

Methodische Beiträge zur Struktur- und Pigmentbeurteilung der menschlichen Kopfhare in der Längseinbettung und im Querschnitt

Von J. SZILVÁSSY¹⁾, H. KRITSCHER¹⁾ & CH. SEKAL²⁾

(Mit 5 Abbildungen und 6 Tafeln)

Manuskript eingelangt am 4. September 1986

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit stellen die Verfasser sämtliche für die Identifikation des menschlichen Kopfhares notwendigen morphologischen und metrischen Parameter vor. An Hand von 30.000 Individualbefunden des Kopfhares wurden von den Verfassern die genetischen Marker in Längsdurchsichts- und in Querschnittspräparaten studiert. Erst durch das Studium dieses großen Befundgutes konnte die Gesamtvariation der Haarmerkmale erkannt und erfaßt werden. Daher war es den Verfassern erstmalig möglich, sämtliche Kopfhaarmerkmale methodisch darzustellen und standardisierte Schemata zu entwickeln, die für Variations- und Vererbungsstudien sowie Familienuntersuchungen menschlicher Kopfhare notwendig sind.

Summary

In this study the authors present morphologic and metric parameters necessary for identification of human head hair. The authors have studied various traits by utilizing longitudinal opalescent preparations. Only by studying such a vast collection of findings the whole variation of human head hair could be evaluated. This enabled the authors to develop for the first time a method to standardize schemes for the entire range of human head hair traits, which are necessary in course of a forensic identification of human head hair.

Einleitung

Bisher wurde in der Humanbiologie für Fragen der Identifikation der Haare vor allem die Längseinbettung herangezogen. Diese Methode erfordert keinen großen technischen Aufwand. Allerdings kann nur ein Teil der Haarmerkmale damit erfaßt werden. Die sicherlich technisch aufwendigere Methode der Haarquerschnittsbetrachtung hat den Vorteil, daß wesentlich mehr Merkmale ausgewertet werden können. Für Untersuchungszwecke sollten immer beide Methoden gemeinsam angewendet werden.

Anschrift der Verfasser:

¹⁾ Univ.-Doz. Dr. JOHANN SZILVÁSSY, Dr. HERBERT KRITSCHER, Anthropologische Abteilung, Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, Postfach 417, A-1014 Wien. – Österreich.

²⁾ CHRISTINE SEKAL, Institut für Gerichtliche Medizin der Universität Wien, Sensengasse 2, A-1090 Wien. – Österreich.

Mit der Entdeckung des Mikroskops wurde das Haar morphologischen und metrischen Untersuchungen zugänglich gemacht. So finden sich schon in dem histologischen Lehrbuch von WEBER 1827 erste Ansätze für die mikroskopische Untersuchung des Haares.

Im 2. Band des 1831 erschienenen Werkes „Die Lehre von den Haaren in der gesamten organischen Natur“ schilderte EBLE neben einer anatomischen und histologischen Betrachtung des menschlichen Haares auch die morphologischen Merkmale wie Kräuselung, Stärke sowie Farbe und ein eigenes Kapitel widmet er der Pathologie des Haares.

In REISSNER'S „Beiträge zur Kenntnis der Haare des Menschen und der Säugethiere“ (1854) werden ausführliche Darstellungen über die Cuticula, Rinde und das Mark des menschlichen und tierischen Haares beschrieben.

PRUNER-BEY (1863–1868) mikroskopische Untersuchungen über das menschliche Haar war insofern anthropologisch orientiert, als er Mark und Querschnittsform des Haares als Rassenmerkmale betrachtete.

Auf die Bedeutung des Haares für die forensische Medizin wiesen vor allem PFAFF (1869) und OESTERLEIN (1874 und 1881), die nicht nur das menschliche Kopfhaar sondern alle behaarten Regionen des Körpers in die Untersuchung miteinbezogen. Bis in unsere Gegenwart wurde der 1884 erschienene „Atlas der menschlichen und tierischen Haare“ von WALDEYER in der Haarforschung als Nachschlagewerk benutzt.

Den weiteren Abriß der Geschichte der Haarforschung nach WALDEYER beschreibt S. GREFEN-PETERS 1980.

Für die Zukunft der Haarforschung war das Jahr 1976 entscheidend, in dem REUER eine Standardisierung der pilometrischen Methoden vornahm und diese in einigen weiteren Arbeiten ausführlich darstellte.

Methodik

1. Längsdurchsichtspräparate: Bei der Herstellung werden die Haarstränge in gestreckter und paralleler Lage auf einem Objektträger in Eukitt eingebettet und mit einem Deckglas fixiert. Nach 24 Stunden kann das ausgehärtete Präparat bearbeitet werden.

Die Dokumentation der Merkmale erfolgt mit Hilfe des Fotomikroskopes im Durchlicht. Für die Routine werden die Haare mit einem 10×-Objektiv fotografiert und 8× nachvergrößert. Berücksichtigt man den Kamerafaktor von 2,25 so kommt es zu einer standardisierten Vergrößerung auf das 180fache.

2. Haarquerschnittspräparate: Die Herstellung der Haarquerschnitte erfolgt dabei mittels eines im Handel nicht erhältlichen, sogenannten Haarmikrotoms nach BACHMANN & REUER (1973), eine Modifikation des Mikrotoms von HARDY aus dem Jahre 1935.

Eine schematische Darstellung dieses ca. 15 cm langen Schneidegerätes zeigen die Abb. 1 und 2, nach der jede Feinmechanikwerkstätte ein solches Gerät

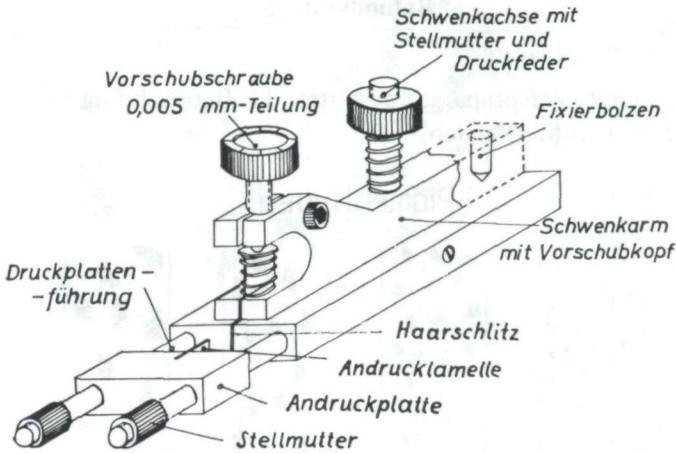


Abb. 1. Haarmikrotom nach BACHMANN & REUER.

herstellen kann. Ausführlich wird dieses Haarmikrotom und seine Handhabung wie schon erwähnt bei BACHMANN & REUER (1973) beschrieben.

Dieses modifizierte Haarmikrotom von BACHMANN & REUER garantiert bei richtiger Handhabung Schnitte von bis zu 400 Haaren und 5 μ Dicke. Die Schnittfläche steht dabei immer senkrecht zur Schaftachse der Haare. So entsteht ein ca. 5 mm langes und 0,3 mm breites Band von dicht aneinanderliegenden Querschnittsscheibchen der Haare.

Die Dokumentation der Haarquerschnitte erfolgt wie jene der Längseinbettung. Die Auswertung der Schnitte geschieht mit Hilfe eines Bildanalysegerätes. Wir verwenden den Morphomat 30 der Fa. Zeiss (Taf. 3).

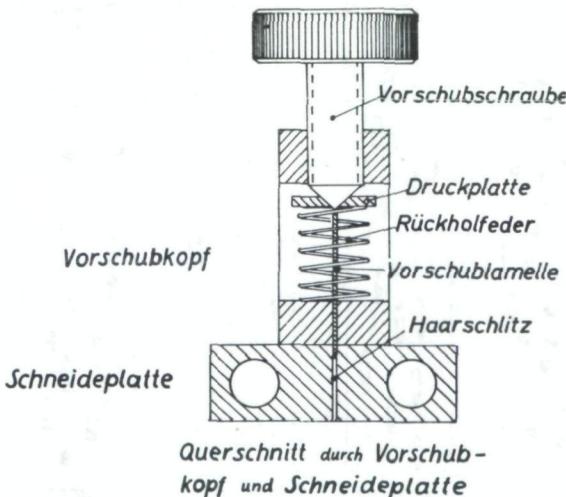


Abb. 2. Haarmikrotom nach BACHMANN & REUER.

Befundvorlage

I. Längsdurchsichtspräparate

Die Längsdurchsichtspräparate gestatten die Beobachtung von morphologischen und metrischen Merkmalen.

Pigmenttypen

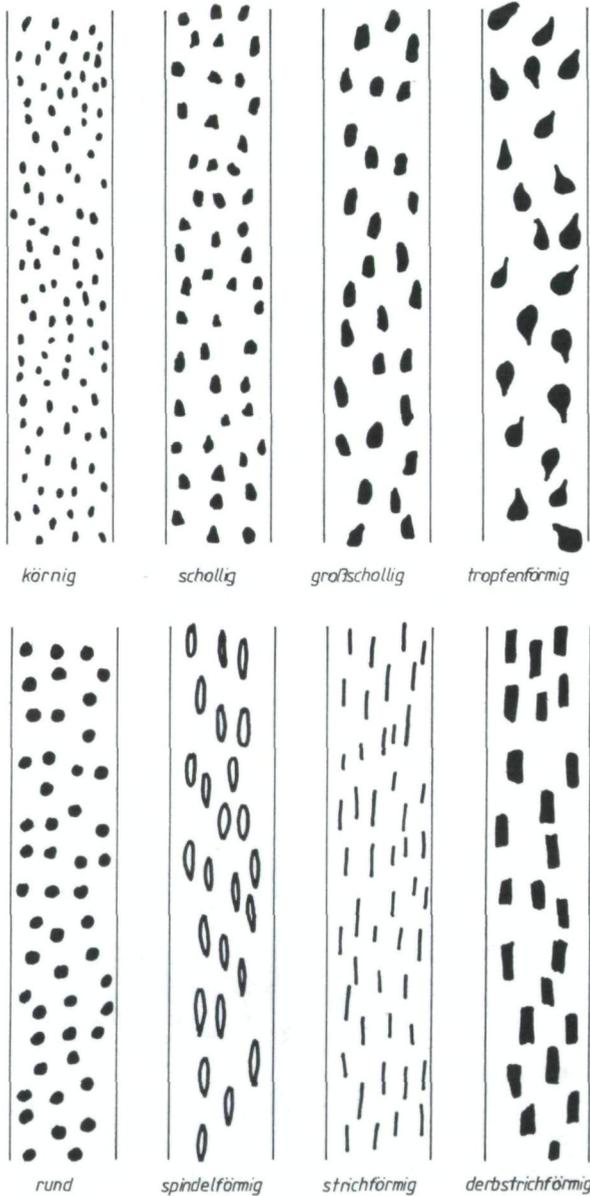


Abb. 3. Pigmenttypen des menschlichen Kopphaares.

1. Morphologische Merkmale

a) Pigmentform: Das Haarpigment (Melanin) wird in den Melanoblasten der Haarwurzel gebildet und von dort an die Matrix abgegeben. Die Anordnung bzw. die Dichte des Pigments ist fast ausschließlich an der Farbe des Haares beteiligt. Die Form des Pigments läßt sich nur in der Längseinbettung beobachten und beurteilen. Aus rund 30.000 Individualbefunden haben die Verfasser ein 8stufiges Schema entwickelt, in dem praktisch alle Varianten von Pigmentformen erfaßt wurden. In Abb. 3 sind die Pigmenttypen grafisch dargestellt, nämlich körnig, schollig, großschollig, tropfenförmig, rund, spindelförmig, strichförmig und derbstrichförmig.

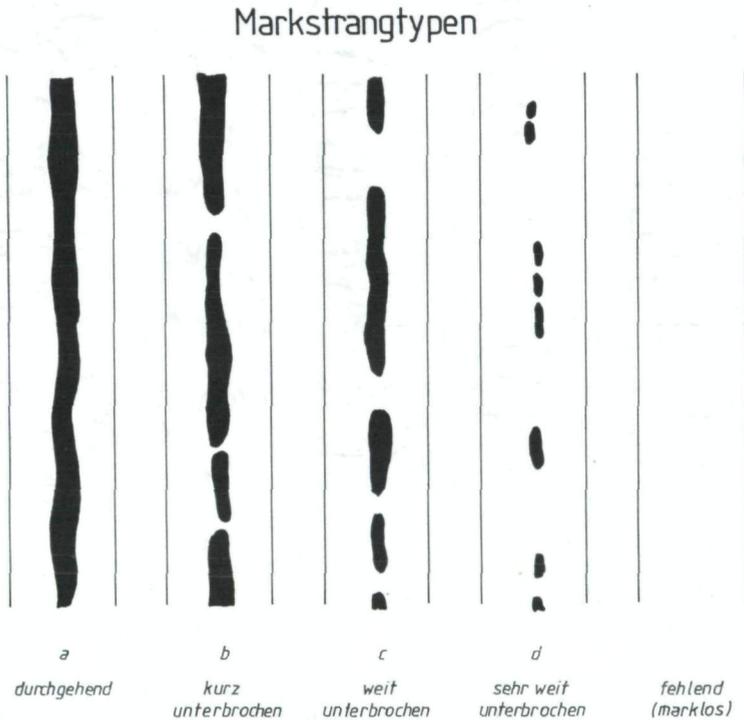


Abb. 4. Markstrangtypen des menschlichen Kopfhaares.

b) Marktstrangtypen: Beim Marktstrang handelt es sich um einen in der Achse des Haares verlaufenden zentralen Strang, der große Variabilität vom völligen Fehlen bis zu durchgehender Ausbildung zeigt. Der Marktstrang setzt sich aus einer Reihe von geldrollenartig angeordneten, scheibenförmigen Markzellen zusammen, die von den Epithelzellen über der Haarpapille gebildet werden. Nach BARGMANN 1964 verhornen die Markzellen nur unvollständig, sind schwach pigmentiert und enthalten außer einem Kernrest eine Granula aus Trichohyalin und Gasbläschen. Auch die Marktstrangtypen lassen sich nur in der Längseinbettung beurteilen. Abb. 4 zeigt das von WYNKOOP 1929 aufgestellte vierstufige Klassifikationsschema,

das von REUER ab dem Jahre 1970 wieder verwendet wurde. Wie aus Abb. 4 hervorgeht, kann das Mark durchgehend, kurz unterbrochen, weit unterbrochen, sehr weit unterbrochen sein bzw. fehlen.

c) Cuticula: Das Haaroberhäutchen, auch Cuticula oder Epidermicula genannt, bildet die äußerste Schicht des Haares. Die Cuticula setzt sich aus unpigmentierten Hornplättchen zusammen, deren freie Ränder gegen die Haarspitze hin orientiert sind und dachziegelartig übereinander gelagert scheinen. Auch hier

Typen der Cuticulastruktur

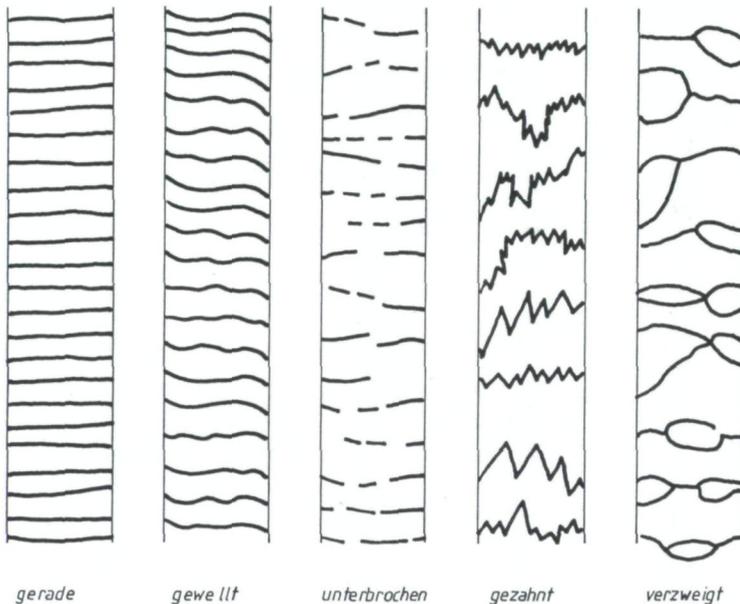


Abb. 5. Typen der Cuticulastruktur des menschlichen Kopffaars.

gestatten nur die Längsdurchsichtspräparate eine genaue Beobachtung. Ein einfaches Abdruckverfahren zur Haarcuticulararstellung schlagen JAROSCH & al. (1960) vor. Die Verfasser haben jedoch ein eigenes Verfahren entwickelt. Dabei werden auf einen Objektträger am linken Rand 1 bis 3 Tropfen Eukitt aufgebracht und mit einem zweiten Objektträger, ähnlich wie bei einem Blutausschlag, über den gesamten Objektträger verteilt. Sodann wird das Haar auf den Objektträger gelegt und mit einem weiteren sauberen Objektträger von links nach rechts aufgepreßt. Nach ca. 1 Minute ist das Eukitt trocken, und das Haar wird mit einem raschen Zug abgelöst. Dabei ist ein Negativabdruck der Cuticulastruktur entstanden. Die Beurteilung der Cuticulaform kann entweder sofort im Durchlichtmikroskop erfolgen, bzw. kann die Cuticula auch zusätzlich noch mit Methylenblau (1 bis 5 Min.) gefärbt werden. Die Cuticula zeigt, wie LOCHTE 1938 nachwies, eine charakteristische Zeichnung bei Mensch und Tier. Die Verfasser haben auf Grund ihres

Befundgutes aus 30.000 Einzelhaaren sämtliche Varianten studiert und in einem von ihnen entwickelten, 5stufigen Klassifikationsschema (Abb. 5) dargestellt. Wie aus dieser hervorgeht, kann die Form der Cuticula gerade, gewellt, unterbrochen, gezahnt und verzweigt sein.

2. Metrische Merkmale

In der Längseinbettung wird nur die Frequenz der Markstränge (Abb. 4) gezählt. Alle anderen metrischen Merkmale lassen sich exakter im Querschnitt mit Hilfe von Bildanalysegeräten bestimmen.

II. Haarquerschnittspräparate

Auch die Haarquerschnittspräparate gestatten wieder die Beobachtung morphologischer und metrischer Merkmale, allerdings in wesentlich größerer Zahl als die Längsdurchsichtspräparate.

1. Morphologische Merkmale

Als erstes wird bei den Haarquerschnittspräparaten ihre individuelle Form beobachtet. Das menschliche Haar im Querschnitt zeigt eine große Variabilität und ist daher für die Untersuchung besser geeignet als die Längseinbettung der Haare. Im Haarquerschnitt lassen sich nach unseren Untersuchungen 8 Formtypen unterscheiden, nämlich: rund, oval, langoval, ellipsoid, nierenförmig, dreieckig, blattförmig und unregelmäßig (Taf. 1).

Auf Taf. 2 ist die Pigmentverteilung im Haarquerschnitt dargestellt. Die Verfasser unterscheiden 3 Typen: dünn, mitteldick und dick.

2. Metrische Merkmale

Die metrischen Merkmale werden mit Hilfe des schon erwähnten, halbautomatischen Bildanalyseystems (Morphomat 30 der Fa. Zeiss) ausgewertet. Das Programm für die Auswertung der folgenden metrischen Daten wird nach den Gebrauchsanweisungen der Fa. Zeiss für den Morphomat 30 erstellt.

Wie aus Tab. 1 ersichtlich, können die Haare im Querschnitt durch 5 von den Verfassern aufgestellte metrische Merkmale charakterisiert werden, nämlich durch die Fläche in μ^2 , den größten Durchmesser (D-max) und den kleinsten Durchmesser (D-min). Weiters werden die mittlere Haardicke nach der Formel $(D\text{-max} + D\text{-min})/2$ in μ sowie der sogenannte Formfaktor bestimmt. Der Formfaktor ergibt sich aus der Formel $4\pi A/P^2$, wobei A die Fläche und P der Umfang des gemessenen Querschnittes ist. Der Formfaktor gibt damit die jeweilige Abweichung von der Kreisform an. Der Faktor 0,95–1,00 bedeutet rund, der Wert 0,85–0,94 oval, 0,75–0,84 langoval und der Faktor 0,65–0,74 extrem langoval.

Tabelle 1. Metrische Merkmale des menschlichen Kopfhaares im Querschnittspräparat.
Es wurden jeweils von 100 ♂ und 100 ♀ Haare im Querschnitt ausgewertet.

		♂	♀	♂ + ♀
Fläche in μ^2	\bar{x}	3336,16	3075,78	3227,67
	s	373,09	502,78	530,30
D-max in μ	\bar{x}	77,95	73,16	75,95
	s	6,69	9,99	8,14
D-min in μ	\bar{x}	53,44	52,11	52,89
	s	4,51	7,58	5,92
$\frac{D\text{-max} + D\text{-min}}{2}$ in μ	\bar{x}	64,79	62,63	63,90
	s	4,58	9,10	6,78
Formfaktor = $\frac{4\pi A}{p^2}$	\bar{x}	0,89	0,88	0,89
	s	0,04	0,05	0,04

A = Fläche des gemessenen Querschnitt

P = Umfang des gemessenen Querschnitt

Vererbung

Im Rahmen von Familienuntersuchungen wurden von den Verfassern genetische Studien an ca. 30.000 Einzelhaaren aus 100 Familien durchgeführt. Es stellte sich dabei heraus, daß die Haarmerkmale genetisch determiniert sind. Taf. 4 zeigt die Haarquerschnitte einer Familie, bei der die genetischen Marker auf dem mütterlichen Erbwege weitergegeben wurden. Die Taf. 5 dagegen zeigt eine Kindesvater-Kind-Identität.

Ein anschaulicher Beweis für die Erblichkeit der Haarmerkmale im Querschnitt demonstriert der folgende Familienbefund (Taf. 7, Tab. 2).

Tabelle 2. Haarquerschnittsform.

	n	rund	oval	elliptisch	sonstige
Km	136	27 (= 19,6%)	44 (= 32,4%)	54 (= 39,7%)	11 (= 8,3%)
Kd	128	31 (= 24,2%)	42 (= 32,8%)	40 (= 31,3%)	15 (= 11,7%)
Kv	115	43 (= 37,4%)	28 (= 24,3%)	21 (= 18,3%)	23 (= 20,0%)

Wie aus der Tab. 2 ersichtlich ist, besitzt das Kind sowohl mehr als 30% ovale als auch elliptische Haare und 24% runde. Aus diesem Familienbefund läßt sich sagen, daß die elliptische Haarquerschnittsform dem Kind von der Mutter vererbt wurde, während die hohe Anzahl der runden Haare vom Kindesvater stammen muß, da das Kind hier den mütterlichen Prozentsatz übertrifft. Die ovalen Haare müssen von der Kindesmutter an das Kind vererbt worden sein, denn beide zeigen in ca. 33% ovale Haarquerschnittsform.

Aus diesen Befunden geht hervor, daß das Kind in seinen Erbmerkmalen der Haarquerschnittsform eine Mittelstellung zwischen den erwachsenen Personen einnimmt.

REUER (1977) weist bei seinen Untersuchungen über monozygote und dizygote Zwillinge nach, daß Form und Aussehen sowie metrische Merkmale des menschlichen Haares hauptsächlich durch Erbanlagen bestimmt werden und der Umwelteinfluß unbeträchtlich ist. Zu praktisch den gleichen Ergebnissen kamen die Verfasser bei ihren eigenen Zwillingsuntersuchungen. Taf. 6 demonstriert die Erblichkeit der Haarmerkmale bei monozygoten Zwillingen an Haarquerschnitten.

Diskussion

In der anthropologischen und forensischen Literatur sind zahlreiche Arbeiten über die Vererbung des menschlichen Haares zu finden. Jedoch konnte kein sicherer Nachweis der Vererbung erbracht werden, weil die verschiedenen Autoren, wie REUER 1970 und 1976 nachwies, nur wenige Haare, nämlich nur 1 bis 20 Haare pro Individuum untersucht und ausgewertet haben. Nach dem heutigen Stand der Haarforschung ist es fast unglaublich, daß SALLER (1927) und KRANZ (1932) nur das dickste Haar als charakteristischen Individualwert betrachten. WYNKOOP (1929) empfiehlt die Messung von 3 Haaren, die aus einer Haarprobe ausgewählt werden, und NEUERT (1929) berechnet aus 4 Haaren die mittlere Haardicke, während ZIEGELMAYER (1958) 5 Einzelhaare mißt. TROTTER & DUGGINS messen 1948 50 Haare und 1956 (TROTTER & al.) wieder nur 25 Haare. In ihrem grundlegenden Werk über Technik der Haar- und Wolluntersuchung schlagen KRONACHER & LODEMANN (1930) vor, die Anzahl der zu messenden Haarquerschnitte nach der Unausgeglichenheit der Haarprobe zu richten: 10 bis 20 Haare im allgemeinen, bei stark unausgeglichenen Haardicken jedoch mindestens 50 Haar-messungen durchzuführen.

Um festzustellen, wieviele Haarmessungen für eine exakte Mittelwertbestimmung notwendig sind, wurden von REUER 1970 bei 5 Männern und 8 Frauen jeweils 1000 Kopfhaare, das sind 13.000 Einzelmessungen, in Längsdurchsichtspräparaten durchgeführt. Dabei ergab sich eine Variationsbreite bei Einzelindividuen von 25 μ bis 122 μ . Daraus ist ersichtlich, daß Messungen von 3 bis 40 Haaren zu keinem konstanten Mittelwert führen können. Von diesen 13 Personen, bei denen REUER jeweils 1000 Haare gemessen hat, begann er auch Messungen von je 10, 50 und 100 Haaren durchzuführen und verglich sodann die Mittelwerte mit den Mittelwerten, die er aus der Messung an 1000 Haaren gewonnen hatte. Es zeigte sich dabei, daß die 100er-Gruppe praktisch dieselben Mittelwerte erbrachte wie die 1000er-Gruppe. REUER weist allerdings darauf hin, daß bei stark variierender individueller Haardicke etwa 200 Haare und mehr gemessen werden sollten.

Erst jetzt war es möglich, zielführende Vererbungsstudien am menschlichen Haar vorzunehmen.

In einer folgenden Arbeit legte REUER 1977 Vererbungsstudien zur Kopfhaardicke an Zwillingen vor; dabei wurde nachgewiesen, daß bei den monozygoten Paaren der durch genotypische Unterschiede bedingte Anteil an der Gesamtvariation sehr groß, der umweltbedingte extrem klein ist. Über die von REUER durchge-

fürten Erbstudien hinaus wurden von den Verfassern in das Untersuchungsprogramm weiters die bereits erwähnten Merkmale Formfaktor und Haardicke aufgenommen und so konnten zusätzliche Beweise für die Erbllichkeit gefunden werden.

Als anschauliches Beispiel seien aus unserem Befundgut die Werte von 4jähr. monozygoten weiblichen Zwillingen vorgestellt:

	D-max	D-min	Haardicke	Haarindex	Formfaktor	Fläche
ZW. 1	67,32	45,37	56,34	68	0,89	2397
ZW. 2	68,63	43,73	56,18	64	0,89	2381

Im Rahmen der schon erwähnten Familienuntersuchungen wurden ca. 30.000 Einzelhaare aus 100 Familien untersucht. Es stellte sich ebenfalls heraus, daß die individuellen Haarmerkmale in Längs- und Querbetrachtung von den Erbanlagen bestimmt werden.

Die Ergebnisse unserer Zwillings- und Drillingsuntersuchungen, sowie die Familienuntersuchungen werden in einer eigenen Arbeit dargestellt.

Wie der überwiegende Teil der somatologischen Merkmale unterliegt auch die individuelle Haardicke beim Menschen einem Alterswandel. TROTTER & DUGGINS (1948) haben als erste Alterserhebungen über die Veränderung der Haardicke beim Menschen durchgeführt. Sie haben von 7 männlichen und 9 weiblichen weißen Amerikanern 2× jährlich durch eine Reihe von Jahren Haarproben gesammelt und von je 50 Haaren einer Haarprobe den größten und den kleinsten Durchmesser bestimmt. Die Altersreihe erstreckte sich vom 1. Lebensmonat bis zum 17. Lebensjahr. Die nächste größere Altersuntersuchung über die Haardicke hat JUNGKLAASS (1958) durchgeführt. Er hat jedoch nur an Altersquerschnitten die Dickenänderung der Haare studiert. Die 374 weiblichen und 370 männlichen Probanden verteilen sich auf 12 Altersklassen mit verschiedenen großen Intervallen. Allerdings hat JUNGKLAASS nur 10 Einzelhaare gemessen, und deshalb sind seine Ergebnisse nur bedingt verwendbar. Bei 50 männlichen und 53 weiblichen Probanden haben SEIBERT & STEGGERDA (1944) über einen Zeitraum von 69 Lebensjahren Querschnittsuntersuchungen bei 50 männlichen und 53 weiblichen Probanden durchgeführt. Sie haben wesentlich mehr Einzelhaare pro Untersuchungsperson gemessen als JUNGKLAASS 1958. Die bisher umfangreichste Altersquerschnittsuntersuchung über die Haardicke stammt von REUER (1970). Ihm standen 456 Probanden und zwar 235 Männer und 221 Frauen zur Verfügung, die sich auf 12 Altersklassen vom 2. bis zum 50. Lebensjahr verteilten. Pro Untersuchungsperson wurden rund 200 Einzelhaarmessungen in Längsdurchsichtspräparaten vorgenommen. Tab. 2 zeigt die Altersänderung der Haardicke nach den Untersuchungen von REUER (1970). Die geringen Besetzungszahlen zwangen REUER, die Lebensalter zusammenzufassen und zwar bis zum 20. Jahr in 9 Altersklassen zu je 2 Jahren und von da an bis zum 50. Lebensjahr in 3 Klassen zu je 10 Jahren. Auf eine Trennung nach beiden Geschlechtern wurde verzichtet. Diverse Untersuchungen von REUER haben ergeben, daß Geschlechtsunterschiede in der Haardicke beim

Menschen nicht auftreten. Wie aus der Tab. 3 ersichtlich, hat die Haardicke schon im 15. bis 16. Lebensjahr ihren Höhepunkt erreicht und beginnt vom 18. bis 19. Lebensjahr an wieder abzusinken.

Tabelle 3. Altersänderung der Haardicke nach REUER.

Alter	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13
Haardicke	61,5	62,9	65,6	67,9	64,3	68,8
Alter	14-15	16-17	18-19	20-29	30-39	40-49
Haardicke	71,6	71,7	69,3	67,5	66,7	63,9

Diese Erkenntnis ist von besonderer Bedeutung für genetische Untersuchungen, da z. B. die Haardicke 30-40jähriger Eltern nicht als gleich oder gar höher zu erwarten ist als die ihrer 16jährigen Kinder.

Obwohl in morphologischer und metrischer Hinsicht der Haarquerschnitt mehr Information bietet, darf die Längsbetrachtung keineswegs vernachlässigt werden. Pigmentform (Abb. 3), Markstrangtypus (Abb. 4) und Markstrangfrequenz sowie die Cuticula (Abb. 5) können nur bei Längsbetrachtung vollständig beobachtet werden. Der Markstrangtypus (Abb. 4) und selbstverständlich damit auch die Frequenz sind am Objektträger über die Gesamtlänge der zu untersuchenden Haare feststellbar. Nach diversen Zwillingsuntersuchungen von DAS-CHAUDHURI (1976, 1977, 1978) und DAS-CHAUDHURI & CHOPRA (1983) kann als erwiesen gelten, daß auch das Haarmerk eine genetische Basis besitzt. Auch Vererbungsstudien von JUNGKLAASS (1958) kommen diesbezüglich zum selben Ergebnis. Schließlich zeigt das Merk, wie STEGGERDA & SEIBERT (1941) nachwiesen, rassische Unterschiede. Für die österreichische Bevölkerung gibt REUER (1970) eine Prozentverteilung der Marktypen (Abb. 4) einschließlich der marklosen Haare von 81 Männern und 76 Frauen der Wiener Bevölkerung an. Von dieser Stichprobe ($n = 157$) sind von 24.611 Haaren der überwiegende Teil (ca. 80%) völlig marklos, weitere 10% der Haare besitzen nur Spuren von Mark und nur 10% sind als wirklich markhaltig zu bezeichnen. Ein durchgehender Markstrang konnte nur bei 3% aller Haare gefunden werden. Bei unseren Untersuchungen variiert der individuelle Prozentsatz der markhaltigen Haare zwischen 0 und 90%.

Nach unseren Befunden ist die Dicke des Markstranges mit der Fläche bzw. dem Durchmesser des Haarschaftes stark korreliert. Solche Hinweise finden sich auch schon in der Literatur (NOBACK 1951, HRDY 1973).

Der Anteil markhaltiger Haare ist nach Untersuchungen von uns bei Schamhaaren und Achselhaaren wesentlich höher als beim Kopfhaar. Es sei darauf hingewiesen, daß Achselhaare und Schamhaare wesentlich größere metrische Dimensionen besitzen als das Kopfhaar. Diesbezügliche Arbeiten mit der Vorlage der Parameter sind in Vorbereitung.

Im Querschnitt kann der Markstrangtypus nur an den zufällig getroffenen ca. 5μ dicken Haarquerschnittsscheibchen gesehen werden und würde deshalb falsche Ergebnisse liefern. Auch das Pigment kann im Querschnitt nicht erfaßt werden,

weil der unregelmäßige Pigmentkörper durch die Schnitttechnik eine artifizielle Veränderung der Form erfährt. In der Längsbetrachtung dagegen läßt sich Form und Verteilung des Pigments durch Betrachtung in verschiedenen Ebenen gut überblicken. Die Cuticulastruktur ist nur in der Längsbetrachtung zu erkennen, am Querschnitt läßt sich lediglich das Vorhandensein oder eine Schädigung der Cuticula nachweisen (STYBALKOWSKI 1972).

Auch die Haarfarbe sowie deren künstliche Änderung (künstliche Entfärbung oder Färbung) sollte vor allem in der Längseinbettung im Durchlichtmikroskop beurteilt werden.

Für die Humanbiologie ist, wie eingangs schon gesagt, die Haarquerschnittsbetrachtung von größter Aussagekraft, weil wesentlich mehr morphologische und metrische Merkmale ausgewertet werden können. Auf Taf. 1 werden die Formvarianten gezeigt. Nach den vorliegenden Untersuchungen der österreichischen Bevölkerung kommen bestimmte Typen (rund, oval, längsoval, ellipsoid) besonders gehäuft vor. Nierenförmige, dreieckige, blattförmige und unregelmäßige Formen kommen seltener vor. Das Vorhandensein dieser seltenen Formen kann von eminenter forensischer Bedeutung sein.

Eine bedeutende Rolle bei der Haarquerschnittsbetrachtung spielt auch die individuelle Pigmentverteilung (Taf. 2); sie kann dünn, mitteldick bzw. dick sein. Diese soeben diskutierten morphologischen Merkmale können ohne großen technischen Aufwand im Durchlichtmikroskop ermittelt werden.

Die in Tab. 1 aufgelisteten metrischen Merkmale sind technisch aufwendiger und schwieriger zugänglich und können nur mit Hilfe von Bildanalysegeräten mit angeschlossenen Recheneinheiten, z. B. Morphomat 30, ausgewertet werden (Taf. 3).

Sowohl bei morphologischer als auch metrischer Beurteilung ist die Anzahl der untersuchten Haare zu berücksichtigen, d. h., je mehr Haare für die Untersuchung zur Verfügung stehen, desto sicherer ist eine Aussage für Erbstudien.

Seit Haarquerschnittsuntersuchungen durchgeführt wurden – schon im Haaratlas von WALDEYER 1884 – wurde auf Rassenunterschiede hingewiesen. Auch die jüngsten Untersuchungen, beispielsweise REUER 1958, 1970 und GREFEN-PETERS 1980, bestätigen diese charakteristischen Unterschiede sowohl in der Form als auch in den metrischen Merkmalen der Querschnittsform. Im Mittel zeigt das straffe mongolide Haar die geringste Abweichung von der Kreisform, also das Erscheinungsbild ist rund, das negride, gekräuselte Haar weist die stärkste Abweichung von der Kreisform in Richtung längsoval auf. Der Haarquerschnitt der Europiden zeigt die größte Variabilität von rund über dreieckig nach oval.

Rassenunterschiede in den Haarquerschnittsflächen sind in der Literatur noch spärlich vorhanden. Für die Europiden (beide Geschlechter zusammen) geben SEIDLER & REUER 1976 bei 304 Individuen eine mittlere Haarquerschnittsfläche von $3460,35 \mu^2$ an. Die Verfasser finden in ihren eigenen Untersuchungen bei insgesamt 100 Männern und Frauen einen ähnlichen Wert für die mittlere Haarquerschnittsfläche von $3227,67 \mu^2$.

Bei den Negriden findet REUER 1970 eine mittlere Fläche von $4148 \mu^2$ und bei den Mongoliden beträgt die Fläche im Querschnitt $5978 \mu^2$. Allerdings ist der Stichprobenumfang der Negriden und Mongoliden sehr gering.

In den meisten Arbeiten wird der sogenannte Haarindex (kleinster Haardurchmesser $\times 100$ / größten Haardurchmesser) für die Beurteilung der Form verwendet (REUER 1970, 1976; GREFEN-PETERS 1980). Es liegt in der Natur dieser Meßtechnik, daß unregelmäßige Formen nicht exakt erfaßt werden können und unter andere Formen (regelmäßigere Formen) subsummiert werden, z. B. ein nierenförmiger Haarquerschnitt würde den Index der längsovalen Form vortäuschen.

Der Formfaktor, der mit Hilfe des Bildanalysegerätes (Morphomat 30) ermittelt wird, hat den Vorteil, die Abweichung von der Kreisform des jeweiligen Haares, also die tatsächliche Form, exakt zu erfassen. Außerdem sei darauf hingewiesen, daß der Haarindex, bestimmt durch das Bildanalysegerät, genauere Werte liefert, weil der Index aus 32 Orientierungen der Figur ermittelt wird. Bevor man dieses elektronische Hilfsmittel hatte, wurden nur 2 Messungen pro Haar durchgeführt.

Für Variationsstudien, Familien- und Zwillingsuntersuchungen wurden bei unseren Untersuchungen Haare von Individuen herangezogen, die keine schweren generalisierten Erkrankungen, z. B. Systemerkrankungen bzw. Stoffwechselerkrankungen und exogene Schädigungen aufwiesen. Von diesen Erkrankungen weiß man, daß auch das Haarkleid in seinem morphologischen Erscheinungsbild verändert sein kann (ORFANOS 1979). Beispielsweise treten bei Mukopolysaccharidosen gehäuft die unregelmäßigen Formvarianten auf, wie sie in Abb. 6 dargestellt sind (TESCHLER-NICOLA & KILLIAN 1982). Das Wissen um solche Zusammenhänge kann daher für diverse Fragestellungen in der Haarforschung von großer Bedeutung sein.

In der Literatur wird immer darauf hingewiesen, daß man bei Fragen der Identifizierung zuerst die Unterscheidung Menschenhaare – Tierhaare vorzunehmen hat. Auch dabei wurde vorwiegend die Längsbetrachtung (LOCHTE 1938) vorgezogen, aber auch das Haar im Querschnitt kann zur Differentialdiagnose beitragen, wie z. B. REUER 1970 und GREFEN-PETERS 1980 nachwiesen. Ausführliche Variationsstudien der Tierhaare im Querschnitt fehlen derzeit noch.

Wie aus all den diskutierten Argumenten hervorgeht, ist die Aussagekraft bestimmter Haarmerkmale um so erfolgreicher, je größer die Anzahl der untersuchten Haare und Haarmerkmale ist. Diese große Anzahl dieser Merkmale ergibt sich aus den zwei vorgestellten Methoden der Untersuchung des Kopfhaares, nämlich in der Auswertung der Längseinbettung und der Querschnittspräparate.

Literatur

- BACHMANN, A. & REUER, E. (1973): Ein verbessertes Haarmikrotom. – Anz. math. naturw. Kl. öst. Akad. Wiss., 1973/9: 103–111.
- BARGMANN, W. (1964): Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen. – 5. Aufl. – Stuttgart (Thieme).

- BERG, S. (1977): Der Identifizierungswert des menschlichen Haares. – Arch. Kriminologie, **159**: 66–72.
- DAS-CHAUDHURI, A. B. (1976): Genetic Basis of Hair Medulla by Twin Study. – Am. J. Phys. Anthrop., **44**: 51–54.
- (1977): An enquiry into the genetic basis of human scalp hair cross section (area) by twin study. – Z. Morph. Anthrop., **68**: 226–232.
- (1978): Human Scalp Hair Genetics by Twin-Study. – Twin Research Clinical Studies: 261–267.
- & CHOPRA, V. (1983): Genetic Basis of Hair Histomorphological Variables. – Am. J. Phys. Anthrop., **60**: 1–6.
- EBLE, B. (1831): Die Lehre von den Haaren in der gesamten organischen Natur. – Bd. I und II. – Wien (J. G. Heubner).
- GREFEN-PETERS, S. (1980): Beiträge zum Haarkleid der Hominoidea. – Diss. Techn. Univ. Braunschweig Carolo Wilhelmina, 146 S.
- HARDY, J. I. (1935): A practical laboratory method of making thin cross sections of fibers. – U. S. Dept. Agric. Circ., **378**. – Washington DC.
- HIRSCH, F. (1956): Das Haar des Menschen. – 301 S. – Ulm/D. (Karl F. Haug Vlg.).
- HRDY, D. (1973): Quantitative Hair Form Variation In Seven Populations. – Am. J. Phys. Anthrop., **39**: 7–18.
- JAROSCH, K., GRIMS, H. & MAREK, A. (1960): Ein einfaches Abdruckverfahren zur Haarcuticula-Darstellung. – Beitr. Gerichtl. Med., **21**: 83–86.
- JUNGKLAASS, F. K. (1958): Mikroskopische Untersuchungen zur Variabilität und Vererbung des Haupthaares. – Homo, **9**: 75–85.
- KRANZ, H. (1932): Zehnjährige Vierlinge. – Z. Ethnol., **64**: 133–135.
- KRONACHER, C. & LODEMANN, G. (1930): Technik der Haar- und Wolluntersuchungen. – Berlin, Wien.
- LOCHTE, T. (1938): Atlas der tierischen und menschlichen Haare. – Leipzig (P. Schöps).
- NEUERT, W. (1929): Untersuchungen über die Korrelation der Krümmung und Querschnittsform menschlicher Kopfhaare. – Anthrop. Anz., **6**: 144–154.
- NOBACK, C. R. (1951): Morphology and Phylogeny of hair. – Ann. New York Acad. Sciences, **53**: 476–492.
- OESTERLEIN, O. (1874): Das menschliche Haar und seine gerichtsärztliche Bedeutung. – Tübingen (Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung).
- (1881): Die Untersuchung von Haaren. – In: MASCHKA, J.: Handbuch der gerichtlichen Medizin **1**: 511–538.
- ORFANOS, C. E. (1979): Haar und Haarkrankheiten. – 1073 S. – Stuttgart, New York (Gustav Fischer).
- PFAFF, E. R. (1869): Das menschliche Haar. – 2. Aufl. – Leipzig (O. Wiegand).
- PRUNER-BEY (1863/64): De la chevelure comme caracteristique des races humaines d'apres des recherches microscopiques. – Bull. Soc. Anthrop. Paris, **4**: 161–163; **5**: 526–533, 778–780.
- (1868): Deuxieme serie d'observations microscopiques sur la chevelure. – Mem. Soc. Anthrop. Paris, (1) **3**: 77–92.
- REISSNER, E. (1954): Beiträge zur Kenntnis der Haare des Menschen und der Säugethiere. – Breslau (Trewendt & Granier).
- REUER, E. (1958): Mikroskopische Untersuchungen an Negrito-Kopfhaaren. – 6. Tagung Dt. Ges. Anthrop. Kiel., 82–84.
- (1970): Beiträge zur Pigmentierung und Struktur des Haarkleides der Hominoidea. – Habilitationsschrift Wien, 215 S.
- (1976): Pilometrische Methoden – Beiträge und Kritik. – Anthrop. Anz., **35**: 154–172.
- (1977): Zur Vererbung der Kopfhairdicke: Untersuchungen an Zwillingen. – Mitt. Anthrop. Ges. Wien, **107**: 150–160.

- SALLER, K. (1927): Mikroskopische Beobachtungen an den Haaren der Kisarenbastarde. – In: RODENWALDT, E. (1927): Die Mestizen auf Kisar. – S 254–287. – Batavia (Kollf).
- SEIBERT, H. C. & STEGGERDA, M. (1944): Age and hair-form. Change in size and shape of Maya head-hair with age. – J. Hered, **35**: 345–347.
- SEIDLER, H. & REUER, E. (1976): Zur statistischen Berechnung der Haarquerschnitts-Flächen. – Anthropol. Anz., **35**: 254–258.
- STEGGERDA, M. & SEIBERT, H. C. (1941): Size and shape of head hair from six racial groups. – J. Hered., **32**: 315–318.
- STYBALKOWSKI, M. (1972): Mikroskopische Untersuchungen an Querschnitten von Kopfharen der Sevettijärvi-Skolt-Lappen. – Anthropol. Anz., **33**: 219–232.
- TESCHLER-NICOLA, M. & KILLIAN, W. (1982): Observations on Hair Shaft Morphology in Mucopolysaccharidoses. – J. ment. Defic. Res., **26**: 193–202.
- TROTTER, M. & DUGGINS, O. H. (1948): Age changes in head hair from birth to maturity. I. Index and size of hair of children. – Am. J. Phys. Anthrop., **6**: 489–506.
- DUGGINS, O. H. & SETZLER, F. M. (1956): Hair of Australian aborigines (Arnhem Land). – Am. J. Phys. Anthrop., **14**: 649–699.
- WALDEYER, W. (1984): Atlas der menschlichen und tierischen Haare. – 196 S. – Lahr (Schauenburg).
- WEBER, E. H. (1827): Beobachtungen über die Oberhaut, die Hautbälge und ihre Vergrößerung in Krebsgeschwülsten und über die Haare des Menschen. – Arch. Anat. Phys., 198–225.
- WYNKOOP, E. M. (1929): A study of the age correlations of the cuticular scales, medullas and shaft diameters of human head hair. – Am. J. Phys. Anthrop., **13**: 177–188.
- ZIEGELMAYER, G. (1958): Über die Konstitution der Rothaargen. – Acta anthrop. München.

Tafelerklärungen

Tafel 1

Individuelle Haarquerschnittsformen des menschlichen Kopfhares.

Tafel 2

oben: Morphomat 30, Bildanalysegerät.

unten: Typen der Pigmentverteilung im Haarquerschnitt.

Tafel 3

Haarquerschnitte einer Familie; oben: Kindesmutter, Mitte: Kind, unten: Kindesvater. Kindesmutter-Kind-Ähnlichkeit.

Tafel 4

Haarquerschnitte einer Familie; oben: Kindesmutter, Mitte: Kind, unten: Kindesvater. Kind-Kindesvater-Ähnlichkeit.

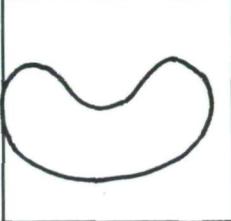
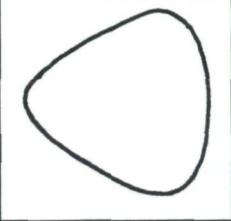
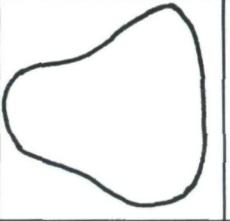
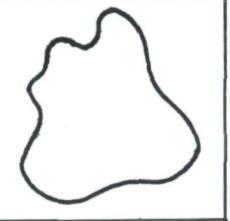
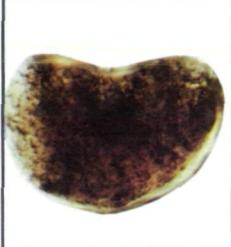
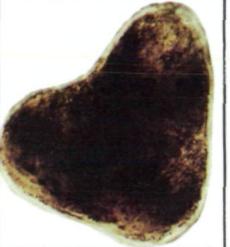
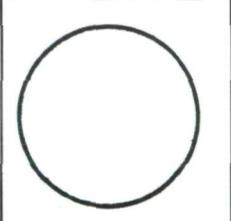
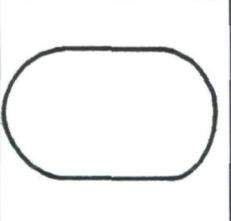
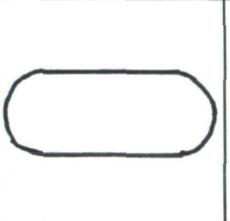
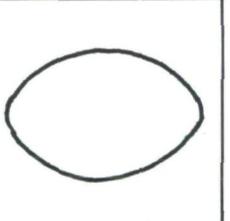
Tafel 5

Haarquerschnitte monozygoter Zwillinge.

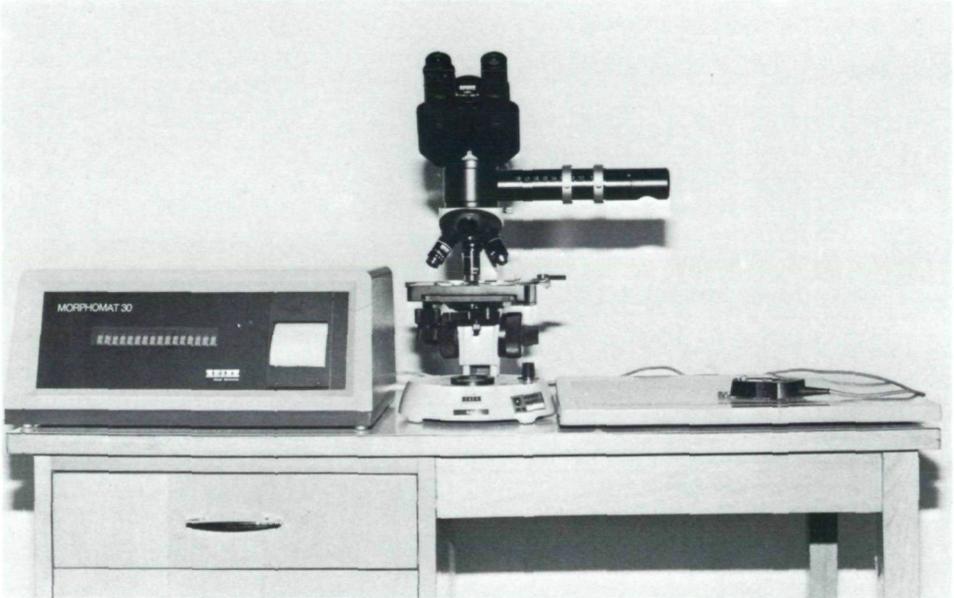
Tafel 6

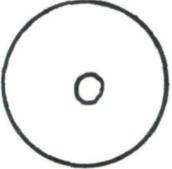
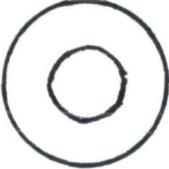
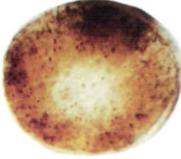
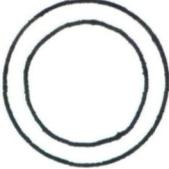
Haarquerschnitte einer Familie, oben: Kindesmutter, Mitte: Kind, unten: Kindesvater.

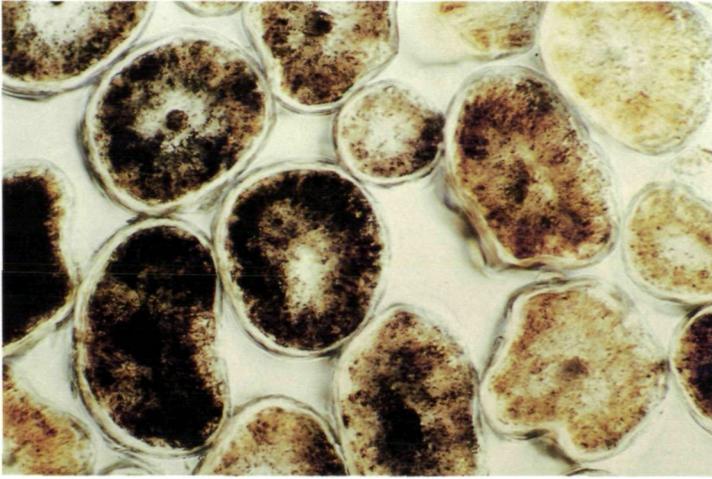
Methodische Beiträge zur Struktur- und Pigmentbeurteilung der menschlichen Kopfhaare in der Längseinbettung und im Querschnitt

			
			
nierenförmig	dreieckig	blattförmig	unregelmäßig
			
			
rund	oval	langoval	ellipsoid

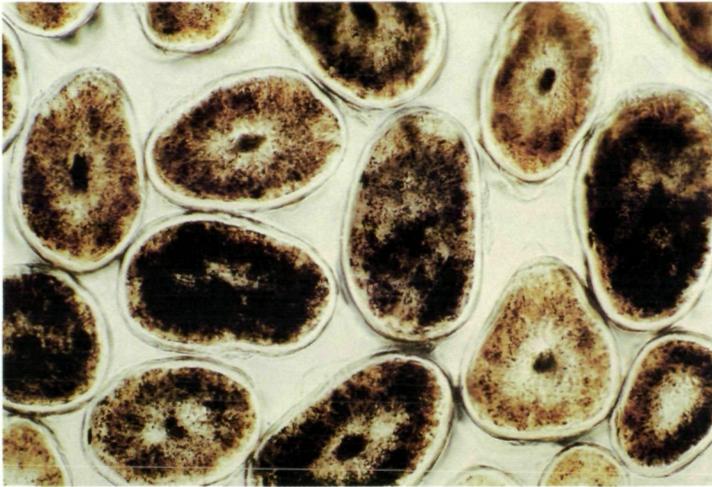
Methodische Beiträge zur Struktur- und Pigmentbeurteilung der menschlichen Kopfhaare in der Längseinbettung und im Querschnitt



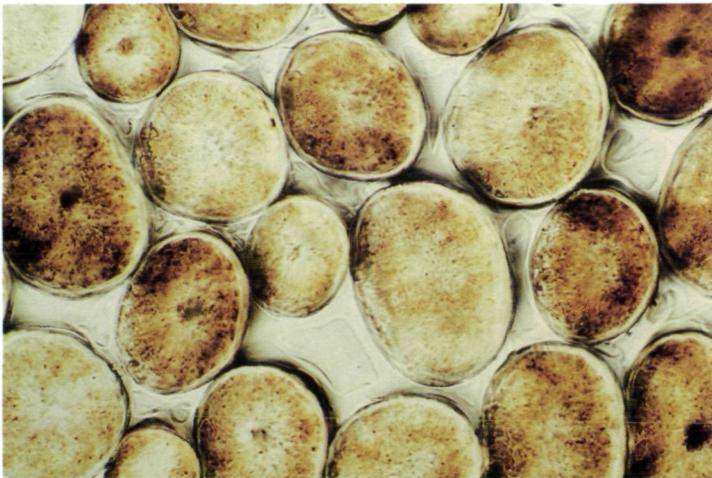
		dünn
		mitteldick
		dick



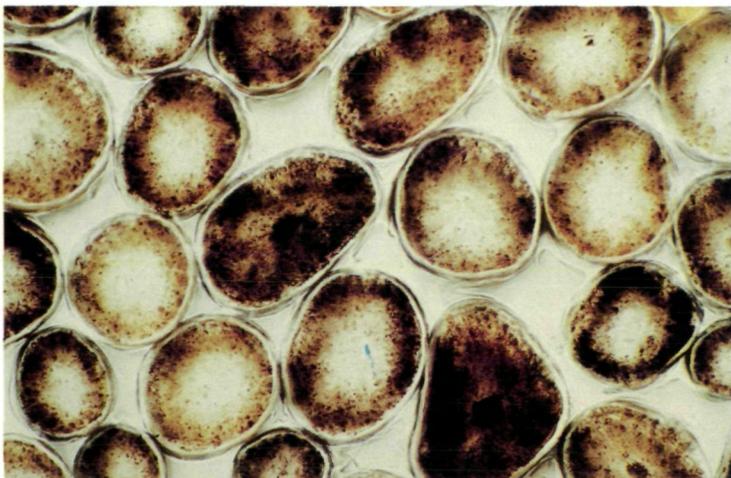
Km



Kd



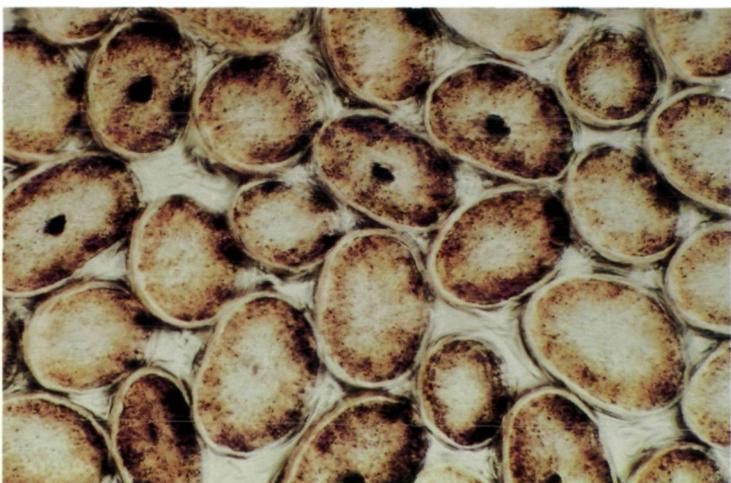
Kv



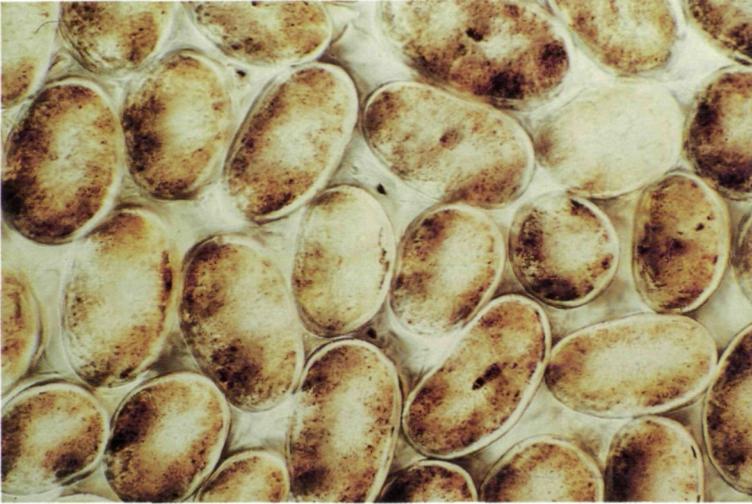
Km



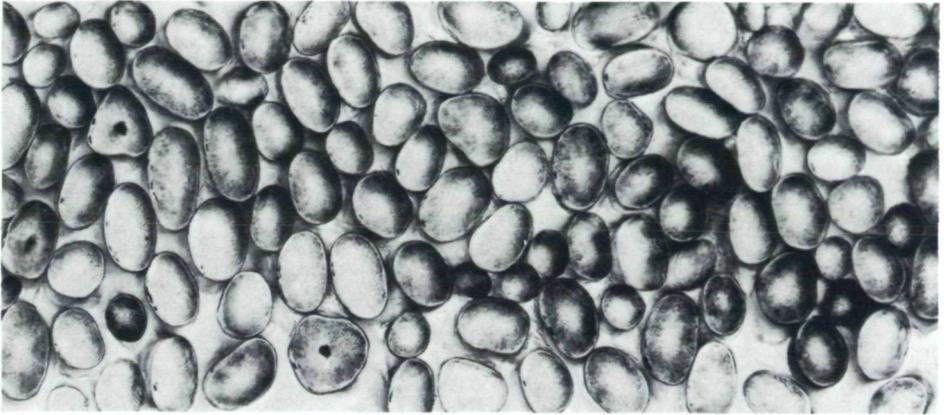
Kd



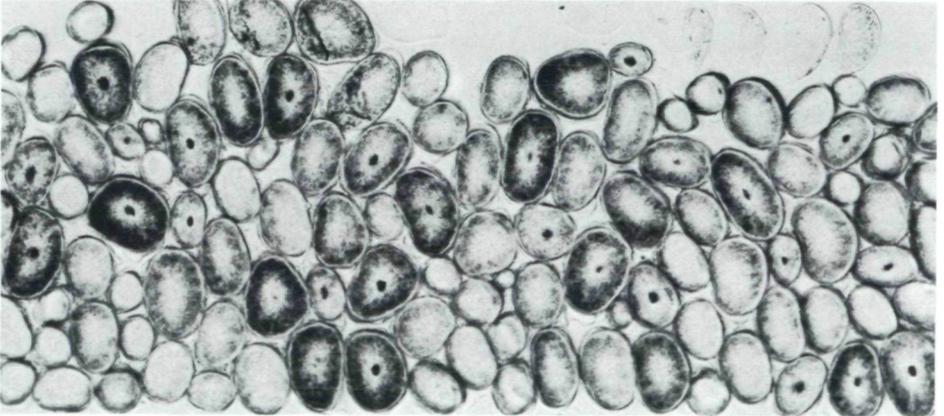
Kv



Methodische Beiträge zur Struktur- und Pigmentbeurteilung der menschlichen
Kopfhare in der Längseinbettung und im Querschnitt



Km



Kd



Kv