

Über die Untersuchung von Haaren mit dem Rasterelektronenmikroskop*

Volkmar Schneider**

Institut für gerichtliche und soziale Medizin der Freien Universität Berlin (BRD)

Eingegangen am 20. April 1972

On the Investigation of Hair with the Aid of the Scanning Electron Microscope

Summary. The report deals with the application of the scanning electron microscope to forensic investigations carried out on hair. In particular, attention is paid to the cuticular characteristics of human hair in relation to age and origin (part of the body) as well as of animal hair in relation to the species of animal and location. In addition examples of thermal and mechanical changes in hair are demonstrated and relevant illustrations of a freshly plucked hair and an example of falling hair are provided. In conclusion the article deals with possible investigations into gaps in growth on the basis of a concrete example.

Zusammenfassung. Es wird über die Anwendungsmöglichkeiten des Rasterelektronenmikroskops bei der forensischen Haaruntersuchung berichtet. Insbesondere wird auf die Cuticularzeichnung des menschlichen Haares in Abhängigkeit von Alter und Herkunft (Körperteil) sowie des tierischen Haares in Abhängigkeit von Tierart und Standort näher eingegangen. Ferner werden Beispiele thermischer und mechanischer Haarveränderungen demonstriert und entsprechende Abbildungen eines frisch ausgerissenen Haares bzw. eines ausgefallenen Kolbenhaares gezeigt. Schließlich wird an Hand eines konkreten Falles auf die Untersuchungsmöglichkeiten an Schlußlücken hingewiesen.

Key words: Haaruntersuchungen, mechanische und thermische Veränderungen — Rasterelektronenmikroskopie.

Das Schrifttum, das sich mit der Untersuchung von Haaren befaßt, ist heute kaum noch zu überblicken. Schon Lochte [24] gibt in seinem 1938 erschienenem „Atlas der menschlichen und tierischen Haare“ mehr als 370 Literaturstellen an. Durch den Einsatz des Rasterelektronenmikroskops sind in den vergangenen Jahren weitere zum Teil ganz neue Erkenntnisse insbesondere im Hinblick auf den Aufbau der Haarrinde gewonnen worden [17, 22, 27, 30, 40]. Es lag natürlich nahe, dieses Verfahren der Direktabbildung von Oberflächen auch bei der forensischen Haaruntersuchung einzusetzen. Hier interessieren vor allem folgende Fragen: Handelt es sich um Tier- oder Menschenhaare? Von welcher Tierart stammen sie bzw. sind die untersuchten Haare einer bestimmten Person zuzuordnen? Ist es möglich, ihren Standort (Körperteil) anzugeben? Sind sie ausgefallen oder ausgerissen? Zeigen sie sonstige charakteristische Veränderungen? Kann aus evtl. vorliegenden Verletzungen auf das verursachende Werkzeug geschlossen werden?

* Nach einem Vortrag auf dem 5. Kolloquium der Arbeitskreise Mikrosonde und Elektronenmikroskopische Direktabbildung von Oberflächen, Graz, 5.—7. 4. 1972.

** Herrn Prof. Dr. med. W. Krauland zum 60. Geburtstag.

In diesem Zusammenhang sei besonders auf die Arbeiten von Böhm [5—9] hingewiesen, jedoch sind seine rasterelektronenmikroskopischen Haaruntersuchungen zumeist unter ganz anderen Gesichtspunkten durchgeführt worden. Über einen Fall, in dem zwar keine Haare, sondern Federn eine entscheidende Rolle gespielt haben, ist kürzlich von Davies [13] berichtet worden. Durch das Ergebnis rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen war es möglich zu sagen, daß es sich bei den an der Kleidung zweier Tatverdächtiger gefundenen Federn nicht, wie behauptet, um Entenfedern handelte, sondern um Federn von Küken einer bestimmten Untergruppe, zu der auch die gestohlenen Tiere gehörten.

Wenn im folgenden lediglich auf die ohne größeren präparativen Aufwand im Rasterelektronenmikroskop leicht zu beobachtende Oberhäutchenzeichnung eingegangen wird, so soll dadurch aber keineswegs der Wert der übrigen Informationen, die die Untersuchung von Haaren zu liefern vermag, eingeschränkt werden. Hier sei den Ausführungen von Berg [3] folgend insbesondere auf die makrometrische und makroskopische Beschreibung (Anzahl, Länge, Farbe, Form, Geruch), auf die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften (Reißfestigkeit, Dehnbarkeit) und die lichtmikroskopische Untersuchung (Pigmentierung, Schaftdicke, Rindenbreite, Markstrangentwicklung) hingewiesen. Auch empfiehlt es sich, bei Identitätsuntersuchungen zunächst etwa vorhandene Oberflächenverschmutzungen auszuwerten. Ferner kann das Verhalten des Haarquerschnitts im Rahmen des kriminalistischen Haarvergleichs als besonderes mikromorphologisches Detailmerkmal zur Individualisierung des Gesamtbildes einer Haarprobe dienen [4]. Der Vollständigkeit halber sei noch die Neutronenaktivierungsanalyse erwähnt [12].

Methodik. Säuberung der Haare soweit erforderlich mit Äther, Aufbringen der zu untersuchenden Proben auf mit Graphit beschichtete Aluminiumteller, Gold-Kegel-Bedampfung, Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop „Stereoscan“ (10 bzw. 30 KV, Kippwinkel 30°). Die angegebenen Vergrößerungen beziehen sich jeweils auf ein Schirmbild von 10 × 10 cm. Eine Fixierung und Entwässerung ist nicht erforderlich, es sei denn, es werden Weichgewebe wie Haarbälge oder unverhornte Haarwurzeln untersucht¹.

Abb. 1 zeigt links das Kopfhaar eines 4 Wochen alten Säuglings. Die Cuticularsäume lassen bereits eine deutliche Zähnelung erkennen. Nach Lochte [24] ist die Stärke der Zähnelung abhängig vom Alter des Haares. Beim Neugeborenen soll der Cuticularsaum gerade allenfalls leicht gewellt verlaufen. Auch soll später die Zähnelung in Wurzelnähe mehr oder weniger fehlen, weil das Haar hier mechanischen Angriffen weniger ausgesetzt, besser eingefettet und vor Verdunstung geschützt sei. Auf der rechten Seite des Bildes findet sich das Kopfhaar eines 10 Monate alten Säuglings. Die Cuticularsäume erscheinen hier sehr viel dichter aneinandergerückt und ähneln damit schon dem Bild beim Erwachsenen.

Hier sei ganz allgemein etwas zur Cuticula gesagt. Sie besteht bekanntlich aus verhornten, kernlosen Schuppen, die in der Weise angeordnet sind, daß ihre freien Ränder zur Haarspitze weisen. Nach ihrer Form unterscheidet man die

1. Die Untersuchungen wurden in der Zentraleinrichtung für Elektronenmikroskopie der Technischen Universität Berlin (Direktor: Prof. Dr. J.-G. Helmcke) an dem dort von der „Stiftung Volkswagenwerk“ aufgestellten Rasterelektronenmikroskop durchgeführt. Der technischen Angestellten Frä. L. Schulz und dem wissenschaftlichen Fotografen Herrn W. Dietz sei an dieser Stelle für ihre Mitarbeit gedankt.

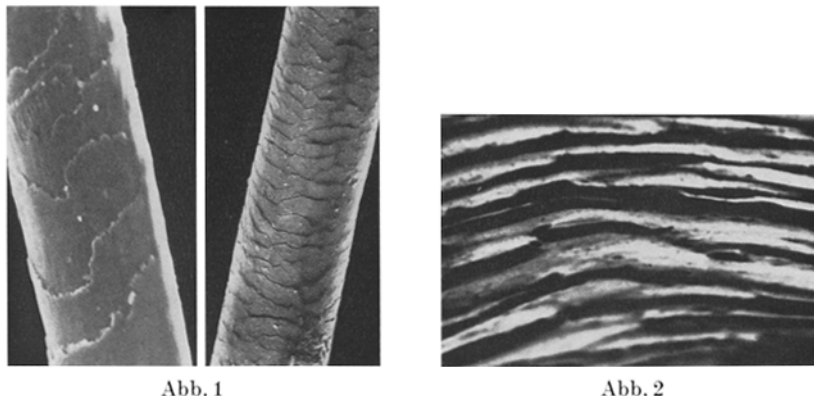


Abb. 1

Abb. 2

Abb. 1. Links: Kopfhaar eines 1 Monat alten Säuglings (L-Nr. 487/71, ♂), 1800×; rechts: Kopfhaar eines 10 Monate alten Säuglings (L-Nr. 81/72, ♀), 500×

Abb. 2. Cuticulaschichtung eines in flüssigem Stickstoff gebrochenen Kopfhaares (32 Jahre, ♂), 5500×

dachziegelförmigen und die kranzförmigen Schuppen. Diese beiden Hauptgruppen werden in weitere Untergruppen, und zwar die dachziegelförmigen in ovale, zugespitzte, verlängerte, gekerbte und flache; die kranzförmigen in einfache, gesägte und gezähnte eingeteilt [11, 36]. Die einzelnen Schuppen liegen in bis zu 15 Schichten übereinander und sind durch intercelluläre Zementsubstanzen fest miteinander und mit dem Cortex verbunden [9, 22]. Abb. 2 zeigt diese Schichtung an der schrägen Bruchfläche eines in flüssigem Stickstoff gebrochenen Kopfhaares. Man erkennt deutlich sowohl die Schichtung in der Längsachse als auch das gegenseitige Überlappen an den Stellen, an denen die Cuticularzellen seitlich aneinanderstoßen. Eine Differenzierung in Exo-, Endo- und Epicuticula [39] entspricht offensichtlich nicht mehr den neueren Erkenntnissen im Hinblick auf das Bauprinzip des Oberhäutchens [22].

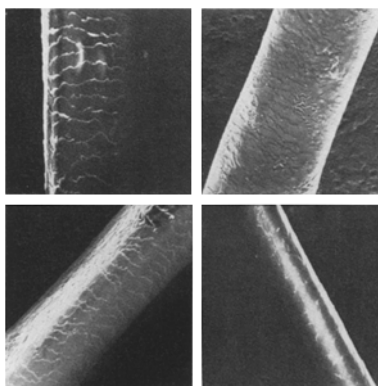


Abb. 3. Verschiedene Haare der gleichen Person (L-Nr. 486/71, 46 Jahre, ♀); oben links: Kopfhaar, 950×; daneben: Schamhaar, 500×; unten: zwei Achselhaare, jeweils 900×

Wie schwierig die Beurteilung von Haaren sein kann, soll an Hand von Abb. 3 demonstriert werden. Sie zeigt vier ganz unterschiedliche Haare ein und derselben Person, und zwar oben links ein Kopfhaar, daneben ein Schamhaar und unten zwei Achselhaare. Dabei ähnelt das unten rechts abgebildete Haar nicht unerheblich dem Kopfhaar des 4 Wochen alten Säuglings, und zwar sowohl hinsichtlich seiner Cuticularzeichnung als auch seiner Schaftdicke. Das Schamhaar läßt stellenweise unregelmäßige Kräuselungen und Cuticulardefekte erkennen, die wohl am ehesten als Zeichen einer Maceration zu erklären sein dürften. Nach Berg [3], der in diesem Zusammenhang auf die Untersuchungen von Anliong [1] verweist, kommt der Cuticularzeichnung zumindest beim menschlichen Haar meist nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

Die wesentlichsten differentialdiagnostischen Merkmale zur Unterscheidung eines menschlichen von einem tierischen Haar hinsichtlich des Oberhäutchens bestehen nach Brummund [11] darin, daß die Cuticularsäume beim menschlichen Kopfhaar in leicht gewellten, feingezackten Linien zwar nicht parallel, aber im Gesamtbild ziemlich gleichmäßig verlaufen und daß das menschliche Haar, worauf auch Jarosch u. Mitarb. [21] hinweisen, in ganzer Länge an allen Abschnitten eine mehr oder weniger gleiche Zeichnung aufweist.

Dennoch kann eine Abgrenzung gegenüber Tierhaaren mitunter sehr schwierig sein, so etwa gegen das oben links auf Abb. 4 dargestellte Affenhaar. Gleiches soll nach Literaturangaben auch für gewisse Ziegenhaare und Spürhaare von der Schnauze des Hundes zutreffen [34]. Rechts oben findet sich ein Hundehaar vom Rücken, unten links ein Pferdehaar und daneben ein Haar vom Schaf. An der Cuticula des Schafhaares fiel insbesondere bei stärkerer Vergrößerung eine deutliche Längsriefelung auf, ein Befund, der auch für das Tigerhaar beschrieben wird [17]. Wie beim Menschen so finden sich aber auch beim Tier, und hier in noch stärkerem Maße, ganz unterschiedliche Haartypen, wobei in diesem Zusammenhang nur die drei Grundformen, nämlich das Wollhaar, das Grannenhaar

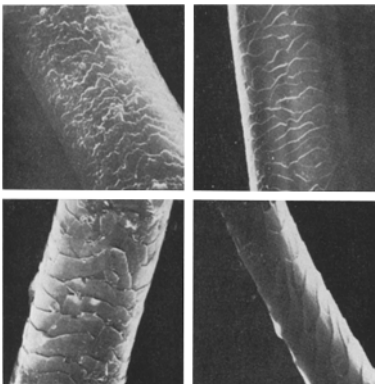


Abb. 4

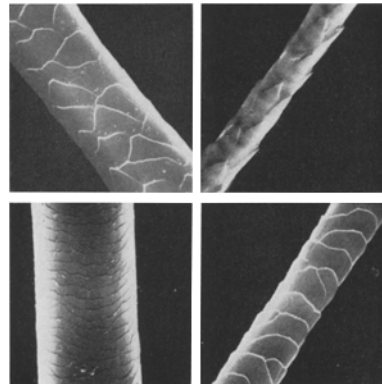


Abb. 5

Abb. 4. Verschiedene Tierhaare; oben links: Affe, 1000 \times ; daneben: Hund (Rücken), 1000 \times ; unten links: Pferd (Wamme), 1000 \times ; daneben: Schaf (Rücken), 2000 \times

Abb. 5. Verschiedene Haare des gleichen Tieres (Katze); oben: jeweils vom Rücken, 1000 \times ; unten: jeweils vom Bauch, links: 1000 \times ; daneben 2000 \times

und das Leithaar erwähnt werden sollen. Das Vorkommen von Übergangsformen und Varianten kann die Beurteilung noch weiter erschweren.

Abb. 5 zeigt vier verschiedene Haare der gleichen Katze, und zwar oben zwei Haare vom Rücken, darunter zwei Haare vom Bauch. Eine Cuticularzeichnung mit derartigen längsorientierten, zapfenförmigen bzw. rhombischen Formen kommen beim Menschen niemals vor. Ferner kann aber auch das Bild eines einzigen Tierhaares von der Wurzel bis zur Spitze hin nicht unerheblich variieren. So sollen beispielsweise im Fell des Eichhörnchens 23 verschiedene Formen vorkommen [36].

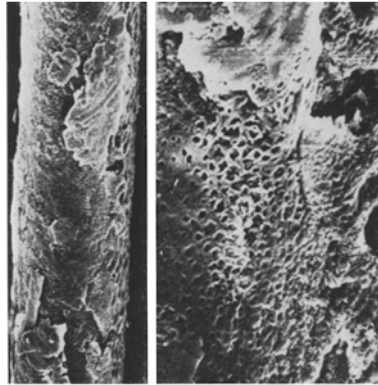


Abb. 6. Geschädigtes Kopfhaar — Haarerkrankung? Unsachgemäße Behandlung? — (L-Nr. 91/72, 51 Jahre, ♀); links: 500 ×; daneben: Ausschnittsvergrößerung, 2000 ×



Abb. 7



Abb. 8

Abb. 7. Frisch ausgerissenes Kopfhaar mit anhaftenden Resten des Haarbalges (27 Jahre, ♂), 500 ×

Abb. 8. Wurzel eines Kolbenhaares (L-Nr. 486/71, 46 Jahre, ♀), 190 ×

In Abb. 6 ist das Kopfhaar einer 51 Jahre alten Frau dargestellt. Hier erkennt man nur noch Reste des stark geschädigten Oberhäutchens. Allenthalben finden sich kleine unregelmäßig begrenzte Poren, wie sie besonders gut in der Ausschnittsvergrößerung zu erkennen sind. Man wird hier in erster Linie an die Folgen einer unsachgemäßen Haarbehandlung, aber auch an das Vorliegen einer Haarerkrankung zu denken haben. Derartige Veränderungen stellen schon einen bemerkenswerteren Befund dar als beispielsweise geringfügige Unterschiede in der Zähnelung oder im Verlauf der Cuticularsäume. Aber dennoch wird man auch in einem solchen Fall auf die oben beschriebenen weiteren Untersuchungen keinesfalls verzichten können.

Abb. 7 zeigt einen Haarschaft mit noch anhaftenden Resten des Haarbalges. Es handelt sich um ein frisch ausgerissenes Kopfhaar eines 27 Jahre alten Mannes. Auf dem folgenden Bild (Abb. 8) erkennt man im Vergleich dazu ein sog. Kolbenhaar, d. h. die verhornte, an der Spitze abgerundete Wurzel eines ausgefallenen Haares. Es stammt von einer 46 Jahre alten Frau.

Der nächsten Bildserie (Abb. 9) liegt ein kürzlich untersuchter Fall zugrunde. Ein 40 Jahre alter Mann wird mit mehreren Stichverletzungen tot in seiner Wohnung aufgefunden. An seinem linken Daumen haftet ein einzelnes Haar. Es wird gesondert bei der Tatortbesichtigung asserviert. Schon bald danach wird ein Tatverdächtiger mit der Frage vorgeführt, ob dieses Haar von ihm stammen kann. Oben links erkennt man das asservierte Haar, daneben ein Kopfhaar vom Opfer, darunter Kopfhaare vom Tatverdächtigen, und zwar links vom Scheitel, daneben von der Schläfe.

Ein Vergleich der Oberflächenbilder ließ vermuten, daß das fragliche Haar offenkundig nicht vom Tatverdächtigen herrührte, eine Annahme, die durch die übrigen Untersuchungsbefunde und die Umstände schließlich bestätigt wurde.

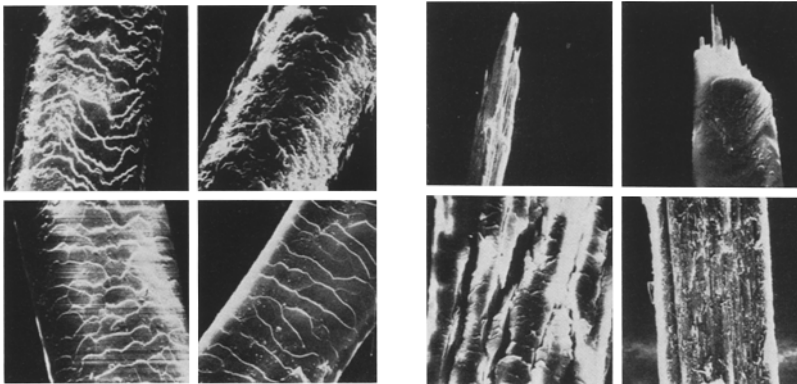


Abb. 9

Abb. 10

Abb. 9. Oben links: Haar vom linken Daumen eines Getöteten; daneben: Kopfhaar vom Opfer (L-Nr. 412/71, 40 Jahre), jeweils $1100\times$; unten: Kopfhaare eines Tatverdächtigen (28 Jahre); links: vom Scheitel; daneben: von der Schläfe, jeweils $1100\times$

Abb. 10. Oben links: Spitze eines schulterlangen, 2 Monate nicht geschnittenen Frauenhaares, $200\times$; daneben: Ende eines frisch zerrissenen Haares, $1000\times$; unten links: gequetschtes Haar, $500\times$; daneben: geschürftes Haar mit freiliegender Rinde, $600\times$. Es handelt sich jeweils um Kopfhaare der gleichen Person (22 Jahre)

Forensisch interessant können natürlich auch die rein mechanisch erzeugten Haarläsionen sein, so u. a. bei der Beurteilung von Schädelverletzungen [32]. Als Beispiel sei hier das eine Ende eines zerrissenen Haares im Vergleich zu der Haarspitze eines längere Zeit nicht geschnittenen und oft gebürsteten Frauenhaares gezeigt (Abb. 10 oben rechts bzw. links). Im zuerst beschriebenen Fall reicht die Cuticula treppenförmig bis unmittelbar an die Reißstelle heran. Demgegenüber verdünnt sich das Oberhäutchen des Vergleichshaares zur aufgefaserten Spitze hin und läuft in ein bis zwei Lagen zapfenförmig aus. In diesem Zusammenhang sei insbesondere auf die Untersuchungen von Lochte [25] an durchrissenen Haaren hingewiesen. Unten links erkennt man ein gequetschtes Haar — der Haarschaft kann bis auf das 3fache verbreitert sein — mit deutlichen Längsfissuren, daneben ein geschürftes Haar. Bei diesem liegt die Rinde, die nach Kuczera [22] aus den Strangbündeln mit den Unterbegriffen Kabelstränge, Filatinkabel und Mikrofilamente besteht, völlig frei. Diese wenigen Beispiele sollen lediglich die Anwendungsmöglichkeiten des Rasterelektronenmikroskops demonstrieren, im übrigen wird in diesem Zusammenhang auf die einschlägigen Untersuchungen über Haarverletzungen durch scharfe und stumpfe Gewalt [10, 19], Haarläsionen durch Überfahren [10, 20, 23], altersabhängige Veränderungen frisch geschnittener Haare [15, 19, 29] und Haarschädigungen in Abhängigkeit vom umgebenden Milieu [37] verwiesen.

Von Interesse sind weiter die Hitzeveränderungen an Haaren. Bei dem auf Abb. 11 gezeigten Haar handelt es sich um ein Kopfhaar eines 4 Jahre alten Jungen, der 2 Tage nach ausgedehnten Verbrennungen gestorben ist. Als auffälligste Veränderungen fanden sich eine geringe Verdickung und eine deutliche Verdrillung des Haarschaftes an seinem Ende sowie eine wabige Umwandlung an seiner Bruchfläche. Nach Literaturangaben [14, 16, 28, 31, 35] soll es, unabhängig davon, wie schnell die Temperatur ansteigt, ab 140° zum Auftreten von Gasblasen, und zwar zunächst im Mark und in den axialen Teilen der Rinde, bei etwa 240° zur Kräuselung und bei 300° und mehr zur Verkohlung kommen. Solange die Temperatur nicht 200° übersteigt, soll es möglich sein, menschliche

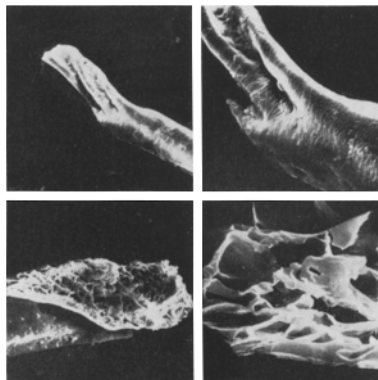


Abb. 11. Angesengtes Kopfhaar mit Verdrillung des Schaftes und wabenartiger Struktur an der Bruchfläche (L-Nr. 523/71, 4 Jahre, ♂); von links oben nach rechts unten: $200\times$, $500\times$, $240\times$, $2000\times$

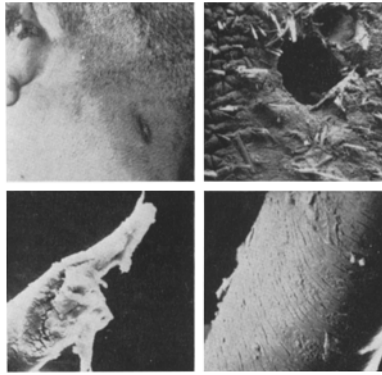


Abb. 12. Kopfsteckschuß (L.-Nr. 89/71, 40 Jahre, ♀, Kaliber 7,65 mm); oben links: Einschuß-
 lücke im Nacken, daneben: „gerasterte“ Schußlücke mit breiter Schürfung im unteren Anteil
 und in den Schußkanal verlagerten Haaren, Übersichtsaufnahme; unten links: „durch-
 schossenes“ Haar; daneben: Haarschaft mit Beschmauchung, $500\times$ bzw. $1000\times$

Haare von Tierhaaren zu unterscheiden [26]. Eine Verdrillung in der hier gezeigten Art hat kürzlich auch Böhm [9] an Haaren nach Hochspannungseinwirkung beschrieben. Nach Strassmann [38] finden sich durch niedrig gespannte elektrische Ströme kaum je Haarversengungen.

Die letzte Bildserie (Abb. 12) betrifft eine Schußverletzung. Es handelt sich um die Einschußlücke in der linken Nackengegend bei einer von ihrem geschiedenen Ehemann durch mehrere Kopfsteckschüsse getöteten 40 Jahre alten Frau. Das dazugehörige Geschoß, Kaliber 7,65 mm, fand sich unter der Stirnhaut rechts. Neben der Übersichtsaufnahme erkennt man die „gerasterte“ Einschußlücke mit einer dem Geschoßverlauf entsprechenden Schürfung im unteren Anteil. Die Haare sind zum Teil in den Schußkanal hineingezogen. Unten links ist ein „durchschossenes“ Haar, daneben ein Haarschaft jeweils aus der unmittelbaren Umgebung der Schußlücke abgebildet. Die kleinen rundlichen Partikel stellen offensichtlich Schmauchbestandteile dar. Über ihre Elementanalyse mit der Mikrosonde hat im vergangenen Jahr Hantsche [18] auf dem 4. Kolloquium über Mikroanalyse sowie mikromorphologische Abbildung von Oberflächen in Bremen berichtet. Eindrucksvolle Bilder sind hierzu auch von Böhm [7, 8] veröffentlicht worden.

Die Vielzahl der Untersuchungsmöglichkeiten mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops — je nach Versuchsanordnung können die reflektierten Elektronen, die Sekundärelektronen, die durchdringenden Elektronen, die Kathodolumineszenz und die Röntgenemission untersucht werden — und die sehr eindrucksvollen Abbildungen dürfen jedoch nicht über die Grenzen dieses Verfahrens hinwegtäuschen. Der Vorteil gegenüber den sonst angewandten Verfahren, insbesondere den Abdruckverfahren [21, 36], besteht vor allem darin, daß der präparative Aufwand nur sehr gering ist, die Untersuchung von Haaren auch mit nicht runden Querschnitten stets verwertbare Ergebnisse liefert, was Aurin [2] bei den Abdruckverfahren bemängelt, und auch bei stärkeren Vergrößerungen eine ausgezeichnete Tiefenschärfe erhalten bleibt.

Dennoch erlaubt auch dieses Verfahren keine derart weitreichenden Schlüsse, wie sie noch vor etwa mehr als 100 Jahren von Pfaff (zit. nach Quinkenstein [33]) auf Grund von zwei in einer Mütze gefundenen Haaren gezogen worden sind, der folgende Beschreibung des gesuchten Täters abgab: Es handelt sich um einen kräftigen, zur Korpulenz neigenden, in den mittleren Jahren stehenden Mann mit graumelierten, neuerdings kurz geschnittenen Haaren und Neigung zur Glatzenbildung. Nach wie vor bedarf es, wie Berg [3] ausführt, großer Vorsicht bei der gutachtlichen Bewertung der erhobenen Befunde, nicht nur im Falle der Übereinstimmung der Haarproben, sondern auch bei deren Verschiedenheit.

Literatur

1. Anliong, Ch.: Ist eine Individualdiagnose beim menschlichen Haar möglich? Arch. Kriminol. **118**, 145 (1956).
2. Aurin, W.: Ist die Unterscheidung von Hasen- und Kaninchenhaaren durch Untersuchung der Cuticula und der Marksubstanz möglich? Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **20**, 287 (1933).
3. Berg, S.: Beiträge zur Gewinnung und Bewertung von Befunden in der forensischen Haaruntersuchung. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **46**, 531 (1957).
4. Berg, S.: Neue Technik der Querschnittsuntersuchung von Haaren und Fasern. Arch. Kriminol. **120**, 98 (1958).
5. Böhm, E.: Untersuchungen an experimentellen Stromverletzungen mit Elektronenstrahlen. Z. Rechtsmedizin **67**, 293 (1970).
6. Böhm, E.: Einige charakteristische rasterelektronenmikroskopische Befunde an menschlicher Haut nach Hochspannungseinwirkung. Arch. Kriminol. **147**, 79 (1971).
7. Böhm, E.: Die Anwendung des Rasterelektronenmikroskops in der Rechtsmedizin. Beitr. gerichtl. Med. **28**, 121 (1971).
8. Böhm, E.: Application of the SEM in forensic medicine. Scanning Electron Microscopy 1971 (Part II) 553, Chicago.
9. Böhm, E., Klingele, H.: Einige rasterelektronenmikroskopische Befunde an menschlichen Haaren nach tödlicher Hochspannungsverletzung. Elektromedizin **15**, 141 (1970).
10. Brüning, A.: Das Haar in seiner kriminalistischen Bedeutung. Arch. Kriminol. **78**, 259 (1926).
11. Brummund, F.: Die Haare der jagdbaren Wildarten Deutschlands mit besonderer Berücksichtigung der Cutikula. Arch. Kriminol. **100**, 151 (1937).
12. Cornelis, R., Speecke, A.: Neutron activation analysis of human hair collected at regular intervals for 25 years. J. forens. Sci. Soc. **11**, 29 (1971).
13. Davies, A.: Micromorphology of feathers using the scanning electron microscope. J. forens. Sci. Soc. **10**, 165 (1970).
14. Dérobert, L.: De la carbonisation de la peau et de ses annexes (poils, ongles et dents). Paris: Arnette 1934.
15. Dérobert, L., Hausser, G.: La pratique médico-légale. Paris: Doin 1938.
16. Fehsenfeld, G.: Über Haarverletzungen durch Überfahren. Med. Klin. **11**, 337 (1915).
17. Fujita, T., Tokunaga, J., Inoue, H.: Atlas of scanning electron microscopy in medicine. Amsterdam-London-New York: Elsevier 1971.
18. Hantsche, H.: Zur Anwendung des Raster-Elektronenmikroskops in der Kriminaltechnik. Beitr. elektronenmikroskop. Direktabb. Oberfl. **4/2**, 641 (1971).
19. Heinecker, E.: Zur Frage der Spezifität der Haarverletzungen durch scharfe und stumpfe Gewalten. Med. Diss., Königsberg 1906.
20. Hische, F.: Über Haarverletzungen durch Überfahren. Med. Diss., Göttingen 1912.
21. Jarosch, K., Grims, H., Marck, A.: Ein einfaches Abdruckverfahren zur Haarcuticula-Darstellung. Beitr. gerichtl. Med. **21**, 83 (1961).
22. Kuczera, K.: Bauelemente des Haares. Kosmetik **42**, 243, 360 (1969); Seifen — Öle — Fette — Wachse **95**, 8, 10 (1969).
23. Lochte, Th.: Über Haarverletzungen durch Überfahren. Vjschr. gerichtl. Med. **45**, 50 (1913).

24. Lochte, Th.: Atlas der menschlichen und tierischen Haare. Leipzig: Schöps 1938.
25. Lochte, Th.: Über die Untersuchungsergebnisse an durchrissenen Haaren und über ein sichtbares Bewegungsphänomen bei Quellung überdehnter Haare in Wasser. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **33**, 204 (1940).
26. Mélissinos, J., Dérobert, L.: Verkohlung der menschlichen und tierischen Haare. Arch. Kriminol. **99**, 29 (1936).
27. Millington, P. F., Brown, I. A.: Scanning electron microscope studies of some internal surfaces in human skin. Z. Zellforsch. **106**, 209 (1970).
28. Minakov, P.: Über die Veränderung der Haare durch die Hitze. Vjschr. gerichtl. Med. **11**, 105 (1896).
29. Niyogi, S. K.: Some aspects of hair examination. Med. Sci. Law **9**, 270 (1969).
30. Orfanos, C. E., Mahrle, G.: Haar und Haaroberflächen. Variationen des Aufbaus und des Cuticularmusters verschiedener Haare und Haarabschnitte. Hautarzt **22**, 113 (1971).
31. Piédelièvre, R., Zébouni: Ist aus den Haaren einer Leiche der Hitzegrad festzustellen, dem sie ausgesetzt war? Arch. Kriminol. **93**, 136 (1933); Ann. méd. lég. **13**, 297 (1933).
32. Puppe, G.: Beiträge zur gerichtsärztlichen Beurteilung der Schädelverletzungen. Z. Med. Beamte **10**, 719 (1897).
33. Quinkenstein, J.: Das Ergrauen des menschlichen Haares in forensischer Beziehung. Med. Diss., Göttingen 1920.
34. Sauer, M.: Die Bedeutung der Oberhautzeichnung von Haaren verschiedener Herkunft und eine Färbung zur Darstellung dieser Zeichnung. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **1**, 679 (1922).
35. Schmidt, W. J.: Beiträge zur Doppelbrechung des menschlichen Kopfhaares. Z. Zellforsch. **15**, 188 (1932).
36. Schröder, A.: Ist die Unterscheidung von Menschen- und Tierhaaren durch Untersuchung der Cuticula möglich? Med. Diss., Göttingen 1930.
37. Stetzer, A.: Verändern sich abgeschnittene menschliche Haare unter äußeren Einwirkungen? Med. Diss., Heidelberg 1935.
38. Strassmann, G.: Beobachtungen bei elektrischen Todesfällen mit besonderer Berücksichtigung der Haut- und Haarveränderungen. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **9**, 697 (1927).
39. Viterbo, B.: Changes in the appearance of hair epicuticle produced by hydrogen peroxide and permanent waving as observed with the electron microscope. Zaccchia **39**, 171 (1964); ref. in: Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **58**, 42 (1966).
40. Vogt, H.-H.: Haare wie Kabelstränge. Kosmos **67**, 151 (1971).

Dr. med. V. Schneider
Ass.-Prof. am Institut
für gerichtliche und soziale Medizin
der Freien Universität Berlin
D-1000 Berlin 33 (Dahlem), Hittorfstraße 18
Bundesrepublik Deutschland