

Differentialdiagnostisch bedeutsame Unterschiede zwischen Strom- und Wärmemarken

E. BÖHM

Institut für gerichtliche Medizin der Universität Heidelberg
(Direktor: Prof. Dr. B. MUELLER)

Eingegangen am 10. Januar 1967

Zur Frage der Differentialdiagnose zwischen thermischen und elektrischen Verbrennungen wurden Ergebnisse einer größeren Versuchsreihe teilweise mitgeteilt¹. Es soll hier die Versuchstechnik näher beschrieben und diskutiert werden.

Weiterhin wird über noch unveröffentlichte Ergebnisse unserer Untersuchungen berichtet.

Die Durchführung der Kongorot/Alcianblaufärbung erfolgte folgendermaßen:

Die formalinfixierten (Verwendung von „neutralisiertem“ Formalin, auch Einfärbung in Michaelis-Puffer vom pH 3—9 erbrachte keine Vorteile) Marken wurden auf dem Gefriermikrotom geschnitten, die Schnitte ca. 3—5 min in eine 1%ige wäßrige Kongorotlösung gebracht, in 70%igem Alkohol differenziert, darauf in eine 1%-ige Lösung von Alcianblau in 3% Essigsäure verbracht, in destilliertem Wasser nachdifferenziert, auf Objektträger aufgezogen und in Glycerin-Gelatine eingebettet.

Die Methodik der Kongorot/Alcianblaufärbung wurde von uns empirisch entwickelt, wobei allerdings auch rein theoretische Überlegungen angestellt wurden, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Die Methode wurde an über 1000 histologischen Schnitten von Strom- und Wärmemarken angewandt und bewährte sich ausgezeichnet. In einer stufenförmigen Schnittserie durchgeführte vergleichende Färbungen mit Anilinblau, Azur-A, Brillantkresylblau, Dahlia, Gentianaviolett, Methylviolett, Neutralrot, Nilblau, Safranin, Thionin, Toluidinblau und Viktoriablau, auch mit Lugolscher Lösung ergaben im Prinzip keine abweichenden Ergebnisse, jedoch qualitativ schlechtere, vielfach unschärfere mikroskopische Bilder.

Auf welcher histochemischen Reaktionsweise letztlich die Färbungsergebnisse beruhen, ist meines Erachtens bei der Eindeutigkeit der erzielbaren Ergebnisse nicht entscheidend. Die Einwände, die PROCH gegenüber der Alcianblau-Gegenfärbung bezüglich der Spezifität machte, spielen für die forensische Anwendbarkeit keine Rolle. Wir konnten einwandfrei zeigen, daß bei Färbung verschiedener Schnitte einmal mit Kongorot — zum anderen mit Alcianblau exakt die identischen, der

¹ Vortrag, gehalten auf der 45. Tagung der Deutschen Gesellschaft für gerichtliche und soziale Medizin in Freiburg i.Br. vom 5.—9. Oktober 1966.

Nekrose zugehörigen Gewebsbezirke von Kongorot angefärbt und von Alcianblaufärbung ausgespart blieben. [Die Ergebnisse wurden polarisationsoptisch nach GG. SCHMIDT überprüft (Abb. 1).] Die histochemischen Grundlagen dieses Verhaltens zu klären ist Sache der Histochemie. Es sei hier noch bemerkt, daß die Alcianblaufärbung [H. F. STEEDMAN (1950): Quart. J. micr. Sci. 91, S. 477] zwar als spezifisch für saure Mucopoly-Saccharide gilt, über den Chemismus jedoch nach SPANNHOF

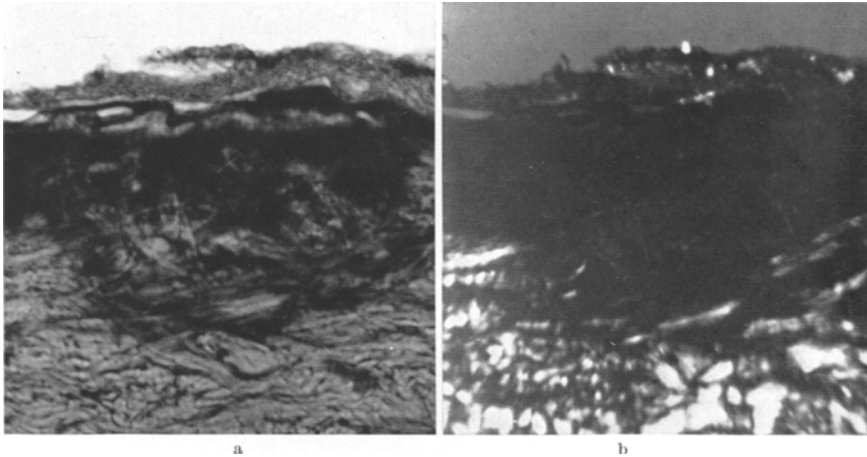


Abb. 1. a Strommarke, Leichenhautversuch Anfärbung mit Kongorot/Alcianblau.
b Polarisationsoptisches Bild der gleichen Marke

Genauerer nicht bekannt ist. SOMOGYI führt die histochemische Reaktionsweise der thermischen Nekrose auf ein Freiwerden von Säureradikalen zurück.

PROCH konnte mit der Anfärbung von Strom- und Wärmemarken keine Differenzierung erzielen. Zu entsprechenden Ergebnissen kamen SOMOGYI u. a. Dem Begriff der Chromotropie (PROCH) für die Farbstoff-Affinität thermisch geschädigter Gewebsbezirke möchte ich den der Chromophobie gegenüberstellen. Dieser Begriff soll für Farbstoffe gelten, die sich bezüglich der thermischen Nekrose wie Alcianblau verhalten, diese also nicht einfärben.

Ähnliche Färbefeffekte wie wir mit Kongorot/Alcianblau erzielten ROSS und WALKER mit Anilinblau/Phosphormolybdänsäure und Orange G (Rattenhaut).

In einer ersten Versuchsserie waren wir bemüht, möglichst standardisierte Bedingungen zwischen Hautoberfläche und Elektrode herzustellen. Da die Hautwiderstände an verschiedenen Körperstellen stark voneinander abweichen, suchten wir ein möglichst homogenes Areal der

Bauchhaut aus. Als Elektroden benutzten wir Kupfernieten. Um die Entstehung von Funken zu verhindern, mußte eine absolut plane Elektrodenauflagefläche geschaffen werden. Da wir vielfach Funkenbildung bei hohen Auflagedrucken nach Einsinken der Elektrode in den Randbezirken von Kupfernietenschäften beobachten konnten und abgerundete Elektroden aus den gleichen Gründen nicht benutzen wollten, wur-

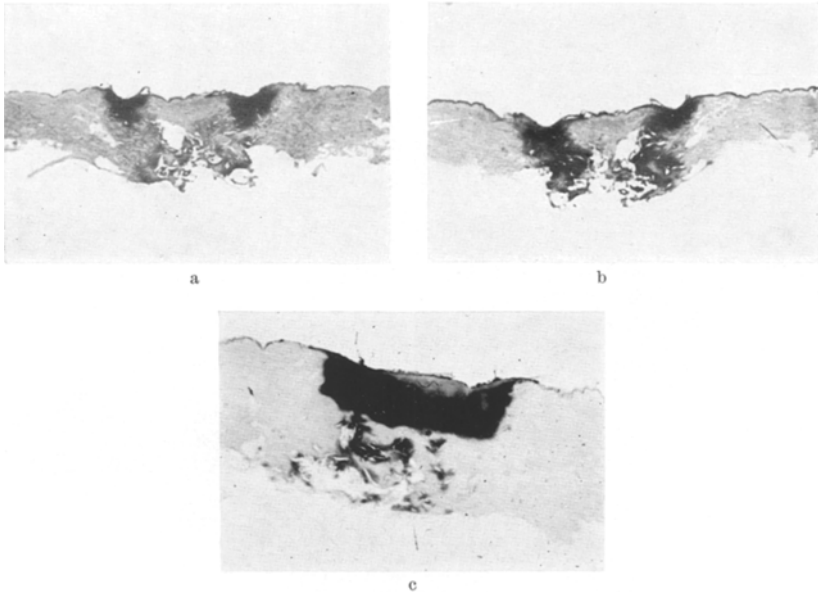


Abb. 2a—c. An excidierten Leichenhautstücken erzeugte Strommarken. Stromfließzeit a 0,5, b 1,0 und c 1,5 sec. Mit zunehmender Stromfließzeit rücken die Einzelnekrosen zusammen und bilden schließlich eine keilförmige Gesamtmarke. In c ist die bestehenbleibende oberflächliche Aufhellung in den mittleren Anteilen zu erkennen

den die Nietenschäfte in solide, 15:10:2 cm große Pertinaxplatten eingelassen, die gesamte Kontaktfläche erst abgedreht, kleine Defekte mit Isolationsmasse ausgefügt und dann die ganze Fläche nochmals mit feinstem Schmiergel abgeschliffen und poliert. Danach Auflegen auf die gesäuberte, mit physiologischer Kochsalzlösung abgewaschene Bauchhaut, Befestigung mit Klebeband, Auflage eines Gewichtes von 5 kg. Auch maximale Auflagedrucke wurden erzeugt. Die in einem Abstand von 25 mm zueinander angeordneten Elektroden waren mit einem Stufenschalter gekoppelt, Stromfließzeiten: in Sekunden 0,1, 0,3, 0,5, 0,8, 1,0, 5,0, 10,0, 15,0 (Wechselstrom 220 V).

Wir fanden bei kurzen Fließzeiten (ca. 1 sec) nestförmige Nekrosen an den Elektrodenrändern (wie bereits Gg. SCHMIDT). Die vertikalen Achsen dieser Nekrosen ließen eine schräge Richtung erkennen, so daß der

Achsen Schnittpunkt also über der Hautfläche gelegen ist. Im Gegensatz dazu liegt der Achsen Schnittpunkt bei Versuchen mit excidierten Leichenhautstücken (großflächige = indifferente Elektrode unter dem Hautexcidat) in der Hauttiefe (vgl. Abb. 2, 3). Thermisch konnten wir ähnliche Befunde nicht erzielen.

Bei längeren Stromfließzeiten von 1—10 sec wurden die nestförmigen Nekrosen zunehmend größer und bildeten schließlich eine ziemlich homogene Gesamtheit. Entsprechend der Achsenlage bildete sich bei der Leichenversuchsserie die Form eines runden Brotes aus, bei excidierten Hautstücken eine Keilform. Die Ursache für das unterschiedliche Verhalten von Leichenhaut in situ und im Präparat ist wohl in

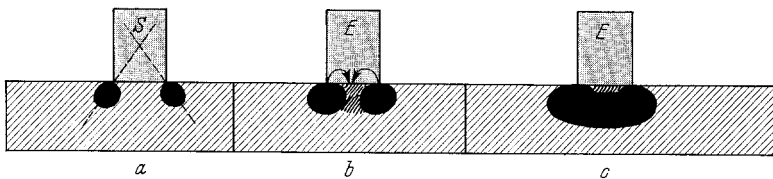


Abb. 3a—c. Schematische Darstellung der Ausbildung einer Gesamtstrommarke aus den nestförmigen Randnekrosen bei zunehmender Stromfließzeit (a—c 0,5—1,5 sec). Die Versuche wurden an der intakten Leiche durchgeführt. Man erkennt in a die schräge Achsenstellung der nestförmigen Nekrosen mit dem Achsen Schnittpunkt über der Hautoberfläche, in b das Zusammenrücken der Randnekrosen zur Mitte hin und die Entstehung einer geringer angefärbten Gewebszone unter der mittleren Elektrodenauflagefläche durch Fortleitung der in den Randgebieten der Elektrode (E) entstandenen Hitze zur Mitte hin

einer unterschiedlichen Dichte der elektrischen Stromlinien (Gg. SCHMIDT) zu sehen. Wie Modellversuche zeigten, ist aber auch mit einer Widerstandserhöhung thermisch geschädigten Eiweißes zu rechnen, so daß sich die Elektrode also am Ort der Auflage und der primären Verbrennung sozusagen selbst isoliert — worauf übrigens schon BOSCH hingewiesen hat. Da der Strom aber stets den Weg des geringsten Widerstandes nimmt oder, anders formuliert, die Maxima der Jouleschen Wärmeentwicklung immer an der Stelle des geringsten Widerstandes auftreten müssen, vergrößert sich die Stromnekrose im Bindegewebe vermutlich kugelschalenförmig um die primären Durchschlagsstellen herum.

In eigenen Sektionsfällen nach Stromtod fanden wir ebenfalls, wie bereits erwähnt, Rundformen (Brotform).

Wir möchten hier nochmals darauf hinweisen, daß Untersuchungen über die Form der Strommarke in der Tiefe des Hautbindegewebes, die an excidierten Hautstücken durchgeführt wurden, nach unseren Ergebnissen in der Elektropathologie nicht mehr vertretbar sind. Die Form von an Leichenhautstücken gesetzten Strommarken weicht völlig von der unter „natürlichen“ Gegebenheiten zustande gekommenen ab. Wegen

der Besonderheiten in Oberflächengestaltung und Aufbau der menschlichen Haut sind auch tierexperimentelle Untersuchungen nur mit größter Zurückhaltung zu beurteilen.

Bei der Komposition des Vollbildes der Strommarke (Brotform) aus mehreren nestförmigen Einzelnekrosen ist eine weitere Besonderheit zu beachten. SELLIER fand bei seinen Untersuchungen eine sekundäre Aufheizung der Elektrode auf 175°C . Wir konnten zeigen, daß an umschriebenen Stellen höhere Temperaturen auftreten, wurden nämlich Blei- und Zinnfolien als Elektroden benutzt, so lassen sich diese Metalle auch bei Stromfließzeiten unter einer Sekunde in Form kleiner erstarrter Tröpfchen an den Durchschlagsstellen beobachten, wie dies ja auch theoretisch zu fordern ist, da die Lichtbogentemperatur mehrere tausend Grad beträgt, der Schmelzpunkt von Zinn aber bei 232°C und von Blei 327°C liegt. Auch die tiefgreifenden Strukturzerrüttungen und Schmelzeffekte an den punktförmigen Funkeneinschlagstellen auf der Oberfläche von Kupferelektroden weisen in Zusammenhang mit der Abtragung charakteristisch geformter Metallpartikel durch Funkenerosion auf hohe lokale Temperaturwerte hin (der Schmelzpunkt von Kupfer liegt bei 1083°C). Das umschriebene Auftreten dieser hohen Temperaturwerte zeigen auch die Verbrennungsresiduen auf der Hautoberfläche der Gesamtmarke (spezifische Oberflächentextur) sowie des histologischen Schnittbildes. Temperaturmessungen mittels Mikrothermoelement (SELLIER) können trotz der guten Wärmeleitfähigkeit der Metalle nur den jeweiligen Kollektivwert an der Meßstelle ergeben. Entsprechend unseren Vorstellungen von der Ursache der sekundären Aufheizung der Elektrode fand SELLIER kein kontinuierliches, sondern ein sprunghaftes Ansteigen der Elektrodentemperatur. Selbstverständlich bewirkt nun aber die Gesamtaufheizung der Elektrode von den Randstellen her (fast alle Einzelstromdurchschläge liegen im Elektrodenrandgebiet) eine thermische Schädigung der mittleren Hautbezirke. Im Bereich der Mitte der Elektrodenauflagefläche wird daher in der Gewebs-tiefe ein teilweise rein thermisch erzeugter Nekroseanteil zu finden sein (Abb. 3), wodurch die Form der Gesamtmarke im Schnittbild eine Erklärung findet. Eine Bestätigung dieser Auffassung liefert das histologische Bild bei Benutzung großflächiger Elektroden. Die zugeführten Wärmemengen reichen nicht mehr zu einer wesentlichen Aufheizung der Gesamtelektrode aus — man findet zahlreiche Mikrostrommarken in den Randgebieten der Elektrodenauflagefläche — entsprechend Lichtbogendurchschlägen wie schon berichtet, eine Gesamtstrommarke im Sinne einer durchgehenden Nekrose unter der gesamten Auflagefläche tritt nicht mehr auf. An den Auflageflächen der Elektrodenecken werden dagegen größere Einzelmarken gefunden. Oberflächlich findet sich hier eine maximale Anhäufung von Lichtbogenschmelzeffekten.

Eine weitere Bestätigung dieser theoretischen Erwägungen ergeben die Bilder unserer Strommarken aus der oben angeführten Serie (Nieten). Beim Zusammenfließen der Randnekrosen bleibt meist ein schwächer angefärbter Bezirk in den mittleren oberen Bezirken erhalten (eine Korrelation zwischen Anfärbungsgrad und Nekrorestadium wurde gefunden, s. u.), der eine geringere Wärmeeinwirkung beweist. Bei Wärmemarken finden sich derartige Diskontinuitäten nicht. Bei höheren Hitze-graden demarkiert sich vielmehr an die Hautoberfläche anschließend ein durchgehender Saum intensiver angefärbten Gewebes (Abb. 4). Die

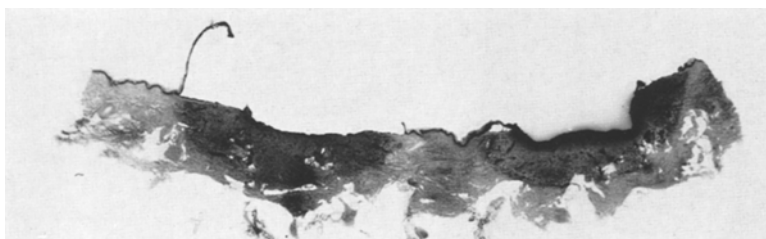


Abb. 4. a Strommarke nach 10 sec Stromfließzeit: Die Nekrose reicht wie bei der Wärmemarke b weit über die Auflagefläche hinaus. Die Wärmemarke wurde durch mehrmaliges Aufsetzen eines zur Rotglut erhitzten Kupferstabes erzielt. Man erkennt unmittelbar unter der Auflagefläche eine intensiver angefärbte Zone von bandartiger Ausbreitung

Gesamtform der Wärmemarke nähert sich bei hoher Hitzeeinwirkung zunehmend einer Schüssel oder einem Kegel. Bei mehrfacher Applikation eines glühenden Kupferstabes konnten sogar über den Ort der Wärmeapplikation an der Hautoberfläche hinausreichende runde Formen ähnlich der Strommarke erzeugt werden. Die Verkohlungen der Haut waren aber dabei teilweise so weit fortgeschritten, die Oberflächen-gestalt (homogen) so eindeutig auf thermische Einwirkung zurückzuführen, daß differentialdiagnostische Schwierigkeiten nicht auftreten konnten. Im histologischen Schnittbild findet sich hier bereits eine Fragmentation der Bindegewebsfasern.

Für die färberischen Unterschiede in der Anfärbung thermischer Nekrosen möchte ich vorschlagen, gerade eben mit Kongorot angefärbte Gewebsteile als Nekrose 1. Grades und die intensiver gefärbten Anteile innerhalb der Gesamtnekrose als Nekrose 2. Grades zu bezeichnen.

Solche Nekrosen 2. Grades finden sich vielfach zusätzlich als Teile einer elektrischen Gesamtmarke in der Gewebstiefe unterhalb eines Lichtbogendurchschlags (als dessen Folge) sowie bei rein thermischen Marken in den obersten Hautschichten (Abb. 4).

Strommarken an Handinnenfläche und Fußsohle bereiten in der Differenzierung gegen Wärmemarken eventuell größere Schwierigkeiten. Bezüglich Oberflächenmetallisation und Lichtbogenschmelzeffekten

liegen praktisch gleiche Verhältnisse wie bei Marken der übrigen Körperhaut vor. Soweit eigene Sektionsfälle vorlagen, konnte auch aus der Gestalt der Gesamtmarke in Hornschicht und Gewebe eine eindeutige Abgrenzung vorgenommen werden. Experimentell konnten allerdings an Leichenversuchen Strommarken erzeugt werden, bei denen die Kongo-

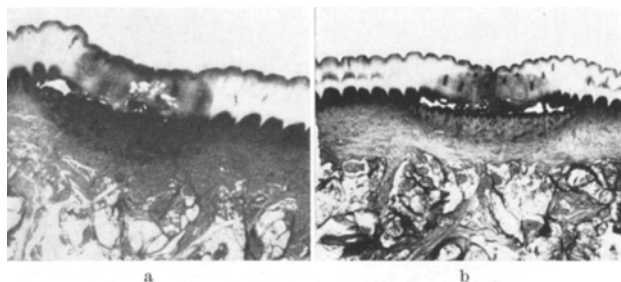


Abb. 5. Strommarken der Fußsohlenhaut: Angenäherte Rundform, Ausuferung der Nekrose in den Randgebieten an der Epidermisgrenze zur Hornschicht

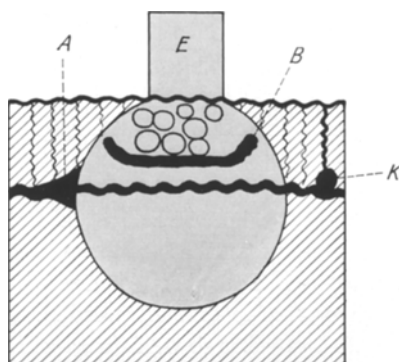


Abb. 6. Schema einer Strommarke an Haut mit dicker Hornschicht: Rundform der Gesamtmarke (Horn- und Bindegewebsschicht zusammen), zipfelförmige Ausuferung im Randgebiet (A), bandförmiger Verbrennungstreifen ohne Beziehung zur Hautoberfläche (B) und kugelförmige bis streifenförmige Nekrosen an der Grenze Epithel-/Hornhautschicht außerhalb der eigentlichen Marke (K)

rot/Alcianblaufärbung eine eindeutige Differenzierung zunächst nicht erlaubte (Abb. 5). In Serienschneidbildern solcher Marken fanden wir jedoch außerhalb der Nekrose kugelförmige Mikronekrosen der Schweißdrüsenausführungsgänge und des umliegenden Gewebes in der Grenzschicht zwischen Hornhaut und Epithel. Im Stratum conjunctum der Hornschicht war in einigen Fällen eine unterhalb thermisch kaum geschädigter Oberfläche gelegene bandförmige, ausgeprägte Verbrennung zu finden. Auch umschriebene starke Verbrennungen von bräunlicher Farbe waren in der Hautschicht manchmal nachzuweisen, die keinerlei Beziehung zu oberflächlichen thermischen Kontaktverbrennungen zeigten (Abb. 6).

Vielfach wurde eine Ausuferung der Nekrose streifenförmiger Art zwischen Horn- und Keimschicht in die Strommarkenumgebung gefunden. Bei Wärmemarken konnten wir diese Befunde nicht erheben, halten jedoch eine umfangreiche Untersuchung darüber für noch erforderlich.

Zusammenfassung

Es wird über weitere morphologische Unterscheidungsmöglichkeiten zwischen Strom- und Wärmemarken berichtet. Beschreibung der Färbemethode mit Kongorot und Alcianblau, Erörterung der Färbungsergebnisse und ihrer forensischen Bedeutung. Theoretische Erwägungen über den Aufbau und die Zusammensetzung der Strommarkennekrose bei verschiedenen Elektrodenformen. Bei experimentellen Untersuchungen ergaben sich nunmehr nach Anwendung der obigen Färbung Schwierigkeiten der Differenzierung gegen Wärmemarken, wenn die Strommarken an Handinnenfläche oder Fußsohle gesetzt wurden. Zwar wurden auch hierfür Unterscheidungsmerkmale gegenüber thermischen Verbrennungen erarbeitet, eine systematische experimentelle Bestätigung erscheint aber erforderlich. Bei den eigenen Sektionsfällen traten solche Schwierigkeiten nicht auf, nach dem Ergebnis der experimentellen Untersuchungen ist jedoch mit Schwierigkeiten bei Strommarken an Haut mit dicker Hornschicht zu rechnen.

Summary

The report relates to several morphological possibilities of distinction in reference to electric and heat characteristics. Description of the colouring method with Kongo-red and Alcian-blue. Demark of colouring results and their forensic significance. Theoretical interpretation concerning structure and composition of current characteristics in reference to various forms of electrodes. Experimental tests revealed several difficulties in distinguishing heat marks after application of above colouring-results, when heat-marks had been put on the palm or sole of foot. In spite of the distinction marks which had been worked out contrary to thermic burns there is requirement of systematic, experimental confirmation. The own sections-cases did not reveal such difficulties, although referring to the result of experimental tests difficulties possibly can appear when skin with thick hornlayer is used for electric characteristics.

Literatur

- ALLGÖWER, M., u. J. SEGRIST: Verbrennungen. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1957.
- BOSCH, K.: Makroskopische und lupenmikroskopische Untersuchungen zur Oberflächenbeschaffenheit an Strommarken. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **56**, 318—323 (1965).

- ROSS, O. A., and C. J. WALKER: Histochemical studies of thermal injury on rat skin. *Proc. Soc. exp. Biol. (N.Y.)* **82**, 379 (1952).
- SCHMIDT, G.G.: Identifizierung von Stromdurchtrittsstellen. *Acta Med. leg. soc. (Liège)* **17**, 4, 15—62 (1964).
- SELLIER, K., u. W. PROCH: Untersuchungen an Strommarken in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **57**, 161—169 (1966).
- SOMOGYI, E., ROSZA u. P. SOTONYI: Histochemische und fluoreszenzoptische Untersuchungen der Strommarke. *Acta morph. Acad. Sci. hung.* **13**, 311—315 (1965).
- SPANNHOF, L.: Einführung in die Histochemie. Jena: Gustav Fischer 1964.
- STEEDMAN, H. F.: *Quart. J. micr. Sci.* **91**, 477 (1950).

Dr. med. EKKEHARDT BÖHM
Institut für gerichtliche und Versicherungsmedizin
8 München 15, Frauenlobstr. 7