

Aus dem Institut für gerichtliche Medizin und Kriminalistik der Karl-Marx-Universität Leipzig (k. Direktor: Prof. Dr. med. SIEGFRIED KREFFT).

Zur Frage der postmortalen Farbveränderungen der Haare*.

Von
SIEGFRIED KREFFT.

Postmortale Farbveränderungen der Haare, welche vorwiegend an Kopf- und Barthaaren bei Moorleichen, Mumien und exhumierten Leichen sowie auch bei Museumsperücken beobachtet wurden, führten zu sehr unterschiedlichen Ansichten über deren Ursache. So wurde unter anderem vermutet, daß insbesondere bei Moorleichen die fuchsrote Verfärbung der Haare durch Huminsäuren des Moorbodens verursacht wird. Von anderer Seite wurden den Fäulnis- und Verwesungsprozessen, der Verwitterung, der Einwirkung von Kalk, H_2O_2 und Balsamen, ja sogar mikroskopischen Tieren bzw. deren Ausscheidungen, Bedeutung beigegeben. Auch an eine künstliche Färbung der Haare vor der Bestattung wurde gedacht. STETZER führt die Verfärbung auf pH -Verschiebungen zurück. LOCHTE, der auf die voneinander abweichenden Meinungen in dieser Frage hinweist und zu weiteren Untersuchungen anregt, unterscheidet zwischen Imbibition der Haare mit Fäulnisflüssigkeit und Rotverfärbung alter schwarzer Haare, die auf Oxydationsvorgängen beruht. Er führt dazu aus: „Wenn also die Rotverfärbung nicht auf Imbibition mit Fäulnisflüssigkeit zurückzuführen ist, kann man daraus den Schluß ziehen, daß das Haar im Leben schwarz gewesen sein muß.“

Diese uneinheitlichen Ansichten über die Ursache der Farbveränderungen, die nicht nur in fuchsigrötlicher, sondern auch in graugelber sowie in dunklerer und hellerer Verfärbung bestehen, sind insofern verständlich, als die Haare den verschiedensten äußeren Einflüssen (Liegen in Fäulnisjauche, in Moor- und Sandböden, in geschlossenen Sarkophagen und Gräften, weiterhin wechselnden Temperaturen, Luftfeuchtigkeit, Wasser u. a. m.) ausgesetzt waren.

An Versuchen, die ursprüngliche Haarfarbe wiederherzustellen bzw. die fuchsigrötliche Verwesungsfarbe chemisch den Haaren zu entziehen, hat es nicht gefehlt; sie blieben aber erfolglos. Fuchsrot verfärbte Mumienhaare zeigten bei der mikroskopischen Untersuchung einen Pigmentschwund mit mehr oder weniger starker homogener fuchsigrötlicher Verfärbung der Rinden- und Cuticulaschicht bei deutlich

* Vortrag gelegentlich der Tagung der Deutschen Gesellschaft für gerichtliche und soziale Medizin in Bonn (Oktober 1953).

vermehrtem Luftgehalt, besonders an Stellen mit Cuticulaläsionen (RINGBERG, ZIEMKE, KREFFT).

Da die Klärung dieser umstrittenen Frage für die gerichtsmedizinische Praxis, z. B. bei der Identifikation, von Bedeutung sein kann, wurde versucht, durch experimentelle Untersuchungen diesem Problem nachzugehen. Zunächst war zu prüfen, ob durch Huminsäure die Haarfarbe verändert wird und ob es sich dabei um eine Farbveränderung durch Imbibition von Humusstoffen oder aber um eine Umwandlung des Haarpigments bzw. des Keratins handelt.

In Reihenversuchen wurden Kopfhaare verschiedener Farbe von 9 Leichen 10 Wochen lang in alkalische Lösungen von verschiedener Konzentration ohne und mit Huminsäurezusatz (Acidum huminicum Merck) gelegt. Die Huminsäure wurde zu diesem Zweck in 0,5%iger Konzentration in Ammoniak (1%ig und 3%ig) sowie in Natriumacetatlösung (5%ig und 10%ig) gelöst. Außerdem wurde ein Teil der Haare in Kalkmilch und zur Kontrolle während der Dauer des Versuches in Petroläther eingelegt. Alle 2 Wochen wurden die Haare in frischbereitete Lösungen gebracht, wobei gleichzeitig die Haarfarbe nach dem Trocknen mit dem Originalhaar verglichen und Farbabweichungen nach der Haarfarbbestimmungstafel von BR. K. SCHULTZ ermittelt wurden.

Untersuchungsbefunde.

1%ige und 3%ige Ammoniaklösung ohne Huminsäurezusatz. Makroskopisch: Quellung, Verlust des Glanzes, Ausbleichen der Haarfarbe um mehrere Stufen. Mikroskopisch: Auflockerung der Cuticulaschuppen mit Abhebung und teilweiser Ablösung der Schuppen. Die Stärke der Abhebung entspricht der Konzentration. Pigment gebleicht bzw. zerstört — bei 3%iger Lösung stärker als bei 1%iger.

1%ige und 3%ige Ammoniaklösung mit Huminsäurezusatz (0,5%). Makroskopisch: wie oben. Mikroskopisch: wie oben; Huminsäure-Imbibition nicht festzustellen.

5%ige und 10%ige Natriumacetatlösung ohne Huminsäurezusatz. Makroskopisch: gering vermehrter Glanz, keine Farbveränderungen. Mikroskopisch: unauffällig.

5%ige und 10%ige Natriumacetatlösung mit Huminsäurezusatz (0,5%). Makroskopisch: gering vermehrter Glanz; in 5 von 9 Fällen Haare kaum merklich dunkler getönt. Mikroskopisch: Ablagerung von bräunlichen Bestandteilen (Huminsäure) an den Säumen des Cuticulaschuppengefüges; Imbibition des Huminsäurefarbstoffes in der Rindensubstanz nicht nachweisbar.

Kalkmilch. Makroskopisch: nach 2 Wochen glanzlos, gequollen, stärker aufgehellt; nach 4 Wochen weitere Aufhellung; zum Teil bis zum graugelblichen Farbton. Mikroskopisch: starke Auflockerung des Cuticulagefüges mit teilweiser Destruktion; weitgehende Zerstörung des Pigments; teilweise homogene graugelbliche Färbung der Rindensubstanz mit völligem Pigmentschwund. — Um auszuschließen, daß die graugelbliche Verfärbung bei den in Kalkmilch gelagerten Haaren auf Kalkablagerungen zwischen den Cuticulaschuppen beruht, wurden die Haare anschließend mit 10%iger Salzsäure behandelt. Die graugelbliche Färbetonung änderte sich dadurch nicht.

Petroläther. Makroskopisch: unauffällig. Mikroskopisch: unauffällig.

Nach vorliegenden Untersuchungsergebnissen war eine Imbibition der Huminsäurefarbstoffe in die Rindensubstanz der Haare nicht fest-

zustellen, wohl aber eine Anlagerung im Bereiche der Säume des Cuticulaschuppengefüges. Damit dürfte die makroskopisch beobachtete geringe dunklere Tönung der Haare zu erklären sein. Ein destruktiver Einfluß der Huminsäure auf das Haarpigment war nicht zu beobachten.

Wenn auch durch Ammoniak und Kalkmilch strukturelle Veränderungen der Haare nachweisbar sind, so ist doch durch diese Versuche keinerlei Erklärung für die Ursache der fuchsigrötlichen Verfärbung von Leichenhaaren gefunden.

Um diese Ursache zu erkennen, machte es sich zunächst notwendig, Haare experimentell vom ursprünglichen in den fuchsigrötlichen Farbton zu überführen. Aus den Versuchen von WACHHOLZ ist es bekannt, daß farbige Haare durch Salpetersäureeinwirkung über die rote Stufe (Oxydation des Pigments) einen graugelben Farbton annehmen können. Es läßt sich jedoch durch die Salpetersäurewirkung allein nicht erklären, inwieweit weiße oder graue Haare einen rötlichen Farbton bekommen. Versuche mit weißen und grauen Haaren ergaben, daß diese — ohne die rote Zwischenstufe zu durchlaufen — gleich eine gelbe Farbe annahmen.

Ausgehend von der Überlegung, daß bei Fäulnis- und Verwesungsprozessen der Leichen unter anderem Nitrat-, Nitrit- und Ammoniakverbindungen entstehen, wurden menschliche und tierische Haare mit nitrithaltiger HNO_3 bzw. nitrosen Gasen und anschließend mit Ammoniak behandelt¹. Unter Einwirkung von HNO_3 bzw. NO_2 nahmen pigmenthaltige Haare infolge allmählicher Zerstörung des Pigmentes über die rote Stufe schließlich einen graugelblichen Farbton an, während weiße Haare nach kürzerer Zeit gleich graugelb wurden. Bei der anschließenden Alkalisierung mit Ammoniak verfärbten sich die so vorbehandelten Haare fuchsrot. Dieser fuchsrote Farbton verschwand im sauren Medium (HCl , HNO_3 , Essigsäure) und trat bei erneuter Behandlung mit Ammoniak wieder auf. Der künstlich erzielte fuchsrote Farbton wurde auch nicht durch Einwirkung von H_2O_2 (Perhydrol) wesentlich beeinflußt. Das geringe Nachbleichen der eingelegten Haare dürfte auf der schwachsäuren Reaktion ($\text{pH } 3$) der Perhydrollösung beruhen. Gleiches Verhalten zeigten auch auf natürliche Weise fuchsrot verfärbte Mumienhaare. Bemerkenswert ist, daß die künstliche Verfärbung auch zu erzielen war, wenn lediglich Gase (NO_2 und NH_3) auf die Haare einwirkten.

Bei der vergleichenden mikroskopischen Untersuchung von auf natürliche Weise fuchsigrötlich gewordenen Mumienhaaren und auf obige Art künstlich gefärbten Menschen- und Tierhaaren in Längs- und Querschnitten (Methode Kockel) konnte bei beiden eine diffuse fuchsige Verfärbung der Cuticula und Rinde bei

¹ Es wurde mit 10%igen und konzentrierten Lösungen gearbeitet. Während bei den konzentrierten Lösungen die Reaktionen innerhalb weniger Minuten eintraten, dauerte es bei den verdünnten Lösungen entsprechend länger.

Tabelle 1. Verhalten des Keratins und seiner Bausteine bei NO_2 (HNO_3) und anschließender NH_3 -Einwirkung.

Lfd. Nr.	Substanz	NO_2 -Einwirkung	NH_3 -Einwirkung
1	Keratin	Gelbfärbung	fuchsrote Färbung, die bei Zugabe von Säure wieder verschwindet
2	Tyrosin	wie Keratin	wie Keratin
3	p-oxy-Phenylessigsäure	desgl.	wie Keratin, jedoch schwächer
4	p-oxy-Phenylpropionsäure	„	desgl.
5	Phenylalanin	schwache Gelbfärbung	Gelbfärbung wird etwas verstärkt
6	Alanin	Gelbfärbung	Gelbfärbung wird schwächer
7	Asparaginsäure	ohne Färbung	ohne Färbung
8	Asparagin	desgl.	desgl.
9	Prolin	„	„
10	Oxy-Prolin	schwach gelblich	geringe Farbvertiefung ins Blaßbräunliche
11	Serin	ohne Färbung	ohne Färbung
12	Lysin	desgl.	ganz schwach gelblich, verschwindet wieder
13	Leucin	„	ohne Färbung
14	Isoleucin	„	desgl.
15	Glutaminsäure	„	ganz schwach gelblich
16	Arginin	„	ohne Färbung
17	Threonin	„	schwach gelblich
18	Valin	„	ohne Färbung
19	Histidin	schwache Gelbfärbung	Entfärbung
20	Aminoglutarsäure	ohne Färbung	ohne Färbung
21	Cystin (und Cystein)	Braunfärbung — Gelbfärbung	Entfärbung
22	Glykokoll	ohne Färbung	ganz schwache Gelbfärbung
23	Tryptophan	dunkelbraun	karmesinrot
24	Cholesterin	hellgelb	„
25	Methionin	Gelbfärbung	Entfärbung

gleichzeitigem Fehlen des Pigmentes (Zerstörung) festgestellt werden. Die Rindenfibrillenkerne waren jeweils, insbesondere mit Hilfe der Feulgen-Reaktion, deutlich nachweisbar.

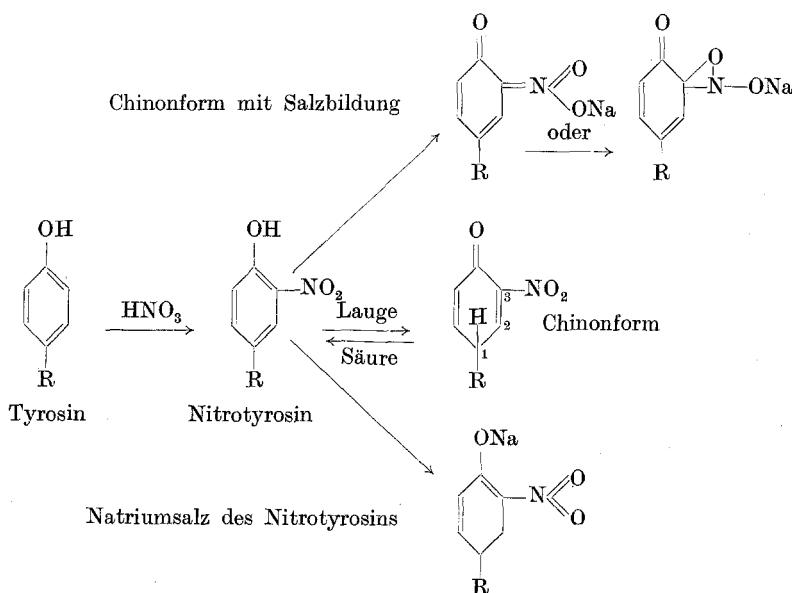
Da nach diesen Ergebnissen die fuchsigrötliche Verfärbung nicht allein auf Abbau- bzw. Zerstörungsvorgänge des Haarpigmentes zurück-

geführt werden konnte, wurde das Cholesterin sowie das Haarkeratin und seine Bausteine — soweit die einzelnen Substanzen zur Verfügung standen — auf die oben geschilderte Art (NO_2 und NH_3) einzeln geprüft (vgl. Tabelle 1).

Dabei wurde festgestellt, daß außer dem Cholesterin¹ und Tryptophan, welche eine karmesinrote Farbe zeigten, das Keratin sowie sein Baustein Tyrosin (einschließlich der Abbauderivate) eine fuchsigrötliche Farbe annahmen.

Die Grundsubstanz der Finger- und Fußnägel sowie der verhornten Haut enthält gleiche bzw. ähnliche Eiweißstoffe wie das Haar. Es war daher nach theoretischen Überlegungen zu erwarten, daß auch hier Farbveränderungen in ähnlicher Weise auftreten. Durchgeführte Versuche bestätigten die Richtigkeit dieser Annahme.

Bekanntlich besteht das Keratin zu 3,1—3,3% aus Tyrosin (LANDOIS-ROSEMANN, LEHNARTZ), das den Eiweißstoffen, an denen es beteiligt ist, gewisse Phenoleigenschaften verleiht. Phenole werden durch Salpetersäure leicht in Nitrophenole umgewandelt (Gelbfärbung). Tyrosin wird durch HNO_3 in das 3-Nitrotyrosin ($\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_5\text{N}_2$) überführt, das in Alkalien in roter Farbe löslich ist.



¹ Cholesterin kommt bekanntlich im Haarfett vor und könnte somit bei der Verfärbung der Haare nach dem Tode eine gewisse Bedeutung erlangen. Bei den hier untersuchten Haaren, Nägeln und der verhornten Haut wurde diesem Umstand Rechnung getragen, d.h. das zu untersuchende Material wurde vor den Versuchen mit heißem Äther und Alkohol entfettet.

Vermutlich beruht die Farbveränderung auf einer reversiblen Salzbildung oder auf einer intramolekularen Umwandlung des Benzolringes (Chinon)¹. Es können auch beide Prozesse nebeneinanderlaufen (vgl. Formeln).

Bekanntlich treten ja auch ähnliche Farberscheinungen bei Nitrierung von bestimmten Benzolderivaten auf, wie z. B. beim Einpökeln von Fleisch (Pökelhöte). Hier werden die Farbveränderungen darauf zurückgeführt, daß durch Salzbildung bei o- und p-Nitrophenolen eine farbvertiefende Wirkung entsteht. Chemisch kann dies nach SCHLENK damit erklärt werden, daß bei dieser Salzbildung die Nitrophenole in ihre aci-Formen umgewandelt werden und daß auch die an sich farblosen p- und m-Verbindungen dieser Körperklasse bei ihrer Salzbildung intensive Farben annehmen.

Zusammenfassung.

Wie die vorliegenden Versuchsergebnisse aufzeigen, dürfte es sich bei den postmortalen Veränderungen der Haarfarbe im wesentlichen um zwei verschiedene Vorgänge handeln, die getrennt für sich oder auch gleichzeitig ablaufen können. Einmal ist der Angriffspunkt das Haarpigment, welches durch Oxydationsvorgänge über die rote Stufe bis zur völligen Zerstörung abgebaut werden kann. Zum anderen können Nitrierungs- und anschließende Alkalisierungsvorgänge zu einer Umwandlung des Keratins, insbesondere seines Bausteines Tyrosin, und damit zu einer Farbänderung (graugelb bis fuchsigrot) führen.

Diese Reaktionsabläufe sind nicht allein an flüssige oder feuchte Medien gebunden, sondern können auch bei Einwirkung von Gasen (NO_2 und NH_3) auftreten.

Hervorgehoben werden darf nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen, daß nicht nur pigmentierte Haare, sondern auch graue (pigmentarme) und weiße, ja selbst Albino-Haare (pigmentlose) die fuchsigrote Farbe annehmen können.

Von der jeweiligen Redoxlage unter dem Fäulnis- und Verwesungsprozeß wird es abhängen, ob Haare einen graugelblichen oder fuchsroten Farbton annehmen. Wenn O. SCHMIDT nach seinen Untersuchungen mit Farbstoffindikatoren ausführt, daß die Entfärbung des Farbstoffes ein Maß für das herrschende Potential ist, so kann nach vorliegenden Untersuchungsergebnissen ergänzend gesagt werden, daß auch die Bildung neuer Farbstoffe von der jeweiligen Redoxlage abhängt.

Literatur.

KOCKEL, R.: Die Mikrotechnik bei Haaruntersuchungen. Dtsch. Z. gerichtl. Med. 6, 381 (1926). — KREFFT, S.: Morphologische, chemische und physikalische Untersuchungen an Leichenhaaren. Habil.-Schr. Leipzig 1949. — LANDOIS-

¹ Ob noch weitere Derivate der nitrierten Ringkörper dabei mitwirken, wie z. B. Pikraminsäure, bedarf noch weiterer Untersuchungen.

ROSEMANN: Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 25. Aufl. Berlin u. Wien 1944. — LEHNARTZ, E.: Einführung in die chemische Physiologie, 10. Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1952. — LOCHTE, TH.: Atlas der menschlichen und tierischen Haare. Leipzig 1938. — LORKE, D., u. O. SCHMIDT: Fäulnis und Verwesung im Experiment. Dtsch. Z. gerichtl. Med. **41**, 236ff. (1952). — RINGBERG, F.: 100 Jahre alte Haare. Vjschr. gerichtl. Med. **14**, 264 (1897). — SCHLENK, W.: Ausführliches Lehrbuch der organischen Chemie, Bd. I u. II. Leipzig u. Wien 1932/1939. — SCHMIDT, O.: Zum Reduktionspotential in Leichen. Zbl. allg. Path. **87**, 17ff. (1951). — STETZER, A.: Verändern sich abgeschnittene menschliche Haare unter äußerem Einwirkungen? Med. Diss. Heidelberg 1935. — WACHHOLZ, L.: Über Veränderung der Haarfarbe. Arch. Kriminol. **19/20**, 287 (1950). — ZIEMKE, E.: 100 Jahre alte Haare. Vjschr. gerichtl. Med. **16**, 238 (1898). Weitere diesbezügliche Literatur s. LOCHTE.

Prof. Dr. SIEGFRIED KREFFT, Leipzig,
Institut für gerichtliche Medizin und Kriminalistik der Universität.