

Elektrische Betäubung und elektrische Narkose

Von FERDINAND SCHEMINZKY, Innsbruck¹

I.

Unter Narkose versteht man im allgemeinen einen durch chemische Stoffe hervorgebrachten reversiblen Zustand verminderten oder aufgehobenen Reaktionsvermögens der lebenden Substanz; die Stärke der Lähmung steht zur Konzentration des angewandten Mittels in Beziehung und die Lähmung verschwindet – falls gewisse Grenzkonzentrationen nicht überschritten wurden – wieder mit der Entfernung, Ausscheidung oder Zerstörung des narkotisierenden Stoffes. Der chemischen Narkose ähnliche Lähmungszustände können allerdings auch durch physikalische Agenzien, wie Wärme, Druck oder elektrischer Strom, hervorgebracht werden, für welche Zustände sich gleichfalls der Ausdruck «Narkose» eingebürgert hat.

Die Kennzeichen der *chemischen* Narkose sind unter anderen: Wirkung auf jede Art der lebenden Substanz (sogar auf gewisse, die Lebensvorgänge nachahmende Modelle); abgestufte Wirkung auf die einzelnen Organe bei Metazoen (vor allem auf das Zentralnervensystem, in diesem wieder vorwiegend auf phylogenetisch jüngere Bildungen); anregende bzw. erregende Wirkung in kleinen Dosen (Exzitationsstadium), schädigende oder tötende Wirkung in großen; Beschränkung der Lähmungsdauer auf die Dauer der Einwirkung des chemischen Stoffes; Addition bzw. Potenzierung bei gleichzeitiger Einwirkung *mehrerer* lähmender Stoffe in an sich unterschwelliger Dosierung; Antagonismus zu zentral-erregenden Mitteln.

Zur Herbeiführung narkoseähnlicher Lähmungszustände mittels des *elektrischen Stromes* sind verschiedene Stromarten geeignet. Am frühesten (1875) wurde Unbeweglichkeit bei Fischen mit *Gleichstrom* beobachtet (MACH²); 1882 beschrieb ARAYA³ Betäubung bei Fröschen, verschiedenen Säugetieren und beim Menschen mittels *faradischer Ströme* (von einem medizinischen Induktorium), 1900 führte LEDUC⁴ einen «elektrischen Schlaf» an Säugetieren und auch an Menschen mit besonderen *zerhackten Gleichströmen* (Rechteckstöße von je 10 msec Dauer mit der Frequenz

100 je sec) durch, 1902 zog BOCKELMANN¹ den *sinusförmigen Wechselstrom* für die Betäubung von Schlachtieren heran, 1934 benützten CLARK und WALL² den *pulsierenden Gleichstrom* (aus Wechselstrom durch Gleichrichtung jedoch ohne Glättung erzeugt) zur Herbeiführung von Lähmungszuständen bei Kaninchen und Katzen.

«Elektronarkose» scheint demnach mit ganz verschiedenen Stromarten auslösbar zu sein; wie die folgende Darstellung ergibt, ist jedoch das Erscheinungsbild jeweils auch verschieden. Die angeführten Stromarten lassen sich nun zwanglos in zwei natürliche Gruppen scheiden, wodurch die Übersichtlichkeit der Befunde gewinnt. Auf der einen Seite stehen der faradische, der Wechsel- und LEDUC-Strom sowie der pulsierende Gleichstrom, welche unabhängig von ihrer Kurvenform als gemeinsame Eigenschaft den Aufbau aus schnell aufeinanderfolgenden Einzelimpulsen besitzen; solche *frequente Stromstöße* üben primär auf alle erregbaren Organe eine Reizwirkung aus, welche offenbar auch bei der Entwicklung des Betäubungszustandes eine Rolle spielen muß. Auf der anderen Seite steht der *konstante Gleichstrom*, der im allgemeinen während seines dauernden Fließens *keine* Erregung verursacht, jedoch die Erregbarkeit beeinflussen kann (elektrotonische Erscheinungen, vgl. weiter unten); außerdem ist auch die *Stromrichtung im Körper* des Versuchsobjektes beim Gleichstrom von entscheidender Bedeutung. Es ist daher zweckmäßig, die Wirkung der frequenten Stromstöße und die des konstanten Gleichstromes getrennt zu behandeln. In einem sind aber alle Stromarten gleich: sie entfalten hinsichtlich einer Lähmung *keine* Allgemeinwirkung auf die lebende Substanz, sondern beeinflussen *nur die Erregbarkeit des Zentralnervensystems*. Im Gegensatz zur Pharmakonarkose sind also Organismen *ohne ein Zentralnervensystem* elektrisch *nicht* in einen Lähmungszustand zu versetzen.

II.

Säugetiere und Menschen verfallen bei Durchleitung *frequenter Stromstöße* durch ihren Körper zunächst in einen mehr oder weniger an einen epilep-

¹ Physiologisches Institut der Universität in Innsbruck (Österreich).

² E. MACH, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen, Leipzig 1875.

³ I. ARAYA, Ill. off. République du Chili, 12 juin 1882.

⁴ St. LEDUC, Ann. d'Electro-Biol., mars-avril 1900.

¹ C. BOCKELMANN, Z. Fleisch- u. Milchhygiene 12, 132 (1902).

² G. A. CLARK und T. F. WALL, Quart. J. exper. Phys. 24, 85 (1934).

tischen Anfall erinnernden Zustand. Es treten allerlei Erregungserscheinungen, Ausstoßen von Lauten sowie tonische und klonische Muskelkrämpfe auf, die je nach der Stromstärke mehr oder weniger lange anhalten. Die Muskulatur bleibt weiterhin gespannt, besonders die der Bauchdecken, es zeigen sich sehr häufig auch fibrilläre Muskelzuckungen, die Reflexe können bei verkürzter Reflexzeit verstärkt sein, der Puls kann Unregelmäßigkeiten zeigen, die Atmung ist manchmal verlangsamt oder beschleunigt oder vom Typ der Preßatmung, es tritt Blutdrucksturz oder auch Blutdrucksteigerung auf, die Haut wird mitunter zyanotisch, die Körpertemperatur kann steigen, Speichelfluß und Entleerung von Blase und Darm kommen zur Beobachtung. Das spezielle Erscheinungsbild ist abhängig von der Lage der Elektroden bzw. der durchströmten Körperregion, davon, ob ein stärkerer Strom kurze Zeit oder ein schwächerer lange Zeit eingewirkt hat, von der Kurvenform des Stromes, von der Art des Versuchsobjektes und auch davon, ob es sich um einen sonst unbeeinflussten oder bereits durch chemische Stoffe vornarkotisierten Organismus handelt. Die Kurvenform des Stromes spielt insofern eine Rolle, als beispielsweise der faradische Strom und auch der LEDUC-Strom aus einzelnen Impulsen mit größeren Pausen dazwischen bestehen, in welchen die gereizten Zentren sich wieder teilweise erholen können, während der sinusförmige Netzwechselstrom und auch der pulsierende Gleichstrom nach Zweiweg-Gleichrichtung pausenlos aneinander gereichte Impulse aufweisen. So sind nach v. NEERGAARD¹ auch bei Anwendung des zerhackten Gleichstromes nach LEDUC die Erscheinungen schwerer und die Versuchsobjekte stärker gefährdet, wenn die Impulsdauer auf Kosten der Pause verlängert wird. Auch die Form des Einzelimpulses ist nicht ganz gleichgültig, da nach den Untersuchungen der Schule von W. R. HESS² vor allem die Anstiegsteilheit und auch die Dauer des Einzelstromstoßes bestimmen, ob mehr die Zentren und Fasern des animalen oder die des vegetativen Nervensystems ansprechen.

Von diesen Einzelheiten aber unabhängig ergibt sich bei der Anwendung der frequenten Stromstöße, daß mit der Zeit die Erregungserscheinungen zurücktreten und einer Art von Betäubung Platz machen; ebenso tritt, insbesondere nach kurzdauernder Einwirkung stärkerer Ströme, *nach der Stromausschaltung* eine solche Betäubung auf, welche man als die eigentliche «Elektronarkose» bezeichnet. In dieser hat man sowohl im Tierversuch als auch beim Menschen verschiedene operative Eingriffe versucht, ohne aber von der Qualität dieser «Narkose» befriedigt zu sein. Besser hat sich die elektrische Betäubung bei Schlachttieren bewährt³.

Ein Beispiel für die beiden Phasen der Stromwirkung – zuerst Erregung, dann Lähmung – zeigt Fig. 1 an Hand der Betäubung eines Schweines vor dem Stechen. Die Zuleitung des gewöhnlich dabei verwendeten Netzwechselstromes erfolgt mit Zangen, welche vom Schlächter an isolierenden Handgriffen gefaßt und mit

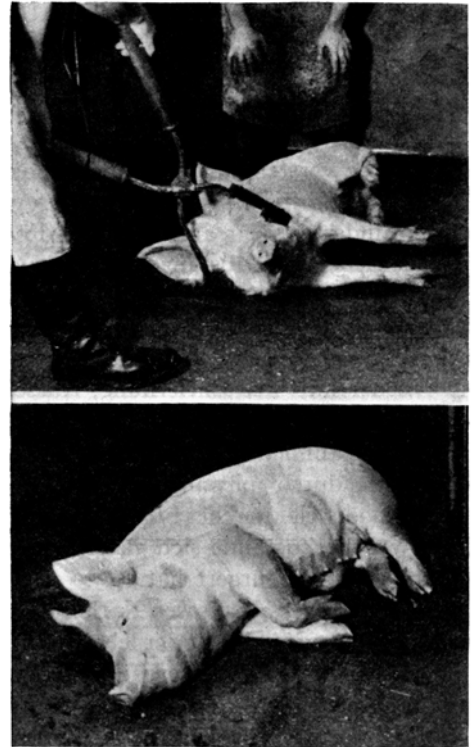


Fig. 1. Elektrische Betäubung von Schlachtvieh mit Wechselstrom. Oben: Anlegen der Zange am Kopf, Umfallen des Tieres und Unbeweglichkeit durch allgemeine Muskelkrämpfe; die Vorderbeine sind meist in einem Streckkrampf, die Hinterbeine führen gewöhnlich Laufbewegungen aus.

Unten: Betäubungszustand nach der Stromunterbrechung.

ihren offenen Enden dem Tier zu beiden Seiten des Kopfes angedrückt werden; im Augenblick des Kontaktes bricht das Tier unter Krämpfen zusammen, wobei die Vorderbeine wie im oberen Teil der Fig. 1 meist in einen tonischen Streckkrampf geraten, die Hinter-

einer Rolle hängenden Holzfuß mit Metall- und Kunstschwamm-elektroden und Kontaktknopf ersetzt; nach Eintauchen der Elektroden in Salzlösung wird der bereits unter Spannung befindliche Apparat dem in einer sogenannten Schweinefalle, zwischen zwei Metallwänden hängenden Schwein für etwa fünf Sekunden auf Genick und Stirn gepreßt. Nach plötzlicher Muskelanspannung im ganzen Körper erfolgt wieder sofortiges Erschlaffen, oft mit Harnentleerung verbunden, nach Abheben des Gerätes und Auskippen des Schweines aus der Falle auf den Boden führt das Tier mit den Gliedmaßen noch einige Laufbewegungen aus, um nachher unbeweglich liegenzubleiben. In dieser Betäubungsphase fehlt jede Reaktion nach Stechen auf den sehr empfindlichen Kronenrand über den Kornklauen oder nach Berührung des Augapfels. Erfolgt keine Tötung des Tieres, so tritt nach etwa fünf Minuten Erwachen mit Aufstehen, Schütteln und Herummarschieren ein, so, als ob kein Schock ausgelöst worden wäre. Mit der gleichen Anordnung wurden im übrigen auch Kälber sowie mit einem auf der Stirn und den Hörnern befestigten Spezialgerät auch Großvieh erfolgreich betäubt.

¹ K. v. NEERGAARD, Arch. klin. Chir. 122, 100 (1922).

² W. R. HESS, Arch. Psychiatrie 86, 287 (1928).

³ In der Schweiz hat vor 15 Jahren Dr. med. vet. J. UNGER als erster die Betäubung von Schlachttieren erprobt und das Verfahren auch im Schlachthof Basel eingeführt. Nach seiner freundlichen Mitteilung wurde inzwischen die Betäubungszange durch einen an

beine aber klonische Krämpfe mit Laufbewegungen ausführen. Wird der Stromkreis kurze Zeit darauf durch Öffnen der Zange unterbrochen, so verschwinden die Erregungserscheinungen und das Tier verbleibt dann minutenlang in einem schlaffen Lähmungszustand (Fig. 1, unten), in welchem es ohne jedes Bewußtsein und ohne jede Empfindung gestochen werden kann.

Noch deutlicher lassen sich die beiden erwähnten Phasen verfolgen, wenn man, wie in den Versuchen meines Mitarbeiters HOYOS¹, etwa beim Frosch das Rückenmark jede Sekunde reizt und als Maß für die zentrale Erregbarkeit die vom Reiz ausgelösten Bewegungen eines Hinterbeines aufzeichnet; während der Registrierung wird dann das Zentralnervensystem kurzdauernd mit Wechselstrom (50 Hz) durchströmt. Je nach der Stromstärke konnten verschiedene Wirkungsstufen unterschieden werden: unwirksame Wechselströme, dann wirksame der ersten Stufe, welche die Rückenmarkserregbarkeit nicht bloß *während*, sondern auch noch *nach* der Wechselstromeinwirkung *erhöhten* (*positive* Nachwirkung), und dann schließlich Ströme der zweiten Wirkungsstufe, welche zwar während der

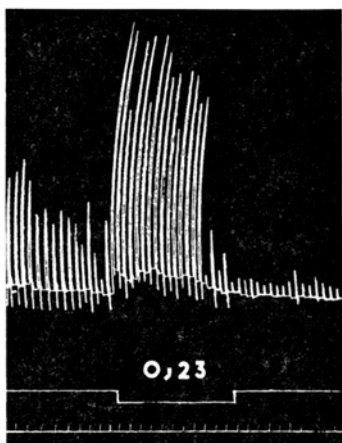


Fig. 2. Einfluß des Wechselstromes auf die Erregbarkeit des Froschrückenmarkes bei Längsdurchströmung. Die Erregbarkeit wird durch Rückenmarksreizung in Sekundenintervallen und Aufzeichnung der so ausgelösten Muskelkontraktionen von einem Hinterbein aus (oberste Zeile) geprüft. Die Durchleitung des Wechselstromes von 0,23 mA Stärke wird durch die Marke angezeigt (mittlere Zeile).

In der untersten Zeile Zeitmarken in Sekundenintervallen.

Der Wechselstrom bewirkt eine Vergrößerung der Ausschlagshöhe entsprechend einer gesteigerten Rückenmarkserregbarkeit, hinterläßt aber eine Erregbarkeitsherabsetzung (*negative* Nachwirkung), die sich an der verminderten Empfindlichkeit des Rückenmarkes für die ihm zugeführten Einzelreize anzeigt (Hoyos¹).

Durchströmung auch zur zentralen Erregbarkeitssteigerung führten, aber nach der Stromausschaltung die Erregbarkeit *verminderten* (Fig. 2) bzw. bei noch größerer Stromstärke diese sogar ganz aufhoben, also eine Lähmung zurückließen (*negative* Nachwirkung).

Zu den gleichen Ergebnissen kam auch HOLZER¹ bei querer Wechselstromdurchleitung durch den Schädel von Schläfenpol zu Schläfenpol, also bei reiner Gehirndurchströmung, und zwar beim Kaltblüter, Warmblüter und beim Menschen. Eine zentrale Lähmung als Folge frequenter elektrischer Reizung kam in der Natur übrigens schon lange vor, ehe noch die Menschen irgend etwas von der Elektrizität und deren biologischen Wirkungen wußten; denn die Betäubung, welche die *elektrischen Fische* bei ihren Opfern durch die von ihnen erzeugten frequenten Stromstöße hervorbringen, ist ja nichts anderes als die schon beschriebene negative Nachwirkung der elektrischen Durchströmung.

Liegt hier nun eine der Pharmakonarkose vergleichbare Lähmung vor und sind die einleitenden Erregungserscheinungen bloß als Exzitationsstadium zu werten? Die Frage muß wohl verneint werden, wie der Verfasser schon an einem anderen Orte² dargestellt hat. Bei der Pharmakonarkose ist das Exzitationsstadium nur ein Durchgang, aber die Narkose kommt nicht etwa deshalb zustande, weil eine Erregung vorausgegangen war. Bei der «Elektronarkose» mit frequenten Stromstößen ist dagegen das Auftreten der Erregungserscheinungen der primäre Vorgang und die Lähmung erst eine sekundäre Folge dieses Prozesses. So heben auch unter anderen KOK und HARREVELD³ hervor, daß gerade die wichtigste Wirkung des frequenten Stromes in der «Reizung des Zentralnervensystems» besteht. Daß die Grundwirkung frequenten Stromstöße eine Erregung ist und damit sich ein wesentlicher Unterschied zur Pharmakonarkose ergibt, geht unter anderem auch aus Versuchen des Verfassers⁴ an mit Koffein vorbehandelten Fischen hervor; während dieses Pharmakon das Eintreten einer chemischen Narkose *erschwert*, *erleichtert* es die Wirkung des Wechselstromes auf das Zentralnervensystem. Da eine Wirkungsaddition nur auf einer gleichsinnigen Beeinflussung durch beide Agenzien beruhen kann, muß auch die Grundwirkung des Wechselstromes in der Herbeiführung eines Erregungszustandes bestehen. Die Tatsache, daß frequente Stromstöße im Gehirn primär eine *erregende* Wirkung hervorbringen, hat im übrigen schon W. R. HESS⁵ bei seinen Untersuchungen über die Funktionen der Zentren des Hirnstammes ausgenutzt, indem er mit in der Gehirnmasse versenkten Elektroden lokale Reizeffekte durch frequente elektrische Impulse auslöste. Neben weiteren Unterschieden gegenüber einer chemischen Narkose ist noch zu erwähnen, daß die während des Strom-

¹ W. HOLZER, Wien. Arch. inn. Med. 35, 261 (1941).

² Fe. u. Fr. SCHEMINZKY und F. BUKATSCH, Tabulae biologicae 19 (1941).

³ T. J. KOK und A. VAN HARREVELD, Naturf. Vers. Wiesbaden-Mainz 1932, vgl. Berl. klin. Wschr. 152 (1933).

⁴ F. SCHEMINZKY, Pflügers Arch. 233, 371 (1933).

⁵ W. R. HESS, Beiträge zur Physiologie des Hirnstammes, I. Leipzig 1932; II, Leipzig 1938.

¹ J. Hoyos, Z. Biol. 98, 325 (1937).

durchganges sich allmählich ausbildende Betäubung niemals zu einer völligen Muskelentspannung führt; nicht unmittelbar in der Strombahn befindliche Teile des Zentralnervensystems, die offenbar nur von schwachen Stromschleifen betroffen werden, sind nicht etwa im Ruhezustand, sondern zeigen *erhöhte* Erregbarkeit (LEDUC¹, TSCHAGOWETZ², v. NEERGAARD³ u. a.).

Man wird deshalb das Auftreten der Betäubung nach frequenter Reizung nicht mit einer durch Narkotika hervorgebrachten Lähmung in Parallele setzen dürfen. Sofern nicht eine Reizbeantwortung infolge der allgemeinen Muskelkrämpfe unmöglich gemacht wird (WEBER⁴, SCHEMINZKY⁵, KRAUS und REIFFENSTUHL⁶), ist in erster Linie an Ermüdung, Erschöpfung oder Schädigung des Zentralnervensystems zu denken (SCHEMINZKY⁵, HOYOS⁷, ADLER⁸). Auch kann eine zentrale Hemmung als Folge der starken Reizung in Frage kommen (LEDUC¹, PIERRON⁹, v. NEERGAARD³, IVY und BARRY¹⁰, SACK und KOCH¹¹ u. a.) oder eine kolloidchemische Veränderung in den Nervenzellen (v. NEERGAARD³). Zweifellos spielen aber daneben auch noch Störungen des Allgemeinzustandes durch die Beeinträchtigung von Atmung und Kreislauf eine Rolle (SACK und KOCH¹¹).

Der Ausdruck Elektro«narkose» für die Lähmung unter oder nach Einwirkung frequenter Stromstöße auf das Zentralnervensystem ist daher sowohl wegen des Entstehungsmechanismus als auch wegen des äußeren Erscheinungsbildes im Vergleich zur Pharmakonarkose nicht angebracht und man wird diese Erscheinung zweckmäßigerweise unverbindlich als «Betäubung» zu bezeichnen haben. Auch die von LEDUC¹ gewählte Ausdrucksweise «elektrischer Schlaf» ist nicht zutreffend, nachdem W. R. HESS¹² durch seine Filmaufnahmen den schroffen Gegensatz zwischen der Betäubung durch den LEDUC-Strom und dem Verlauf des durch Reizung des Schlafzentrums erzeugten echten Schlafes unverkennbar aufgezeigt hat.

III.

Die Ablehnung der Bezeichnung «Narkose» für den durch frequente Stromstöße auslösbaren Betäubungszustand wird auch nicht durch die Tatsache widerlegt, daß dieser mit Bewußtseinsverlust und retrograder

Amnesie verknüpft ist. Obwohl beispielsweise bei Hunden nach Gehirndurchströmung anscheinend keine Erinnerung bestand, auch keine Feindschaft gegen den Menschen und gegen eine Wiederholung des Experimentes (LEDUC¹, v. NEERGAARD³), war die Frage nach der Ausschaltung des Bewußtseins lange Zeit strittig; denn in den Selbstversuchen von LEDUC³ als auch in den von HERTZ⁴ am Menschen ausgeführten Betäubungen war – wohl wegen der zu geringen angewandten Stromstärke – ein wirklicher Bewußtseinschwund nicht beobachtet, sondern nur ein mehr traumhafter Zustand mit Bewußtseinstörung, aber erhaltener Empfindlichkeit für Hautreize erzielt worden. Auf Grund der Erfahrungen, die aber in den letzten Jahren mit der von CERLETTI⁵ eingeführten *Elektroschockbehandlung* gewisser Geisteskrankheiten, vor allem der Schizophrenie, gesammelt werden konnten, ist an der Bewußtseinsauslöschung mit Erinnerungsverlust für die gesamte Prozedur nicht mehr zu zweifeln. Es war schon bekannt gewesen, daß die Schizophrenie durch künstliche Auslösung eines Kramp fzustandes, z. B. mittels Cardiazol, günstig beeinflusst werden kann; auf der Suche nach einem weniger aggressiv wirkenden Ersatzmittel für das genannte Excitans versuchte CERLETTI⁵ auch die Krampfauslösung mittels Wechselstromeinwirkung auf das Gehirn. Er konnte nachweisen, daß – entgegen der herrschenden Meinung – ein Wechselstrom bis zu 125 V Spannung einmal oder auch mehrmals *gefahrlos* durch den Schädel des Menschen geleitet werden kann, wenn man nur die Stromflußzeit automatisch auf Sekundenbruchteile beschränkt. Damit war eine heute in der ganzen Welt gebrauchte neue Therapie der Geisteskrankheiten entdeckt worden, welche sehr vielen Menschen bereits Heilung oder Besserung gebracht hat. Auch beim «Elektroschock», der ja aus den geschilderten Tierexperimenten herausgewachsen ist, zeigt sich im wesentlichen das bereits bekannte Bild: Auftreten epileptischer Konvulsionen im Augenblick des Stromdurchganges mit anschließender Betäubungsphase, die allmählich in Schlaf und dann in Erwachen übergeht; nach Angaben der Kranken besteht dabei tatsächlich Bewußtseinschwund und Fehlen jeder Erinnerung an den Ablauf des Behandlungsverfahrens, aber auch hier sehen wir wieder, daß der Wechselstrom als Serie frequenter Impulse primär eine *Erregungswirkung* im Zentralnervensystem herbeiführt, bzw. daß seine Wirkung gleich der des Excitans Cardiazol, nicht aber gleich der eines Narkotikums ist.

¹ St. LEDUC, Ann. d'Electro-Biol., mars-avril 1900.

² W. TSCHAGOWETZ, Pflügers Arch. 146, 567 (1912).

³ K. v. NEERGAARD, Arch. klin. Chir. 122, 100 (1922).

⁴ O. H. WEBER, Pubbl. Staz. zool. Napoli 11, fasc. 2 (1931).

⁵ F. SCHEMINZKY, Pflügers Arch. 233, 371 (1933).

⁶ H. KRAUS und W. REIFFENSTUHL, Pflügers Arch. 233, 380 (1933).

⁷ J. HOYOS, Z. Biol. 98, 325 (1937).

⁸ P. ADLER, Z. Biol. 99, 17 (1938).

⁹ E. J. M. PIERRON, L'inhibition électrique. Thèse pour le doctorat en médecine. Paris 1926.

¹⁰ A. C. IVY und F. S. BARRY, Amer. J. Physiol. 99, 298 (1932).

¹¹ G. SACK und H. KOCH, Z. exper. Med. 90, 349 (1933).

¹² W. R. HESS, Arch. Psychiatrie 86, 287 (1928).

¹ St. LEDUC, Ann. d'Electro-Biol., mars-avril 1900.

² K. v. NEERGAARD, Arch. klin. Chir. 122, 100 (1922).

³ St. LEDUC, A. MALHERBE und A. ROUSSEAU, C. r. Soc. Biol. (Paris) 22. sept. 1902.

⁴ J. HERTZ, Rev. Path. comp. 33, 385 (1933).

⁵ H. CERLETTI und L. BINI, Atti della R. Accademia medica di Roma 1938; vgl. auch die zusammenfassende Darstellung in Wiener med. Wschr., S. 100 (1940).

IV.

Ganz anders verhält sich der *konstante Gleichstrom*, wenn er in einer bestimmten Richtung durch das Zentralnervensystem hindurchfließt. Seit den im Anschluß an die schon erwähnten Untersuchungen von MACH durchgeführten Beobachtungen HERMANNS¹ ist

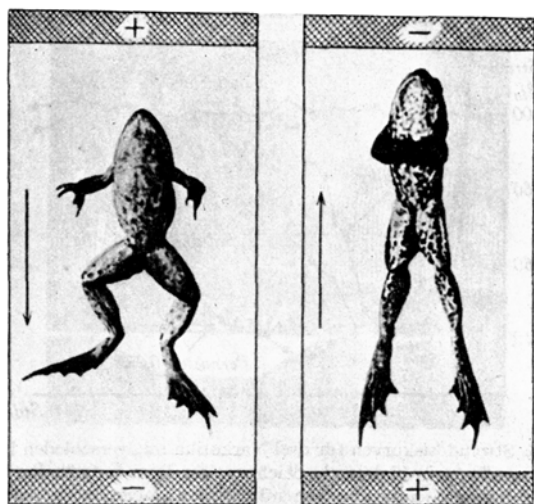


Fig. 3. Frosch (*Rana esculenta*) in Galvanonarkose bei absteigender Stromrichtung (links) bzw. im galvanischen Krampf bei aufsteigender Stromrichtung (rechts). Durchströmung unter Wasser, die schraffierten Felder oben und unten deuten die ins Becken versenkten stromzuführenden Elektroden (Kohlenplatten) an; die Pfeile zeigen die Stromrichtung. Sowohl in der Galvanonarkose als auch im galvanischen Krampf läßt sich das Tier ohne Abwehr auf den Rücken legen, im ersten Fall wegen der Lähmung (Muskeln vollkommen erschlafft!), im zweiten wegen der allgemeinen Muskelanspannungen (besonders deutlich an der Streckung der Hinterbeine zu erkennen) (KÖLLENSPERGER und SCHEMINZKY²).

bekannt, daß Durchströmung von z. B. Fischen, Kaulquappen oder Fröschen unter Wasser dann eine *Lähmung* mit Fehlen aller Erregungserscheinungen oder Abwehrversuche gegen Verdrehen in Rückenlage herbeiführt, wenn der Strom das Tier in seiner Körperlängsachse *absteigend* durchsetzt; dabei muß also der Kopf der positiven, das Kaudalende des Tieres der negativen in das Wasser versenkten Elektrode zugekehrt sein, damit die konventionell von + nach - strömende Elektrizität im Tierkörper absteigende Richtung hat. *Aufsteigende* Stromrichtung dagegen führt zu einem *allgemeinen Erregungszustand* mit krampfhafter Kontraktion aller Körpermuskeln, ganz ähnlich wie frequente Stromstöße. Das unterschiedliche Bild zwischen der Lähmung im absteigenden Strom - von BLASIUS und SCHWEIZER³ *Galvanonarkose* genannt - und den Erregungserscheinungen im aufsteigenden Strom - von KÖLLENSPERGER und SCHEMINZKY² als *galvanischer Krampf* bezeichnet - geht deutlich aus Fig. 3 hervor. Diese seltsame, gegensätzliche Wirkung

des konstanten Gleichstromes je nach seiner Richtung im Tierkörper ist lange Zeit unbeachtet geblieben und erst in den beiden letzten Dezennien vom Verfasser und seinen Mitarbeitern¹ an wirbellosen Tieren, niederen Wirbeltieren und auch am Menschen eingehender untersucht worden.

Zunächst war die Feststellung wichtig, ob die Lähmung bzw. Erregung wirklich über das Zentralnervensystem zustande kommt. Die sonst zur Entscheidung dieser Frage üblicherweise angewandten operativen Eingriffe (Durchtrennung, Abtragung und dgl.) mußten hier von vornherein abgelehnt werden, weil der operativ gesetzte Substanzverlust die Stromverteilung im Tierkörper ändert. Es wurde deshalb ein Verfahren entwickelt, von außen her mittels Kurzwellen-Wärmebändern² bestimmte Teile des Zentralnervensystems durch Hitzekoagulation scharf begrenzt auszuschalten. Besonders eindrucksvoll nach solchen Eingriffen ist die Auslösung des galvanischen Krampfes nach Ausschaltung bloß *einer Hälfte* der Lumbalanschwellung im Rückenmark, da dann die unversehrte Seite als Kontrolle dienen kann; wenn beispielsweise, wie in Fig. 4, die Rückenmarkszentren für das linke Hinterbein zerstört worden sind, so tritt der galvanische Krampf bei aufsteigender Durchströmung nur mehr auf der intakt gebliebenen rechten Seite auf,



Fig. 4. Ausbleiben des galvanischen Krampfes im rechten Hinterbein nach Zerstörung der rechten Hälfte der Lumbalanschwellung im Rückenmark durch ein Kurzwellen-Wärmeband (Zerstörungsstelle durch den weißen Kreis markiert). Der aufsteigende Gleichstrom muß daher den Streckkrampf durch unmittelbare Wirkung auf das Zentralnervensystem (nicht auf die peripheren Nerven oder Muskeln) hervorbringen (KÖLLENSPERGER und SCHEMINZKY³).

¹ Vgl. hierzu die Übersicht bei F. SCHEMINZKY, Naturwiss. 31, 288, (1943).

² R. HELLER, Z. exper. Med. 83, 299 (1932). - W. ALBRECHT, Z. exper. Med. 93, 816 (1934). - F. SCHEMINZKY, Sitzber. biophys. Ges. Kurzwellenforsch. 1, 8 (1935). - F. K. KÖLLENSPERGER und F. SCHEMINZKY, Pflügers Arch. 241, 38 (1938).

³ F. K. KÖLLENSPERGER und F. SCHEMINZKY, Pflügers Arch. 241, 38 (1938).

¹ L. Hermann, Pflügers Arch. 37, 457 (1885).

² F. K. KÖLLENSPERGER und F. SCHEMINZKY, Pflügers Arch. 241, 38 (1938).

³ E. BLASIUS und F. SCHWEIZER, Pflügers Arch. 53, 527 (1893).

was beweist, daß der Strom zentral und nicht etwa an den peripheren Nerven oder Muskeln angreift.

Daß bei der Galvanonarkose eine echte, mit der Pharmakonarkose wohl vergleichbare Lähmung vorliegt, ergab sich aus Versuchen mit Kombination zentral angreifender chemischer Stoffe und galvanischer Durchströmung. Die Wirkung des absteigenden galvanischen Stromes addiert sich ganz sinngemäß mit der Wirkung der beim Frosch in den Rückenlymphsack eingespritzten Hypnotika oder Narkotika, während sie sich zur Wirkung von Exzitanzen antagonistisch verhält. Umgekehrt aber wieder wird ganz sinngemäß die erregende Wirkung des aufsteigenden Stromes, d. h. das Auftreten des galvanischen Krampfes, durch Exzitanzen erleichtert, durch zentral-dämpfende Mittel erschwert. Diese Befunde ließen sich zu einem neuen quantitativen Verfahren ausbauen, mit welchem kurvenmäßig der Wirkungsverlauf, die Wirkungstiefe und die Wirkungsdauer der die zentrale Erregbarkeit beeinflussenden Pharmaka verfolgt werden können. Bei diesem sogenannten «Stromdosisverfahren»¹ am Frosch wird fortlaufend in z. B. 10-min-Abständen die Schwellenstromdosis für die Galvanonarkose oder den galvanischen Krampf am gleichen Tier bestimmt und dazwischen der zu prüfende Stoff in an sich noch unwirksamer Dosis in den Rückenlymphsack injiziert. Während ohne Zusatzinjektion die Stromdosiswerte in den aufeinanderfolgenden Bestimmungen bloß um $\pm 5\%$ schwanken, sinken sie z. B. für die Galvanonarkose nach Einspritzung eines zentral-lähmenden Mittels ab, durchlaufen ein Minimum, um dann mit der Zerstörung oder Ausscheidung des Stoffes wieder allmählich zum Ausgangswert anzusteigen. Fig. 5 gibt drei verschiedene solcher Stromdosiskurven und eine Kontrollkurve wieder. Es ist einleuchtend, daß aus solchen Kurven Vergleichszahlen für die Wirkungs- dauer und Wirkungstiefe des untersuchten Mittels gewonnen werden können. Ebenso ist auch die Prüfung mittels des galvanischen Krampfes möglich; mit Galvanonarkose und galvanischem Krampf lassen sich ferner auch die Wirkungskurven für Exzitanzen aufnehmen oder das Zusammenspiel zentral-lähmender und zentral-erregender Pharmaka verfolgen. Wenn man von der Prüfung zentral-erregender Pharmaka mit besonderer Wirkung auf phylogenetisch jüngere Bildungen (z. B. auf das Großhirn) absieht, so ist eine Übertragung der im Froschversuch gewonnenen Ergebnisse auch auf den Menschen durchaus möglich und die z. B. für Narkotika erhobenen Zahlen entsprechen auch den Erfahrungen der Chirurgen; niedere Wirbeltiere werden ja auch sonst in der Humanmedizin als Testobjekte herangezogen, es sei nur an die Digitalis-

auswertung am Froschherzen oder an die Schwangerschaftsdiagnose mit dem *Xenopus*-Weibchen, einem afrikanischen Frosch, erinnert.

Die entgegengesetzte Wirkung der beiden Stromrichtungen auf die zentrale Erregbarkeit läßt sich auch sehr hübsch mit dem «Reizverfahren» nachweisen¹. Bei diesem werden durch elektrische Reize auf das Rückenmark der Versuchstiere oder durch rhyth-

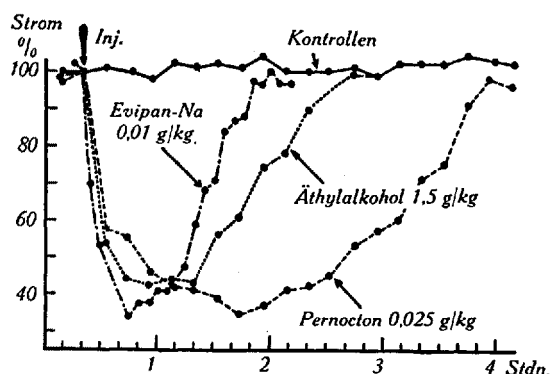


Fig. 5. Stromdosiskurven für drei Narkotika mit verschieden langer Wirkungs- dauer in biologisch gleichwertiger Dosierung (halbe Dosis efficax minima), aufgenommen mittels der Galvanonarkose. Ordina- tenachse: Schwellenstromdosis in Prozenten des Ausgangswertes; Abszissenachse: Zeit in Stunden. Die unbeeinflussten Kontrolltiere zeigen nur Stromdosischwankungen von $\pm 5\%$; die Stromdosis- kurven für die einzelnen Pharmaka sinken vorerst, durchlaufen ein Minimum und steigen nach jeweils verschieden langer Zeit wieder zum Ausgangswert an. Die Stromdosiskurven stellen eine Wirkungs- kurve des Pharmakons dar (SCHEMINZKY², nach Versuchen von ADLER und HRADECKY).

mische (elektrische oder mechanische) Reflexauslösung Bewegungen der Arme und Beine hervorgebracht, die man z. B. von einem Hinterbein aus auf einem Kymo- graphion, einer sich drehenden, mit berußtem Papier überzogenen Metalltrommel, aufzeichnen kann; wäh- rend der Reizung wird das Zentralnervensystem ab- steigend oder aufsteigend längs durchströmt; die Aus- schlagshöhe der Beinbewegungen dient dann als Maß für die zentrale Erregbarkeit. Fig. 6 zeigt als Beispiel die Wirkung des absteigenden Stromes beim Frosch, welcher zunächst in der Phase B eine Erregbarkeits- steigerung analog dem Exzitationsstadium der Phar- makonarkose herbeiführt; dieses Exzitationsstadium verschwindet aber sehr schnell und macht in der Ver- suchsphase C einer echten Lähmung (Galvanonarkose) Platz, in welcher die dem Zentralnervensystem zu- fließenden Reize wirkungslos bleiben. Umgekehrt würde eine aufsteigende Durchströmung die zentrale Erregbarkeit steigern und damit zur Vergrößerung der aufgezeichneten Beinbewegungen führen. ONIMUS und LEGROS³ haben die gleiche Wirkung des ab- und auf-

¹ F. SCHEMINZKY, Pflügers Arch. 202, 200 (1924). – P. ADLER, Pflügers Arch. 230, 113 (1932). – H. KRAUS und W. REIFFENSTUHL, Pflügers Arch. 233, 380 (1933). – P. ADLER und CL. HRADECKY, Naunyn-Schmiedeberg's Arch. 181, 451 (1936) und Schweiz. med. Wschr. 384 (1938). – F. SCHEMINZKY, Pflügers Arch. 243, 439 (1940).

² F. SCHEMINZKY, O. HOCHSTÄDT und P. ADLER, Pflügers Arch. 237, 284 (1936).

³ FE. u. FR. SCHEMINZKY und F. BUKATSCH, Tabulae biologi- cae 19 (1941).

⁴ L. ONIMUS und CH. LEGROS, Traité d'électricité médicale. Paris 1888.

steigenden Stromes auch beim Hund nachgewiesen und HOLZER und SCHEMINZKY¹ zeigten die gleichen Gesetzmäßigkeiten auch für das *menschliche* Rückenmark. In Fig. 7 ist im Menschenversuch die Lähmung des Rückenmarkes durch den *absteigenden* Strom in der Versuchsphase C deutlich zu erkennen, aber auch die erregbarkeitssteigernde Wirkung eines *aufsteigenden*

tralnervensystem zugrunde; zu diesen müssen aber noch bestimmte morphologische Eigentümlichkeiten im Zentralnervensystem hinzukommen, ohne welche die beiden Arten der Gleichstromwirkung nicht verständlich wären. Im Gegensatz zum geschilderten Versuch am ausgeschnittenen Nerven ist die Stromeintritts- und -austrittsstelle am Tierkörper nicht zugleich auch der Ort der physiologischen Stromwirkungen; diese kommen vielmehr an den einzelnen Ganglienzellen zustande und es können dort nur die sogenannten «physiologischen» Elektroden maßgeblich sein, worunter man die Stromeintritts- und -austrittsstellen an den *innenliegenden*, erregbaren Gewebelementen versteht. Wenn diese nun je nach der Stromrichtung in ihrer Funktion entgegengesetzt beeinflusst werden, so kann es offenbar nicht gleichgültig sein, an welcher Stelle der Nervenzelle jeweils die katelektrotonische bzw. anelektrotonische Zone zu liegen kommt; die einzelnen Zellen müßten *ungleichwertige* Zellpole besitzen. Bei den Nervenzellen ist diese Voraussetzung dadurch gegeben, daß ein Zellpol sich als Ursprungskegel des austretenden Neuriten besonders auszeichnet; es wäre ohne weiteres vorstellbar, daß das Ausfließen der Erregungen aus den Ganglienzellen

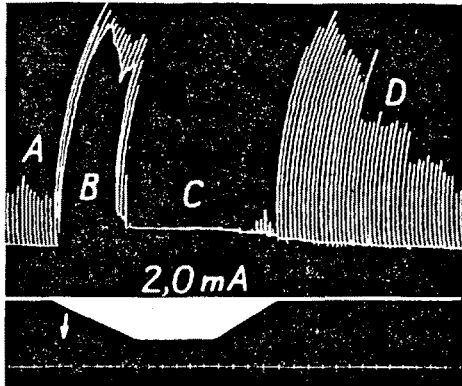


Fig. 6. Verhalten der direkten Rückenmarkserregbarkeit beim Frosch – ausgedrückt durch die Größe der in der obersten Zeile aufgezeichneten Ausschläge eines Hinterbeines als Folge rhythmischer Rückenmarksreizung – vor, während und nach einer *absteigenden* galvanischen Längsdurchströmung des Tieres. Mittlere Zeile: Anzeige von Durchströmungsbeginn und Durchströmungsdauer (die Neigung der Trapezseiten entspricht dem Verlauf des Stromes beim Ein- und Ausschalten). Unterste Zeile: Zeitmarken in 3-sec-Intervallen. Versuchsverlauf: A Reizung allein; B Exzitationsstadium; C Galvanonarkose des Rückenmarkes; D Reizung allein (auf die Galvanonarkose folgt stets eine positive Nachwirkung [Erregbarkeitssteigerung], auf die im Text nicht eingegangen werden konnte) (SCHEMINZKY, FUORTES und KÖLLENSERGER²).

Stromes in der Versuchsphase F. Unsere Ergebnisse wurden im übrigen im Reflexversuch am Frosch inzwischen auch von M. und L. LAPICQUE³ vollkommen bestätigt.

V.

Es ist naheliegend, zur Erklärung der gegensätzlichen Wirkungen des galvanischen Stromes auf das Zentralnervensystem je nach seiner Richtung an die seit den klassischen Untersuchungen PFLÜGERS⁴ bekannten *elektrotonischen Erscheinungen* zu denken, welche sich u. a. auch in polaren Änderungen der Erregbarkeit äußern. Wird beispielsweise ein ausgeschnittener Nerv galvanisch durchströmt, so entwickelt sich unter der Kathode eine *Erregbarkeitssteigerung* (Katelektrotonus), während sich unter der Anode eine *Erregbarkeitsverminderung* bis völlige Leitungsbrechung (Anelektrotonus) ausbildet. Zweifellos liegen auch der Galvanonarkose und dem galvanischen Krampf solche elektrotonische Erscheinungen im Zen-

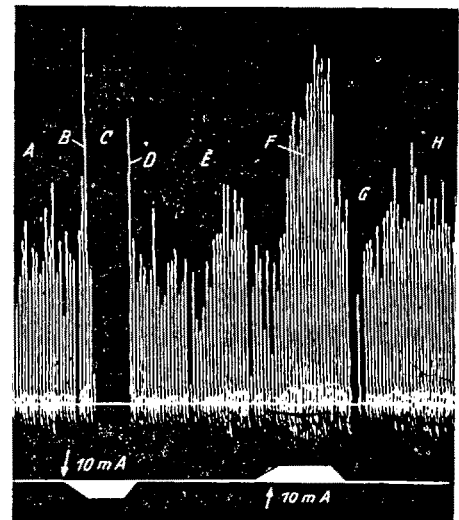


Fig. 7. Verhalten der Reflexerregbarkeit des Rückenmarkes beim Menschen – ausgedrückt durch die Größe der in der oberen Zeile aufgezeichneten Ausschläge eines Fußes als Folge rhythmisch-mechanischer Auslösung des Kniesehenreflexes – vor, während und nach *absteigender* bzw. *aufsteigender* galvanischer Längsdurchströmung des Körpers. Untere Zeile: Verlauf des galvanischen Stromes wie in Fig. 6. Versuchsverlauf: A Ausschläge des unbbeeinflussten Reflexes; B kurzes Exzitationsstadium am Beginn der *absteigenden* Durchströmung; C Verschwinden des Reflexes (Galvanonarkose des Rückenmarkes); D positive Nachwirkung der Durchströmung; E Ausschläge des unbbeeinflussten Reflexes; F Verstärkung des Reflexes während *aufsteigender* Durchströmung als Folge der Erregbarkeitssteigerung; G negative Nachwirkung der *aufsteigenden* Durchströmung (analog der Betäubung nach frequenter Reizung des Zentralnervensystems wie in Fig. 2); H Ausschläge des unbbeeinflussten Reflexes (HOLZER und SCHEMINZKY¹).

¹ W. HOLZER und F. SCHEMINZKY, Z. Biol. 101, 101 (1943).

² F. SCHEMINZKY, M. G. FUORTES und F. K. KÖLLENSERGER, Pflügers Arch. 242, 126 (1939).

³ M. u. L. LAPICQUE, C. r. Soc. Biol. Paris 130, 1054 (1939).

⁴ E. PFLÜGER, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859.

¹ W. HOLZER und F. SCHEMINZKY, Z. Biol. 101, 101 (1943).

durch die eine Art des Elektrotonus behindert wird (Galvanonarkose), während die andere Art des Elektrotonus den Erregungsübertritt in den Neuriten begünstigt (galvanischer Krampf). Da aber wieder die geschilderten Stromwirkungen an die Längsdurchströmung gebunden sind – bei *Querdurchströmungen* treten sie *nicht* ein – und Lähmung nur bei *absteigender*, Erregbarkeitssteigerung bzw. Krampf nur bei *aufsteigender* Stromrichtung beobachtet werden, so muß weiters auch eine *bestimmte Orientierung* der vom Strom beeinflussten Nervenzellen vorhanden sein; denn nur dann würde der jeweils maßgebliche Elektrotonus auch wirklich im Bereich des Ursprungskegels zu liegen kommen. Das Ergebnis der elektrophysiologischen Untersuchung des Zentralnervensystems mit dem galvanischen Strom muß daher einen *bestimmten Feinbau* zumindest im Rückenmark voraussetzen, der aus einer geordneten Aufeinanderfolge morphologisch polarisierter Elemente besteht. Da ein solcher anatomisch noch nicht nachgewiesen ist, wurde diese hypothetische Eigenschaft des Zentralnervensystems vom Verfasser vorläufig als «funktionelle Polarität des Rückenmarkes» bezeichnet¹.

VI.

Das letzte Ziel aller der vielfältigen Untersuchungen über elektrische Betäubung und elektrische Narkose, nämlich die Schaffung eines für Operationszwecke brauchbaren physikalischen, leicht steuerbaren Narkoseverfahrens, ist bis heute allerdings nicht erreicht worden; trotzdem haben Praxis und Theorie aus den einschlägigen Arbeiten reichen Gewinn buchen können. Die Anwendung frequenter Stromstöße hat zu einem wertvollen Betäubungsverfahren für Schlachttiere geführt und eine wirkungsvolle Therapie für Geistes-

¹ F. SCHEMINZKY, Pflügers Archiv 243, 439 (1940). – FR. u. FE. SCHEMINZKY, Riv. Biol. 31, 231 (1941). – F. SCHEMINZKY, Naturwissenschaften 31, 288 (1943).

krankheiten, die Elektroschockbehandlung, erstehen lassen; die Untersuchungen über die Wirkung des galvanischen Stromes ermöglichten die Entwicklung einer neuartigen Methode zur kurvenmäßigen Verfolgung des Wirkungsverlaufes zentral angreifender Pharmaka, das Stromdosisverfahren, und haben fundamentale Fragen nach der morphologischen Struktur des Zentralnervensystems zur Diskussion gestellt.

Summary

Electrical "narcosis" is produced both by repeated shocks (sinoidal alternating current, make—and—break shocks, rectangular shocks of a continuous current) and by constant galvanic current, when the current is allowed to flow through the central nervous system of mammals or men; in the case of the constant galvanic current the effect depends also on the *direction* of the current in the body. The analysis of the current-effects shows that repeated shocks *never* produce a paralyzing effect similar to chemical narcosis and that the paralysis is caused only by the preceding maximal irritation of the central nervous system (demonstrated by the general muscular spasms). On the contrary a *real narcosis* is brought out by a constant galvanic current, which *descends* through the spinal cord of a mammal or a man; this effect is obtained without muscular spasms and is equivalent to the effect of chemical narcotics. An *ascending* galvanic current increases the central excitability and produces general muscular spasms, which are facilitated by analeptics and depressed by narcotics. This contrary variation of the central nervous systems's function, depending on the direction of the galvanic current, is only possible if there is a special micro-structure in the spinal cord of mammalians and men. We have not succeeded as yet in producing a physically easily variable narcosis by electrical methods, but many things of practical importance have been accomplished: the electrical stunning of cattle in the slaughter-houses, the electrical convulsant therapy of psychoses in humans, a new method for testing the effects, in respect to duration and depth, of drugs that stimulate or depress the nervous centers, a proof for the existence of special micro-structure in the central nervous system.

Die Biochemie der Chinone

Von OTTO HOFFMANN-OSTENHOF, Wien

II.

(Schluß)

Biochemische und pharmakologische Wirkungen der Chinone

Wir haben uns bisher bei der Besprechung der einzelnen Chinonderivate meist nur mit der spezifischen physiologischen Wirkung der einzelnen Stoffe beschäftigt. Außerdem gibt es aber noch allgemeinere biochemische und pharmakologische Wirkungen, die einer großen Anzahl von Chinonen gemeinsam sind.

Die Eiweißwirkungen der Chinone

Die Chinone haben gegenüber Eiweißstoffen eine gerbende Wirkung, die mit derjenigen des Formal-

dehyds verglichen werden kann. In der Industrie macht man von dieser Eigenschaft des *p*-Benzochinons zur Gerbung spezieller Ledersorten Gebrauch. Zu einer größeren Verwendung von Chinon ist es allerdings noch nicht gekommen, da der hohe Preis einen ausgiebigeren Gebrauch verbietet. Meist wird die Chinongerbung in Kombination mit anderen Gerbstoffen vorgenommen¹.

Die gerbende Wirkung des Chinons dürfte auf Grund von Modellversuchen zwei verschiedene nacheinander

¹ Vgl. zu diesem Absatz O. GERNGROSS im Handbuch der Gerbereichemie (Herausgeber W. Graßmann), Wien 1939, II/2, und zwar S. 384 ff.