

(Aus dem Institut für Gerichtliche Medizin zu Berlin. — Stellvertr. Direktor:
Prof. P. Fraenckel.)

Zur Frage einer Geschlechtsreaktion an den Haaren.

Von
Dr. Max Kresiment,
Assistent am Institut.

Von *Kosjakoff* ist in dieser Zeitschrift¹ eine Arbeit veröffentlicht worden, die für die Frage der Identifizierung in der gerichtlichen Medizin von großem Werte wäre, wenn ihre Schlußfolgerungen allgemein zuträfen. Auch zur Entscheidung anderer biologischer Fragestellungen, wie Beurteilung einer vorhandenen oder fehlenden Schwangerschaft und deren Dauer, Störungen der Genitalsphäre u. a., ist von *Kosjakoff* und nach mir zugegangenen Mitteilungen auch von anderen russischen Forschern die in dieser Arbeit angegebene Reaktion mit positivem Ergebnis herangezogen worden. Obwohl gegen die Reaktion als eine biologisch-chemische Reduktionsprobe wegen möglicher Unsicherheit des Reaktionsablaufs gewisse grundsätzliche Bedenken bestehen, ließ doch die große Zahl von Versuchen, die *Kosjakoff* seinen Folgerungen zu grunde legen konnte, eine Nachprüfung geboten erscheinen. Es wurden deshalb an Haaren von Lebenden und Leichen die Bedingungen und Leistungen der Reaktion nachgeprüft, wobei zunächst die von *Kosjakoff* angegebene Methode streng innegehalten wurde, sodann bestimmte sich aus den Versuchen als zweckmäßig ergebende Änderungen vorgenommen wurden. Da auf Grund dieser Versuche die allgemeine Gültigkeit der Schlußfolgerungen *Kosjakoffs* nicht bestätigt werden konnte, erscheint eine Mitteilung über das Ergebnis der Nachprüfung geboten.

Die Technik der Reaktion besteht darin, daß eine stets gleiche Menge gereinigter Haare (z. B. 0,1 g) mit einer bestimmten Menge (1 ccm) 10 proz. Kalilauge erhitzt wird. Nach Verdünnung mit destilliertem Wasser (16 ccm) und sorgfältigem Durchmischen werden aus der zu prüfenden Haarlösung und aus Vergleichslösungen von bekanntem Männer- und Frauenhaar gleiche Mengen (je 2 ccm) in Röhrchen abpipettiert und mit 1 Tropfen 1- oder 1½ proz. alkoholischer Methylenblaulösung blau gefärbt. Nach Zutropfen 4 proz. Salzsäure (9—12 Tropfen) entfärben sich die Lösungen männlicher Haare, während in Frauenhaarlösungen die blaue Farbe bestehen bleibt. Sind nach minutenlangem Stehen schließlich beide Haarlösungen entfärbt, so ist der Farbenunterschied durch Schütteln an der Luft sofort wiederherzustellen.

Kosjakoff erklärt dieses unterschiedliche Verhalten der Haare beider Geschlechter mit ihrem verschiedenen Schwefelgehalt, den er durch jodometrische Schwefelwasserstoffbestimmungen in den zur Untersuchung gelangenden Haarlösungen feststellen konnte. Das durch Kochen mit Lauge aus dem schwefelreichen Keratin gebildete Schwefelalkali wird durch die zugesetzte Säure zu Schwefelwasserstoff reduziert, der Methylenblau in die farblose Leukobase überführt. Dieser Vorgang tritt wegen reichlicherer Schwefelwasserstoffbildung im Männerhaar schneller ein, unterstützt durch eine stärkere Abnahme der Alkaliescenz, als sie in Frauenhaarlösungen stattfindet.

Ausnahmen traten außer bei Schwangeren nur bei Personen auf, die Störungen der inneren Sekretion, insbesondere der Keimdrüsen, erkennen ließen. Die Farbe der Haare beeinflußte das Ergebnis nicht. An den Haaren und Federn der Wirbeltiere konnte stets das umgekehrte Verhalten mit geringeren Farbunterschieden erhoben werden.

Über die Voraussetzung der Reaktion, den verschiedenen Schwefelgehalt im Haar beider Geschlechter, liegt in der physiologisch-chemischen Literatur nur eine bedingte Bestätigung durch *Rutherford-Hawk*² vor, wonach der Schwefelgehalt des Männerhaars, wenigstens bei der kaukasischen Rasse, höher als im Frauenhaar ist. Aus der Tabelle von *Bibra*³ läßt sich für Männer (über 14 Jahre alte Personen) gleichfalls ein höherer Mittelwert von (4,81 %)* entnehmen, gegenüber einem Wert von (4,23 %) bei 15 und mehr Jahre alten Frauen. Jedoch finden bei den 28 Bestimmungen mehrfach Überschneidungen der Einzelzahlen statt, ferner findet sich bei einem rothaarigen Mann ein ungewöhnlich hoher Schwefelwert (8,23 %). Den gleichen Befund für rote Haare erhob, unabhängig von Rasse und Geschlecht, *Rutherford-Hawk*. Rote Haare, die *v. Bibra* analysierte, enthielten 4,17—5,77 % Schwefel, *Horbaczewski*⁴ bestimmte in solchen 4,4 %. *Vauquelin*⁵ fand rote, blonde und weiße Haare schwefelreicher als schwarze. *Buchtala*⁴ ermittelte in weißen Haaren 5,7 % Schwefel, *van Laer*⁶ in roten 5,02 %, in braunen (5,21 %), in schwarzen (5,05 %) und in grauen Haaren (4,79 %) Schwefel. Der mittlere Schwefelgehalt von Menschenhaar beträgt (5 %) (*van Laer*), (4,95 %) nach *Rutherford-Hawk*, (4,5 %) nach *v. Bibra*, nach *Kühne* und *Chittenden*⁸ (4,02 %). Nach *Gorup-Besanez*⁷ schwankt der Schwefelgehalt menschlicher Haare zwischen 3,7 und 7,9 %, bei tierischen zwischen 2,1 und 4,9 %. Der geringere Gehalt des Tierhaares an Schwefel, den auch *v. Bibra* erwähnt, erklärt wohl die von *Kosjakoff* betonte undeutlichere Reaktion. *Mohr*⁸ bestimmte den (Gesamt-)Schwefel nach dem Verfahren von *Carius*; in dunkelblondem Frauenhaar waren 4,95 % nachweisbar, bei einem dunkelbraunen 9jährigen Mädchen 5,34 %; bei 2 rothaarigen Knaben 4,98 und 5,32 %. Er führt den Unterschied in den Prozentzahlen der Untersucher auf die Reinigungsmethoden zurück, die es nur

* Aus wenigen Untersuchungen errechnete Durchschnittsziffern sind in Klammern gesetzt (s. *Prinzing*, Die Methoden der medizinischen Statistik 1924, 540).

schwer ermöglichen, reine Hornsubstanzen zu isolieren. *Halliburton*⁹ erklärt die Differenzen in den Schwefelbestimmungen mit den voneinander abweichenden Methoden; die genaue Bestimmung des Schwefels aus organischen Verbindungen bietet große Schwierigkeiten.

Gerichtsmedizinisch besonders wichtig ist die Mitteilung *v. Bibras*, daß jahrhundertealte Haare aus Gräbern in Peru und Bolivien, die übrigens tiefschwarzbraun waren, keinen Schwefel verloren hatten; er ermittelte in ihnen (3,76) und (4,43 %) Schwefel.

Für Nägel gibt *Mulder*¹⁰ einen Gehalt von 2,8% Schwefel an. Aus den Untersuchungsergebnissen *Langeckers*¹⁰ läßt sich für Männerägel ein Mittelwert von (2,86 %) und für Frauennägel von (2,82 %) errechnen. In Säuglingsnägeln wurde 2,78% Schwefel bestimmt. Da auffallende Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Nagelsubstanz nicht nachweisbar waren, wird ihre Konsistenzverschiedenheit in den einzelnen Altersstufen auf Änderungen des kolloidalen Zustandes der Keratinsubstanzen bezogen.

Der Schwefel ist im Keratin zum größten Teil locker gebunden, überwiegend als Cystin enthalten (*Mörner*¹¹). (Dieser locker gebundene Schwefel spielt bei der künstlichen Haarfärbung durch Blei- oder Silbersalze eine Rolle.) Bei der Einwirkung von Alkalien treten 75 % als Schwefelalkali (nachweisbar durch Bleiacetat oder Nitroprussidnatrium), ein Teil sogar beim Sieden mit Wasser (schon beim Befeuchten ?) aus. Der Rest läßt sich dagegen nur nach Schmelzen mit Alkali und Salpeter als Sulfat nachweisen. *Krüger*¹² stellte fest, daß der locker gebundene Schwefel in bestimmtem Verhältnis zum Gesamtschwefel steht. Diese Relation wechselt bei verschiedenen Proteinen; für Cystin beträgt sie nach *Mörner* $\frac{3}{4}$.

Das Keratin ist kein einheitliches Albuminoid. *Unna*¹³ unterscheidet auf Grund verschiedenen chemischen Verhaltens A-, B- und C-Keratin. Keratin A und C sind unlöslich in rauchender Salpetersäure. In den Haaren kommt C-Keratin vor, das Haaroberhäutchen wird durch A-Keratin gebildet.

Die Resistenz der Horngebilde gegen chemische Reagentien, besonders fixe Alkalien, nimmt mit dem Alter zu. Die Zellmembranen vieler Hornbildungen sind dann in Alkalilauge fast unlöslich (*Hammarsten*¹⁴). Nach *Strauss*¹⁵ sind Keratin A und die Kernreste am widerstandsfähigsten; sie werden in der Kälte von den stärksten Alkalien und Säuren nicht angegriffen.

Schließlich ist der Schwefelgehalt des melanotischen Pigments der Haare zu berücksichtigen, der nach *Sieber*¹⁶ 2,71—4,1 % beträgt. *Strauss*¹⁷ stellte im Kerato-Melanin 2,4—2,72 % Schwefel fest.

Diese Befunde stehen zusammen mit oben angeführten über Beziehung zwischen Schwefelgehalt und Haarfarbe in einem Gegensatz zu

der Angabe *Kosjakoffs*, daß in seinen zahlreichen Versuchsgruppen die Haarfarbe niemals die Reaktionsweise des Haares beeinträchtigte. Auch die von *Kosjakoff* gemachte Voraussetzung verschiedenen Schwefelgehalts im Haar beider Geschlechter findet durch die angeführte Literatur nur teilweise eine Bestätigung.

Die Unterschiede sind im allgemeinen so klein, daß eine praktische Verwertung von vornherein wenig aussichtsreich erscheint; insbesondere gibt es keinen bestimmten für ein Geschlecht charakteristischen Schwefelgehalt.

Trotzdem wurde eine praktische Nachprüfung vorgenommen, weil die bestimmten Angaben *Kosjakoffs* die Möglichkeit nahelegten, daß seine Beobachtung zwar richtig, aber die gegebene Deutung irrig ist. Indessen ließen auch diese praktischen Versuche die von *Kosjakoff* beobachtete Regelmäßigkeit des Reaktionsablaufes vermissen. Die Zahl seiner richtigen Ergebnisse (91 %) konnte nicht annähernd erreicht werden, obwohl die angegebenen Vorschriften streng befolgt wurden. Von diesen ist hervorzuheben, daß die zuzusetzende Kalilauge kein Carbonat enthalten darf, da sonst die Abmessung der Salzsäure erschwert wird; nach Erhitzen mit Kalkwasser muß die Gasentwicklung beim Eingießen in Salpetersäure ausbleiben. Mit 10 proz. Kalilauge (1 ccm = 18 Tropfen) wird nur gerade bis zur Auflösung der Haare (1—2 Minuten) gekocht, da bei längerem Sieden für die Reaktion wirksamer Schwefel (durch Bildung eines schwarzen Niederschlages) verlorengeht. Das ließe sich durch Verwendung mindestens 20 proz. kalter Kalilauge¹⁸ vermeiden, die gleichfalls Keratin löst. Zwar gibt die so gewonnene Haarlösung auch die Farbreaktion, jedoch würde die Lösung des Keratins, wie oben erwähnt, noch unvollständiger sein als beim Kochen mit Lauge. Betrachtet man nämlich nach dem Sieden mit Lauge die meist schwarzbraune Haarlösung gegen einen weißen Hintergrund, so sieht man in ihr fast immer kleine ungelöste Teilchen, die auch durch weiteres minutenlanges Kochen nicht aufzulösen sind. Bei mikroskopischer Untersuchung bestehen sie aus gequollenen Haarstückchen und kleinsten lichtundurchlässigen Teilchen (wie Detritus aussehend). Ebenso ist die mit destilliertem Wasser verdünnte Haarlösung leicht getrübt. Das entspricht den oben mitgeteilten Angaben über ungleichmäßige Lösbarkeit der Hornsubstanzen. Die weitere Verarbeitung muß sofort vorgenommen werden, da auch durch längeres Stehen der Schwefel seine Wirksamkeit teilweise verliert. Die erforderliche Methylenblaulösung wurde durch Auflösen von 1 g Methylenblau (*Grübler*) in 70 proz. Alkohol gewonnen; teilweise wurde sie erst nach Filtration angewandt. Es ließ sich bestätigen, daß die Reduktion des Methylenblau zu Methylenweiß auf der Bildung von Schwefelwasserstoff aus dem Kaliumsulfid²⁰ der Haarlösung beruht. Wird vor dem Zusatz der Farblösung der

Schwefel aus der Haarlösung durch Bleiacetat als Bleisulfid ausgefällt (Schwefelbleiprobe²¹), so bleibt die Entfärbung des Methylenblau aus. Andererseits läßt sich der gebildete Schwefelwasserstoff durch die Fischersche Reaktion²² nachweisen (Entstehung von Methylenblau aus Dimethylparaphenylendiaminsulfat bei Gegenwart von Schwefelwasserstoff). Wurden nach *Kosjakoffs* Vorgang 9—12 Tropfen 4 proz. Salzsäure zugefügt, so trat meist auch eine Entfärbung der weiblichen Haarlösung ein. Es wurde deshalb zur Verwendung stärker verdünnter Salzsäure übergegangen. Der Farbunterschied trat am besten bei tropfenweißem Zusatz 1—0,4 proz. Salzsäure hervor; diese Verdünnungen wurden aus 37 proz. Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1,19 nach der Formel von *Roloff*²³ hergestellt. Aber auch ohne Säurezusatz war oft sofort einsetzende stufenweise Entfärbung des Methylenblau zu beobachten, die über Hellblau und Grün bis zu undurchsichtigem Grünlichgrau ablaufen konnte, was *Kosjakoff* anscheinend nie wahrgenommen hat. Erklärt wird diese spontane Reduktion dadurch, daß die Lösungen der Schwefelalkalien fortdauernd dissoziieren, da Schwefelwasserstoff eine sehr schwache Säure ist (*Salkowski*²⁴). So kann man selbst die Bleireaktion ohne Zusatz von Säuren erhalten. Läßt man die Haarlösungen längere Zeit stehen, so wird die zuerst blau gebliebene Haarlösung bis auf die mit der Luft in Berührung stehende Oberfläche entfärbt. Durch Schütteln mit Luft wird sie wieder gebläut, wobei der Farbunterschied gegenüber einer entfärbt gebliebenen (männlichen) Haarlösung noch deutlicher werden kann. Da der gebildete Schwefelwasserstoff eine schwache Säure darstellt und Methylenblau basisch reagiert, läßt sich die Alkalescenz der Haarlösung im Augenblick der Reaktion aus dem Verhältnis der zugesetzten Reagenzien (bei Benutzung von 10 Tropfen 1 proz. Salzsäurelösung verhält sich Base zu Säure wie 0,1 zu 0,01) nicht berechnen. Die Prüfung der chemischen Reaktion bestätigt, daß sich die geschilderte reversible Entfärbung des Methylenblau im schwach alkalischen Milieu abspielt. Die Eigenschaft der Küpenbildung²⁵ zeigt das Methylenblau auch hier. Ist durch zuviel Säurezusatz Acidität der Lösung eingetreten, so läßt sich die Leukobase, das Methylenweiß, durch kräftiges Schütteln an der Luft nicht wieder oxydieren, es gelingt dies nur durch Alkalizusatz. Bei Acidität wird Schwefelwasserstoff aus der milchig getrübten Lösung frei, was am Geruch und an der Schwärzung von Bleinitratpapiert zu erkennen ist.

Der geschilderte Reaktionsablauf erfährt nun durch verschiedengradige Entfärbung der Haarlösungen beider Geschlechter eine Beeinträchtigung. Weibliche Haarlösungen werden mehr oder weniger entfärbt, solche von Männerhaar bleiben stärker oder schwächer gefärbt. Das zeigt sich besonders bei Betrachtung im durchfallenden Licht. In den nicht seltenen Fällen geringer Farbdifferenzen oder gar übergreifen-

der Farbtöne im Grünblau kann von einer sicheren Unterscheidung nicht gesprochen werden. Diese zweifelhaften Ausfälle der Reaktion dürfen um so weniger Berücksichtigung finden, als sich herausstellte, daß in Parallelröhren zum Teil abweichende Farben auftraten. Da nur sorgfältig gereinigte (teilweise ungebrauchte) Gläser und Pipetten verwandt wurden und nach Abpipettierung gleicher Mengen der betreffenden Haarlösung nur noch Methylenblau und Salzsäure in derselben Tropfenzahl zugesetzt wurden, beweist dieser ungleiche Ausfall die Unzuverlässigkeit der Reaktion bei geringen Farbunterschieden. In noch stärkerem Grade traten zweifelhafte Ausfälle und sogar Fehlresultate auf bei Verarbeitung geringerer Haarmengen (bis zu einem Viertel des ursprünglich angegebenen Quantums), wie sie gerade in gerichtsmedizinischen Fällen häufig nur zur Verfügung stehen dürften. Dabei wurden die gebrauchten Reagenzien entsprechend vermindert und stets die chemische Waage zum Abwiegen der Haare benutzt.

Im ganzen konnte ein Prozentsatz von noch nicht 70% richtiger Resultate erzielt werden. Dieses Ergebnis ließ sich auch dadurch nicht verbessern, daß die Haare vor der Verarbeitung mit warmem Wasser und Äther gewaschen und möglichst nur gleichfarbige Haare von Männern und Frauen verglichen wurden. Die von *Kosjakoff* geforderte Reinigung der Haare, die vor allem eine Entfettung bezieht, kann zu einem geringen Verlust an Schwefel führen, wenn heißes Wasser gebraucht wird. Deshalb wurde das Waschwasser nicht über 50° erwärmt. Andererseits bleibt die Frage offen, ob durch das Waschen künstlich aufgetragener Schwefel, der in einzelnen Haarmitteln (z. B. im Papillantin von Schering) enthalten ist, völlig entfernt wird. Möglicherweise ergeben sich hieraus Fehlerquellen.

Dem Vernehmen nach wurde von einem russischen Forscher betont, daß die Reaktion trotz ihrer Einfachheit große Übung voraussetzt. Selbst wenn man anfängliche Fehlresultate auf mangelnde Technik bezieht, muß sich der dadurch bedingte Fehler nach Einarbeitung in die Methode ausgleichen, wenn anders der Reaktion eine breitere Anwendung zukommen soll. Ein solcher Fortschritt war aber nicht zu beobachten. Die von *Kosjakoff* in 91% seiner untersuchten Fälle erzielten richtigen Ergebnisse können daher wohl nur durch weitgehende Einbeziehung zweifelhafter Ergebnisse zustande gekommen sein, zumal sich in seiner Arbeit keine zahlenmäßige Angabe über solche zweifelhaften Ausfälle findet. Ob Rassenunterschiede daneben eine Rolle spielen, ist auf Grund des vorliegenden Materials nicht zu entscheiden. Aus den oben angeführten Gründen schwankender Ergebnisse in Parallelversuchen ist jedoch die Ausschließung aller nicht eindeutigen Befunde zu fordern. Die direkten Fehlbestimmungen (über 10%) ließen sich nicht wie bei *Kosjakoffs* Fällen als durch genitale oder psychische Störungen

bedingte Ausnahmen erklären. Mit dem Zugeständnis solcher Ausnahmen muß sich zudem der Wert der Reaktion vermindern.

Wie aus der bekanntgewordenen Nachuntersuchung einer russischen Autorin hervorgeht, ergaben einige Fehlresultate als Ursache Schwefelwerte, wie sie nur das andere Geschlecht aufweisen soll. Damit fällt die allgemeine Gültigkeit der für die Reaktion gemachten notwendigen Voraussetzung.

Bei Schwangeren erklärte *Kosjakoff* die falschen Ergebnisse mit der Zunahme des Schwefelgehalts in dem während der Schwangerschaft wachsenden Haar. Da das Haupthaar im Monat um 1 cm wächst, lasse sich die Dauer der Schwangerschaft bei zentimeterweiser Untersuchung mit Hilfe der Methylenblaumethode angeben.

Eine solche Beziehung war am ausgerissenen und von der Wurzel an untersuchten Haar einiger Schwangeren, die zur gerichtlichen Leichenöffnung gekommen waren, nicht zu bestätigen; die Dauer der Schwangerschaft konnte dabei aus der Länge der Frucht oder aus dem Inhalt der polizeilichen Erhebungen bestimmt werden. Die Ergebnisse wechselten vielmehr, besonders an der Grenze zu dem angeblich vor der Schwangerschaft gewachsenen Haar. Die von *Kosjakoff* für diese Schwangerschaftsreaktion aufgestellte Voraussetzung erscheint zudem reichlich summarisch. Nach *Benecke*⁷ werden vom menschlichen Körper täglich 40,6 mg Haare erzeugt, während *Moleschott* an 200 mg angibt.

Strauss meint, diese Differenz dürfe nicht verwundern, da die Stärke des Haarwachstums bei verschiedenen Menschen wechselt und Haarschnitt usw. das Wachstum beeinflussen. Dementsprechend darf wohl kaum ein gleichmäßiges Längenwachstum des Haupthaars angenommen werden.

Zusammenfassung.

Die Voraussetzung der von *Kosjakoff* angegebenen Methode zur Unterscheidung von Männer- und Frauenhaar, die auf verschiedenem Schwefelgehalt in den Haaren beider Geschlechter beruhen soll, erscheint nach den bisherigen physiologisch-chemischen Erfahrungen nicht genügend gesichert. Auch die praktische Nachprüfung seines Verfahrens konnte die fast absolute Gültigkeit seiner Schlüsse nicht bestätigen, so daß die Methode wegen der Unsicherheit ihrer Ergebnisse für gerichtsmedizinische Zwecke nicht zu verwerten ist.

Literaturverzeichnis.

¹ *Kosjakoff*, Zur Frage des biochemischen Geschlechtsdimorphismus der Hautgebilde. Dtsch. Z. gerichtl. Med. **15**, 1. H (1930). — ² *Rutherford-Hawk*, J. of biol. Chem. **3**, zit. nach *Hammarsten* (s. unten). — ³ *v. Bibra*, Über Haare und die Hornsubstanz. Ann. Chem. u. Pharm. **56**, 289 (1855). — ⁴ Zit. nach *O. Kestner*, Chemie der Eiweißkörper **4** (1925). — ⁵ *Vauquelin*, Ann. Chim **58**, 41; zit. nach

Mohr. — ⁶ *van Laer*, Chemische Untersuchungen der Haare. Ann. Chem. u. Pharm. **45** (1843). — ⁷ *v. Gorup-Besanez*, Ann. Chem. u. Pharm. **61**, 49; zit. nach *Oppenheimer*, Handbuch der Biochemie des Menschen **4** (1925). — ⁸ *Mohr*, Über den Schwefelgehalt verschiedener Keratinsubstanzen. Hoppe-Seylers Z. **20** (1895). — ⁹ *Halliburton*, Lehrbuch der chemischen Physiologie und Pathologie. 1893. — ¹⁰ *Langecker*, Vergleichende Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung von menschlichen Nägeln aus verschiedenen Lebensaltern. Hoppe-Seylers Z. **115** (1921). — ¹¹ *Mörner*, Zur Kenntnis der Bindung des Schwefels in den Protein-stoffen. Hoppe-Seylers Z. **34**, 207 (1901/02). — ¹² *Unna, P. G.*, Biochemie der Haut. 1913. — ¹³ *Krüger, A.*, Über den Schwefel der Eiweißstoffe. Arch. f. Physiol. **43** (1888). — ¹⁴ *Hammarsten*, Lehrbuch der physiologischen Chemie **9** (1922). — ¹⁵ *Strauss* in *Abderhalden*, Biochemisches Handlexikon **4**, 193 (1911). — ¹⁶ *Sieber*, Über die Pigmente der Chorioidea und der Haare. Arch. f. exper. Path. **20** (1886). — ¹⁷ *Strauss, Ed.*, Studien über die Albuminoide. 1904. — ¹⁸ *Smith, H.*, Enthalten die Haare Keratin? Z. Biol. **19** (1883). — ¹⁹ Über die Rolle des Methylenblau bei physiologisch-chemischen Reaktionen s. *Abderhalden*, Lehrbuch der physiologischen Chemie **2**, 255/56 (1923). — ²⁰ *Neumeister*, Lehrbuch der physiologischen Chemie **1** (1893). — ²¹ Am besten in der Ausführung nach *Salkowski*, Physiologisches Prakticum **1** (1893); zit. nach *Sieber* (s. oben). — ²² *Fischer, E.*, Ber. dtsch. chem. Ges. **16 II**, 2234 (1883). — ²³ *Roloff*, Dtsch. med. Wschr. **1925**, Nr 40, 1665. — ²⁴ *Salkowski*, Prakticum der physiologischen und pathologischen Chemie **4** (1912). — ²⁵ *Krause, R.*, Enzyklopädie der mikroskopischen Technik III **2** (1926).