzte sich dabei auf  $48 \pm 1$  mm (= 21 %). Nach Wasserzusatz war unter dem Mikroskop eine deutliche Bewegung an den Cuticulasäumen erkennbar. Ein 17 mm langes Haarstück verlängerte sich im Wasser auf 18,3 mm.

2. Ein 64,5 mm langes Rinderschwanzhaar verkürzte sich auf 57 mm = 12 %. Nach Wasserzusatz war unter dem Mikroskop eine deutliche lineare Bewegung erkennbar. Endlänge im Wasser 58 mm.

3. Am wassergesättigten Haare eines Dingo, das durch die Flamme gezogen war, trat an einem gebogenen Haarstück nach Berührung mit Wasser eine lineare Bewegung des Haares ein, die an der Skala des Okularmikrometers bei 370 eine Verschiebung über 80 Teilstriche erkennen ließ = 0,216 mm.

Ein 37 mm langes, wassergesättigtes Haar des Mantelpavians wurde durch die Flamme gezogen. Es hatte dabei 2 Krümmungen erlitten und eine Verkürzung auf 35,5 mm. Im Wasser erfolgte unter dem Mikroskop eine Longitudinalquellung bis 37,0 mm; dabei war eine kurzdauernde, aber intensive Bewegung der Cuticula, Rinde und des Markes festzustellen.

Ein 7,5 mm langes Haarstück eines Mammuthaares (aus der Beresowka 1900, Petersburg, Zoolog. Institut) zeigte nach Erhitzung bei der Berührung mit Wasser eine Quellung um fast 50 Teilstriche (0,13 mm) und deutlich wahrnehmbare lineare Bewegung. Das Haar verlängerte sich dabei auf 8,5 mm.

Am 6. 10. verlängerte sich ein 10 mm langes, am Widerstand erhitztes Mammuthaar nach Wasserzusatz auf 11 mm. Die Bewegung des Haares konnte auf 15 Teilstriche unter dem Mikroskop verfolgt werden.

Ein auf 160—170° C erhitztes Haar des Ameisenbären zeigte nach Wasserzusatz eine lineare Bewegung von 30 Teilstrichen (bei 370maler Vergrößerung).

Es muß aber bemerkt werden, daß die Verlängerung der erhitzten Haare weder beim menschlichen noch beim Tierhaar in jedem Fall erfolgte. Um die Erhitzungen bequemer als am Widerstand vornehmen zu können, wurden sie an einem Konstantendraht durchgeführt, der soviel erhitzt wurde, daß das zwischen Daumen und Zeigefinger beider Hände gespannt gehaltene Haar in 4—5, in anderen Fällen in 10—15 Sek. durchbrannte. An dem so erhitzten Draht wurden nasse und trockene Haare in schneller und langsamer Bewegung vorbeigeführt. Die Haare zeigten mikroskopisch teils geringe Porenbildung, teils Dampfspalten. Bei langsamer Bewegung war die Verbrennung stärker ausgeprägt als bei schneller. Bei langsam vorübergezogenen Haaren trat bereits eine Vergasung des Keratins mit einzelnen großen Gasblasen auf. Bei der hygrometrischen Untersuchung ergab sich eine Longitudinalquellung bis 5%, im Feuchtebereich 38—95%. In zahlreichen Fällen blieb an den erhitzten menschlichen und Tierhaaren eine Verlängerung der untersuchten Haarstücke aus. Wenn ich davon absehe, daß in einzelnen Fällen das Haar vor der mikroskopischen Untersuchung Wasser aus der Luft aufgenommen haben kann — da die Haare nicht im Institut von Professor KÜSTNER sofort mikroskopisch untersucht werden konnten —, so kann das Fehlen der Verlängerung des Haares nur darauf beruhen, daß durch die Anspannung des Haares die Schrumpfung verhindert wurde. Dafür sprechen einige Befunde, in denen nach Wasserzusatz eine ausgeprägte *Verkürzung* des Haares beobachtet wurde.

Ein 100 mm langes trockenes menschliches Haar wurde beim Erhitzen am Widerstand auf 103 mm künstlich gedehnt. 1. Ein 10 mm langes Haarstück dieses Haares *verkürzte* sich bei Berührung mit Wasser auf 9 mm. Dabei trat eine sehr deutliche Bewegung der Cuticulasäume auf im Okularmikrometer. 2. Ein trockenes menschliches

Haar wurde bis zum Zerreißen (6%) gedehnt und am erhitzten Draht vorbeigezogen. Ein 20 mm langes abgeschnittenes Stück des Haares *verkürzte* sich ebenfalls unter lebhafter Bewegung im Wasser, die über 30 Teilstriche des Okularmikrometers zu verfolgen war, auf 19 mm.

In dem letzten Beispiel muß angenommen werden, daß die Längsquellung durch die Verkürzung überkompensiert wurde. Die anfangs auftretende Verlängerung geht dann schnell in stärkere Verkürzung über. Es erfolgte dann im mikroskopischen Bilde eine Umkehr der Bewegung, die sich in einem Falle über 80 Teilstriche im Okularmikrometer verfolgen ließ. Allgemein kann man sagen, daß der Endeffekt resultiert aus der Größe der Längsquellung und der durch etwaige Überdehnung bedingten Kontraktion.

Diese Ergebnisse am menschlichen Haar kann man unbedenklich auch auf das Tierhaar übertragen. Man ist dann zu der Annahme berechtigt, daß in den Fällen, in denen keine Bewegung eintrat, durch das Anspannen der Haare und die damit verbundene Dehnung die Hitzeverkürzung des Haares verhindert und deshalb auch keine Verlängerung des Haares bei Berührung mit Wasser herbeigeführt werden konnte. Als ein mit 13 g belastetes menschliches Kopfhaar am erhitzten Draht vorbeigezogen wurde, brannte das Haar sofort durch. Die Gewichtsbelastung und die dadurch erfolgte Dehnung und Verdünnung des Haares und das Anpressen an den Draht hatten demnach eine stärkere Erhitzung des Haares zur Folge<sup>1</sup>. Es ist gewiß von Interesse, daß nicht nur durch Wasseraufnahme das Haar dehnungsfähiger wird, sondern auch unter dem Einfluß der Hitze einwirkung. Diese Feststellung wird vielleicht noch weiterer Prüfung bedürfen. Sicher ist aber, daß das angespannte Tierhaar bei plötzlicher Hitzeeinwirkung sich verkürzt, aber in geringerem Grade als das menschliche.

Dabei tritt gleichzeitig eine *Hitzeschädigung* ein, die nach unseren Feststellungen irreversibel ist. Eine Streckung der Polypeptidketten tritt an den mit Gasblasen und Poren durchsetzten Haaren nicht mehr ein. Die beobachtete Verlängerung des Haares ist nur als Quellung des Keratins zu deuten. Sie tritt auch noch bei gelbem und rotem Keratin ein und ist so bedeutend, daß sie sowohl beim menschlichen wie tierischen Haar zu mikroskopisch wahrnehmbaren Bewegungserscheinungen führt. Die Ergebnisse sind aber ungenau, insofern die Hitzeeinwirkung von der Schnelligkeit der ausgeführten Bewegung abhängt.

<sup>1</sup> LOCHTE, TH., u. H. BRAUCKHOFF: Biochem. Z. **316**, 381 (1944), insbesondere **317**, 155.

Nach erfolgter Wasseraufnahme setzt sich auch das tierische Haar mit der relativen Luftfeuchte ins Gleichgewicht.

An Stellen stärkerer Gasentwicklung ist selbstverständlich die Reißfestigkeit des Haares herabgesetzt.

Schließlich wurden Menschen- und Tierhaare mit dem *elektrischen Funken* behandelt. Diese Versuche sind deshalb bemerkenswert, weil die Temperatur des elektrischen Funkens mindestens 1000° C betragen dürfte, die Zeitdauer der Einwirkung eines Funkens schätzungsweise aber nur etwa  $\frac{1}{1000000}$  Sek. beträgt.

Bereits am 25. 6. 43 wurde ein 82 mm langes menschliches Kopfhair, das von einem einzelnen elektrischen Funken (Funkeninduktor, etwa 20000 Volt Spannung, 5 cm Schlagweite) getroffen war, untersucht. Den Versuch führte damals auf meine Bitte hin Herr Professor Dr. KÜSTNER in dem von ihm geleiteten Institut für Biophysik aus. An der betreffenden Stelle war das Haar stark gekrümmt. Es trat der Geruch verbrannter Hornstubsanz auf.

Die mikroskopische Untersuchung ergab, daß die Cuticula nahe dem freien Rande aufgerissen war. Teile von Rindenfasern lagen auf der Oberfläche des Haares wirr durcheinander. In der Rinde fanden sich nahe dem freien Rande einige kurze lineare schwarze Dampfspalten, die zum Teil in der Folgezeit wieder verschwanden.

Die Cuticulasäume zeigten am freien Rande feine bogenförmige Wellung. Auf dem Gelatineabdruck waren die Cuticulasäume auf der Fläche des Haares infolge der Schrumpfung des Gewebes bis auf etwa 2 Teilstriche des Okularmikrometers bei 370maliger Vergrößerung einander genähert, während sie an unverletzten Stellen 3—5 Teilstriche voneinander entfernt lagen. Außer den Cuticulasäumen sah man gradlinige Falten von dem welligen Rande quer über die Oberfläche des Haares infolge der Schrumpfung hinziehen. Die Markzellen zeigten Gasblasenbildung, daneben aber noch Reste erhaltenen Markes. Eine Markzelle war in eine große, zentrale, kreisrunde Luftblase umgewandelt. Im Bereich der Luftblase hatte das Haar eine Schaftbreite von 50 Teilstrichen (370mal vergrößert) = 0,13 mm, außerhalb der Verbrennung 35 Teilstriche Schaftbreite = 0,095 mm.

Die hellgelbbraune Farbe des Haares zeigte am Ort der Verbrennung keine Veränderung.

Weitere Versuche mit elektrischen Funken wurden 1945 vorgenommen durch Herrn Dr. RINDFLEISCH. Die Stromstärke und Spannung war dieselbe wie im ersten Versuch. Die jetzigen Versuche wurden an einem Büschel weißer menschlicher Barthaare, später auch an



Rinderhaar und anderem Tierhaar, vorgenommen, die wassergesättigt waren. Die Haare wurden durch einen weiträumig spiralig gewundenen feinen Kupferdraht zusammengehalten. Die Funkenbildung geschah von einer Metallspitze zu einer Metallplatte. Das Haarbündel wurde mittels Wachs an der Spitze eines Holzstabes befestigt und der Metallplatte genähert. Der Funkenübertritt erfolgte zumeist neben dem Haarbündel, häufiger traf er den Kupferdraht, aber auch die Haare wurden gelegentlich getroffen, wie die dicken, trüben, zum Teil schwärzlich aussehenden Haarstellen und der Geruch nach verbrannter Hornsubstanz anzeigten.

In einem anderen Versuch wurden die Haare durch ein feinsmaschiges Kupferdrahtnetz mehrfach hindurchgezogen, und zwar mehrere Haare dicht nebeneinander, um eine sichere Verbrennung der Haare zu erzielen. Ein Glühen des Kupferdrahtnetzes trat in keinem Falle ein.

Bei den elektrischen Verletzungen des Haares waren die Schädigungen auf einem Raum von 0,15—0,6 mm zusammengedrängt, je nachdem die Verletzung durch einen einzelnen Funken oder durch einen Funkenstrom hervorgerufen war.

Auch hier ergaben sich dieselben Bilder wie bei Verbrennungen anderer Herkunft:

1. Porenbildung, erweiterte Lufträume im Mark,
2. Dampfspalten bei wasserhaltigen Haaren,
3. Vergasung des Keratins.

Bei den durch den elektrischen Funken verletzten, 4,5 mm langen menschlichen Barthaaren ergab sich bei Wasserzusatz eine lineare Bewegung, die sich über 25 Teilstriche des Okularmikrometers verfolgen ließ. Das Haar verlängerte sich im Wasser auf 5 mm.

Bei einem elektrisch verletzten Rinderhaar trat nach Zusatz von Wasser eine Bewegung des Markes ein, die sich über 10 Teilstriche des Okularmikrometers verfolgen ließ. Nach Abschluß der Beobachtung hatte sich das Haar von 17 auf 19 mm verlängert.

Ein 7 mm langes Shetlandponyhaar mit elektrischer Verletzung zeigte in Wasser eine mikroskopisch deutlich erkennbare Bewegung, die sich über etwa 50 Teilstrichen des Okularmikrometers verfolgen ließ; dabei verlängerte sich das Haar auf 8,5 mm.

Das freie Ende eines Shetlandponyhaares mit elektrischer Verletzung verlängerte sich während der Beobachtung mit dem Okularmikrometer nach Wasserzusatz um 10 Teilstriche.

Ein weiteres Haar des Shetlandponys mit elektrischer Verletzung verlängerte sich nach Wasserzusatz um 15 Teilstriche im Okularmikrometer. Von 6,5 mm verlängerte sich das Haar auf 7 mm. Es spielen hierbei erholungsfähige Teile der Rindenfasern eine Rolle.

Es wurden demnach auch bei elektrischen Verbrennungen von Menschen- und Tierhaaren im mikroskopischen Bilde nach Wasserzusatz Bewegungen festgestellt.

### *Ergebnisse.*

Nach unseren früheren Versuchen war die *Stärke der Bewegung* von der Stärke der Dehnung des Haares abhängig und Entsprechendes gilt für die Superkontraktion. Die stärksten Bewegungen des Haares sind an gedehnten normalen und erhitzten Haaren für das bloße Auge wahrnehmbar.

Schwächere Bewegungen (diejenigen des Hygrometerhaares) können mit der Lupe untersucht werden bei Feststellung der Longitudinalquellung.

Die feinsten Bewegungen bei den Quellungsvorgängen des Keratins werden im mikroskopischen Bilde am Okularmikrometer durch Verschiebung der Cuticulasäume usw. erkennbar.

Wurde das ganze Haar gedehnt oder erhitzt, so ist die *Bewegung in allen Teilen des Haares* bei Berührung mit Wasser *erkennbar*. Bei Berührung des Haares am elektrischen Widerstand oder am erhitzten Draht ist die *Bewegung auf die erhitzte Stelle beschränkt*. Die *geringste Ausdehnung* der Verbrennung und demgemäß der Bewegung zeigen die *Verbrennungen durch den elektrischen Funken*.

Die *mikroskopischen Bilder* waren *verschieden* je nach der *Höhe der Temperatur* und der *Art ihrer Einwirkung* (erhitzte Luft, erhitzter Draht), je nach *ihrer Dauer* und je nach der *Plötzlichkeit* oder *Langsamkeit* ihrer Einwirkung. Auch am gelben oder roten Keratin können noch Bewegungen wahrgenommen werden.

Die mikroskopischen Bilder waren auch *verschieden* in geringem Grade bei erhitzten Menschen- und Tierhaaren.

*Verhindert werden die Bewegungen des Haares*, wenn das Haar bereits wassergesättigt ist oder wenn es während der Erhitzung mit der Hand oder mit Gewichten soweit gedehnt wurde, daß die Hitze-kontraktion kompensiert wurde.

Ich teile diese Ergebnisse mit, weil ich glaube, daß die hier mitgeteilten Erscheinungen einer Bewegung des Objektes bei der Berührung

mit Wasser für jeden Mikroskopiker von Interesse sein dürften und weil in jedem solcher Fälle die Frage nach der Ursache der Bewegung zu erörtern ist.

Es war mein Bestreben, die letztere nach Möglichkeit klar zu erkennen. Die Versuche gehören in das Gebiet der Kinetik erhitzter Haare. Es ist nunmehr aber gewiß, daß es weiterer sorgfältiger Versuche bedarf, um eventuell in das Gebiet der *Thermodiagnostik* vorzudringen.

Prof. LOCHTE, Göttingen, Theaterstr. 12.

Dr. H. BRAUCKHOFF, in Firma Wilhelm Lambrecht,  
Werkstätte für technische und wissenschaftliche Meßgeräte,  
Göttingen, Friedländer Weg 65—67.

---