

# Über elektrische Hautreizung.

Von  
**U. Ebbecke.**

(Aus dem Physiologischen Institut in Göttingen.)

(Eingegangen am 13. März 1922.)

Wenn ein elektrischer Strom durch lebendes Gewebe fließt, ergeben sich chemische, physikalische und biologische Änderungen, elektrolytische Erscheinungen, thermische und kataphoretische Erscheinungen und Reizerscheinungen. Das Ziel, das dem Physiologen vorschwebt, die letzte Gruppe der Erscheinungen auf die beiden anderen möglichst zurückzuführen, ist noch weit entfernt, zumal die primäre Wirkung des elektrischen Stroms schwer von den sich weiter anschließenden, nur ausgelösten Vorgängen zu trennen ist. Doch ist ein wichtiger Fortschritt der neueren Forschung die Erkenntnis, daß als wesentliches Moment die Zwischenschaltung von Membranen in den Stromweg die elektrischen Wirkungen im lebenden Gewebe charakterisiert. Ist doch der Organismus, ja, jede einzelne Zelle ein heterogenes Gemisch von Substanzen mit ungleichem Gerüstbau und ungleichartiger Flüssigkeit. Nachdem *Ostwald* auf den Einfluß der Niederschlagsmembranen beim Durchgang eines elektrischen Stromes aufmerksam gemacht hatte, hat sich die Betrachtung dieses Membraneinflusses nach manchen Richtungen hin als fruchtbar erwiesen. Es sei an die Theorie der elektrischen Reizung von *Nernst* und die neuerdings von *Bethe* aufgestellte Erregungstheorie, an die Aktions- und Ruhestromtheorie von *Bernstein* und *Höber* und an die Untersuchungen von *Loeb* und *Beutner* erinnert. So wie beim Durchgang des elektrischen Stromes durch poröse Wände oder durch wasserunmischbare Flüssigkeitsschichten Konzentrationsänderungen entstehen, so müssen umgekehrt Konzentrationsänderungen, die aus anderen Gründen entstanden sind, oder Änderungen in der Beschaffenheit der Membran zum Auftreten elektrischer Potentialdifferenzen führen. Eine Aufklärung der mannigfachen verwickelten Erscheinungen wird von der physikalisch-chemischen Seite durch Modellversuche zu erfolgen haben. Doch auch von der entgegengesetzten Seite her wird die Forschung sich bemühen, die durch den elektrischen Strom hervorgerufenen physiologischen Erscheinungen bis ins einzelne zu verfolgen.

Hier fehlt, im Gegensatz zu den zahlreichen Arbeiten, die sich mit der elektrischen Reizung von Muskeln, Nerven und Sinnesorganen

und der Verschiedenheit von Anoden- und Kathodenwirkung beschäftigen, eine physiologische Untersuchung der elektrischen Hautreizung noch so gut wie ganz. Man weiß, daß beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper Hautrötungen oder auch Schwellungen und Ätzungen entstehen können; näher darauf einzugehen, fehlte die Veranlassung, solange man das Wesentliche in der Reizung sensibler oder vasomotorischer Hautnerven erblickte und das übrige als pathologische Hautschädigung unbeachtet ließ. Nun kann man sich aber auf den Standpunkt stellen, daß neben der Nervenreizung auch eine Reizung der Haut selbst, genauer des Epidermisepithels, in Betracht kommt, die kennenzulernen nicht unwichtig wäre. Diesen Standpunkt, zu welchem mich vorhergehende Arbeiten über „die lokale vasomotorische Reaktion“<sup>1)</sup> und über „die lokale galvanische Reaktion“<sup>2)</sup> geführt haben, vertritt die folgende Arbeit, die meinem verehrten Lehrer *Franz Hofmeister* zu seinem 70. Geburtstag in Dankbarkeit gewidmet ist.

Die Untersuchung der elektrischen Hautreizung kann an drei Gruppen von Symptomen anknüpfen, an die Reizerscheinungen, die subjektiv durch Aussagen der Versuchsperson feststellbar sind, an die Erscheinungen, die sich als Änderungen der Hautbeschaffenheit dem Auge des Beobachters darbieten, und an die eigenartigen Änderungen des elektrischen Widerstandes, die sich während und nach Stromdurchgang herausstellen und, seit langer Zeit der elektrodiagnostischen und elektrotherapeutischen Praxis auffällig, in ihrer Deutung noch immer Gegenstand der Diskussion sind. Alle drei Gruppen von Symptomen müssen gleichmäßig berücksichtigt und nach Möglichkeit miteinander verknüpft werden.

*Methode.* Zunächst ist eine für die Haut passende Reizmethode zu wählen. Der faradische Strom hat eine starke Reizwirkung auf die Hautnerven, was sich in allerlei Sensationen äußert und bis zu lebhaften Schmerzen und ausgebreiteter reflektorischer Hautrötung führen kann; dagegen ist, wie sich herausstellt, seine direkte Reizwirkung auf die Haut gering. Daher kommt hier der konstante galvanische Strom zur Verwendung. Mit Hilfe eines Schieberreostaten, der als Potentiometer geschaltet ist, wird von einer Stromquelle (Akkumulatoren oder städtische Leitung) eine beliebig zu variierende, am Voltmeter abgelesene Spannung abgezweigt und durch den menschlichen Körper geleitet. Der den Menschen durchfließende Strom wird durch ein genügend empfindliches Zeigergalvanometer (Milliampèremeter und Mikroampèremeter) gemessen.

Als *Elektroden* geben die üblichen unwickelten befeuchteten Metallscheiben Fehlerquellen durch den Einfluß der Polarisation und des mechanischen Druckes. Durch die Polarisation und Elektrolyse kann, außer einer Beeinflussung der

<sup>1)</sup> Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **169**, 1—81. 1917.

<sup>2)</sup> Ebenda **190**, 230—269. 1921.

Elektroden und der Stromstärke, die die Elektroden durchtränkende Flüssigkeit ins Saure oder Alkalische verändert werden und nun ihrerseits chemisch auf die Haut einwirken. Durch den Druck wird, da die Elektrodenplatten zwecks guten Kontakts fest der Haut anliegen müssen, die Haut auch ohne Strom schon gereizt und gerötet und die elektrische Reizwirkung überdeckt. Beides vermeiden die Gelatineelektroden, bei denen der durch einen Korkstopfen gebohrte amalgamierte Zinkstab eintaucht in ein Glasrohr, das mit Zinksulfatgelatine ausgegossen und an seinem unteren Ende mit Schweinsblase zugebunden ist. Bewahrt man die Elektroden in physiologischer Kochsalzlösung auf, so wird durch Diffusion das Zinksulfat im unteren Abschnitt der Röhre durch Kochsalzlösung ersetzt und durch leichte Quellung der Gelatine die Schweinsblase so weit vorgebuchtet, daß sie sich beim Aufsetzen der Elektroden sanft und gleichmäßig der Haut anlegt. Am vorteilhaftesten für die meisten Zwecke erwies sich mir der Gebrauch von „freien Flüssigkeitselektroden“, die ich den im kleinsten Maßstab für Reizung isolierter Nerven zuerst von *H. Munk*<sup>1)</sup> angewendeten Flüssigkeitselektroden nachbildete. Spannt man eine Glasröhre von etwa 6 cm Länge und 1–3 cm Durchmesser in ein Stativ, das in mehreren Gelenken verstellbar ist, und sorgt dafür, daß der Hebelarm, welcher die Röhre hält, frei von oben nach unten beweglich und mit konstantem Druck belastet ist, so kann man die Röhre auf die daruntergelegte Fläche etwa des Vorderarmes herabsinken lassen; sie schließt dann mit abgerundeten Rändern auf der elastisch nachgiebigen Haut so fest an, daß sich ohne weiteres Flüssigkeit von oben in die Röhre einfüllen läßt, ohne auszulaufen. Durch die obere Öffnung taucht als Stromzuleitung ein zweites kleineres Glasröhrchen, das die Zinksulfatgelatine und den Zinkstab enthält. Zum Entleeren der Flüssigkeit wird ein Becherglas dicht an den unteren Rand der Röhre gehalten und die Haut an einer Stelle leicht herabgedrückt. Auf diese Weise ist während der Durchströmung eine kreisförmige Hautfläche von einer beliebig zu wählenden und auszuwechselnden Flüssigkeit mit gutem Kontakt und ohne Druck bespült; die Umgrenzung des durchströmten Bezirkes markiert ein schmaler Druckring. Die Einrichtung hat den Vorzug der Einfachheit und Sauberkeit, wenn es sich darum handelt, viele Versuchspersonen zu untersuchen, die Haut reichlich und gleichmäßig befeuchtet zu halten und den Einfluß der Elektrodenflüssigkeit zu berücksichtigen. Für manche Zwecke schließlich tauchte in bekannter Weise die eine Hand in ein weites Gefäß mit Salzlösung, dem der Strom durch ein großes Zinkblech zugeführt wurde. Als Versuchspersonen dienten außer Patienten der medizinischen Klinik vorwiegend Studenten, denen ich für ihre bereitwillige Hilfe sehr zu Dank verpflichtet bin.

### 1. Reizempfindung.

Von den Reizsymptomen seien als erste Gruppe die aus dem subjektiven Indikator der Reizempfindung beurteilten Stromwirkungen geschildert. Zur Reizung werden zwei gleichartige mit Kochsalz- oder Ringerlösung gefüllte Flüssigkeitselektroden von 1,3 cm innerem Durchmesser auf die Innenseite des rechten und des linken Unterarms aufgesetzt. Schickt man nun Strom hindurch, so ist selbst bei Stromstärken, die schon mit dem Milliampereometer meßbar sind, von einer Schließungs- oder Öffnungswirkung nichts zu spüren. Erst wenn der Strom eine, individuell wechselnde, Schwelle erreicht hat, die bei dieser

<sup>1)</sup> *H. Munk*, Untersuchungen über das Wesen der Nervenerregung. Leipzig 1868, S. 384.

Stromdichte gewöhnlich zwischen 0,2 und 0,4 M. A. liegt, kommt es bei Stromschluß zu der Empfindung eines kurzen, dumpfen, ganz leichten Schlages, der bei stärkerem Strom deutlicher wird und meist als Ruck oder Zuck bezeichnet wird. Muskelkontraktionen pflegen dabei nicht aufzutreten. Der Schlag wird an der Kathode lokalisiert, also beispielsweise nur am linken Arm empfunden, und überschreitet nicht merklich den Bereich der Elektrodenstelle. Bei einer erheblich größeren Stromstärke, etwa 1 M. A., tritt an der Anode eine Öffnungsempfindung auf, die deutlich schwächer ist als die Schließungsempfindung und meist nicht als Schlag, sondern als leiser Stich oder Pik angegeben wird. Oberhalb dieser Schwelle, oft aber auch schon unterhalb, kommt es auch an der Anode beim Schließen zu einer leichten Empfindung, welche das Vorhandensein von „physiologischen Kathoden“ unter der physikalischen Anode anzeigt.

Unter Umständen kommen hinzu Empfindungen, die von der Elektrodenstelle auszustrahlen scheinen oder entfernt distal von ihr lokalisiert werden. Das ist bei hohen unangenehmen Stromstärken der Fall und bei niedrigeren dann, wenn die Elektrode über oder nahe an einem Hautnervenstamm gelegen ist. Auch hier folgt, solange die Stromstärke nahe der Reizschwelle ist, nur im Augenblick des Schließens eine Empfindung, bei höheren Stromstärken stellt sich ein Vibrieren und Kribbeln ein, das bei geschlossenem Strom einige Zeit anhält und sich dann in ein dumpfes, gleichsam rheumatisches „Nervenziehen“ abschwächt und sich verliert. Je stärker der Strom, um so lebhafter und längerdauernd wird das Nervenschwirren, das den durch Nerven- druck, etwa beim „Einschlafen“ eines Gliedes, auftretenden Par- aesthesien vergleichbar ist. Bei Stromöffnen wird das Gefühl, das nur an der Kathode bestand, sofort und ohne Nachwirkung unterbrochen.

Soweit liefern die Beobachtungen nichts, was nicht mit dem bekannten *Pflügerschen* Zuckungsgesetz übereinstimmte: Schließungswirkung an der Kathode, Öffnungswirkung an der Anode, schwächere, vielleicht auch qualitativ nicht ganz gleiche, Wirkung an der Anode als an der Kathode. Das Nervenschwirren gibt ein Gegenstück zu dem motorischen, unregelmäßigen „Schließungstetanus“. Die Übereinstimmung erlaubt, die *Pflügersche* Regel in recht einfacher Weise und nicht weniger eindringlich als am üblichen Nervmuskelpreparat zu demonstrieren, und zeigt den Wert des subjektiven Indikators, der bei beobachtungs- geübten und vor Suggestion geschützten Versuchspersonen<sup>1)</sup> ebenso genaue Resultate gibt wie andere, objektive Reizsymptome. Ersicht-

<sup>1)</sup> Freilich ist es leicht, bei ungeübten Versuchspersonen, die mit gespannter Erwartung und leiser Besorgnis an die ungewohnte elektrische Apparatur herantreten, durch scheinbares Schließen und Öffnen (Umlegen eines Schlüssels) die bestimmtesten Angaben über Reizempfindungen zu erhalten, obgleich in der ganzen Zeit kein Strom geflossen war.

lich handelt es sich sowohl bei den an der Elektrode lokalisierten als auch bei den hier unterschiedenen und für Schwellenbestimmungen streng zu trennenden, in die Umgebung projizierten Reizempfindungen um Reizung sensibler Nerven, nur daß es im einen Fall die in der Haut liegenden Nervenendigungen, im anderen Fall die unter der Haut verlaufenden Nervenäste sind, die gereizt wurden.

Freilich ist in der Beschreibung bisher eine Art von Empfindungen ausgelassen, auf deren Analyse es uns besonders ankommt und die nun den bekannten Nervenreizwirkungen gegenübergestellt werden können. *Schon bei Stromstärken, die weder beim Schließen noch beim Öffnen einen unmittelbaren Erfolg geben, stellt sich, nachdem der Strom einige Zeit geflossen ist, ein leises, eben merkliches, mit der Dauer des Stromes deutlicher werdendes Jucken oder Prickeln ein, das ganz auf die direkt gereizte Fläche unter der Elektrode beschränkt ist.* Es tritt sowohl an der Kathode als auch, unter Umständen einige Zeit später, an der Anode auf, ist bald an der Anode, bald an der Kathode stärker, wobei unter anderm die Beschaffenheit der Elektrodenflüssigkeit von Einfluß ist; es schwankt stark in seiner Intensität, steigert sich zunächst und kann bei langer Stromdauer zeitweilig mit einer Art Gewöhnung ganz gering werden, um darnach ohne ersichtlichen Grund anzuschwellen. Wenn es sich verstärkt, geht es in ein Gefühl von leichtem Brennen über. Die höheren Grade werden als „Brennen“ oder „Beißen“ empfunden. Diese letzten unangenehm schmerzenden Empfindungen bei größeren Stromstärken sind allbekannt und pflegen als Beispiel dafür zu gelten, daß der elektrische Strom die motorischen Nerven beim Entstehen und Vergehen, die sensibeln aber auch während seiner Dauer errege; die anfänglichen Empfindungen des leichten Juckens und Prickelns sind, so oft sie auch vermutlich schon beobachtet sein mögen, unbeachtet geblieben. Aber gerade sie sind für uns besonders wichtig, da sie mit ihrer langen Latenz, ihrem Auftreten auch an der Anode und ihrer Zunahme bei Stromdauer den Gegensatz zum *Pflüger*-schen Gesetz am deutlichsten zeigen. Dadurch, daß sich die leichten Grade der Juckempfindung mit allen Übergängen allmählich bis zum schmerzhaften Brennen steigern lassen, ist die Zusammengehörigkeit dieser Art von Empfindungen ohne Zweifel. Der Gegensatz zu den Nervenreizwirkungen wird noch verschärft, wenn man als Elektrodenflüssigkeit verdünnte Säure, etwa 1% Essigsäure oder  $\frac{1}{100}$  Schwefelsäure, wählt; dann tritt das Prickeln fast oder ganz ausschließlich an der Anode auf. Man könnte für diese Juckempfindung von einer Umkehrung des Erregungsgesetzes durch Säurewirkung sprechen, sieht aber, wenn man die Nervenreizschwelle überschreitet, daß für die sensibeln Nerven im Augenblick des Stromschließens nach wie vor die Kathode der erregende Pol ist.

Auch bei dieser Art von Empfindungen muß es sich ja um Reizung sensibler Nervenendigungen handeln, doch legen es die beobachteten Tatsachen nahe, die Nervenwirkung hierbei nur als den mittelbaren Ausdruck einer andersartigen primären Wirkung anzusehen. Die ausgesprochene Summation, die in der langen Latenz und der Zunahme bei Stromdauer zum Vorschein kommt, läßt chemische Produkte, die sich beim Stromdurchgang anhäufen, als erregendes Agens vermuten. Vor einer endgültigen Deutung sind die beiden anderen Symptomgruppen, sichtbare Hautänderungen und elektrische Widerstandsänderungen, zu untersuchen.

Doch sei schon hier die, später noch weiter begründete, Auffassung ausgesprochen, daß es sich bei den während der Stromdauer bestehenden Reizempfindungen der Haut, die sich je nach der Stromstärke in Jucken und Prickeln oder Brennen und Beißen äußern, um eine *Reizung der Hautepidermis* selbst handelt, welche vom galvanischen Strom in erster Linie betroffen wird, in welcher der elektrische Widerstand hauptsächlich lokalisiert ist und an deren Zellmembranen elektrochemische Änderungen stattfinden. Wenn in unserer Analyse drei Arten von Reizempfindungen — Reizung von Nervenästen, Nervenendigungen und Epidermis — auseinandergehalten werden, so trägt das vielleicht auch klinisch zur Klärung der Sachlage bei. So beschränkt sich *Sahli* in seinem bekannten Lehrbuch der klinischen Untersuchungsmethoden bei der Prüfung der elektrischen Erregbarkeit im wesentlichen auf die motorischen Nerven und Muskeln und bemerkt von der elektrischen Methode der Sensibilitätsprüfung, daß „wir eigentlich nicht recht wissen, was wir mittels dieser Methode prüfen und die Methode physiologisch noch viel zu wenig ausgearbeitet ist“. Mit Hilfe der vorliegenden Analyse läßt sich die elektrische Sensibilitätsprüfung erneut in Angriff nehmen. Ferner ist es gewiß kein Zufall, daß gerade die Hautkrankheiten von Juckempfindungen als häufigstem und lästigem Symptom begleitet sind. Beispielsweise sagt *Unna*<sup>1)</sup>, daß der Dermatologe gern auf die Kenntnis der Tast- und Temperaturempfindungen verzichten würde, wenn ihm dafür die Physiologie der Juckempfindungen bekannt wäre. Ohne daß ich hier näher darauf eingehen kann, scheint mir doch der Hinweis von Wichtigkeit, daß die Juckempfindung als Symptom einer Gewebsreizung auftritt. Wie sonst Jucken oder Kribbeln durch leise, diskontinuierliche, bald hier, bald dort auftretende Hautberührungen, krabbelnde Tierchen, leichteste Nadelstiche und dergleichen zustande kommt, so kann die Juckempfindung auch durch einen inneren Hautreiz veranlaßt sein, indem auf die allmählich und gleichmäßig wirkende chemische Änderung bald diese, bald jene Zelle oder Zellgruppe in unregelmäßigem Wechsel stärker reagiert und die entsprechenden Nerven-

<sup>1)</sup> *Unna*, Zur feineren Anatomie der Haut. Berl. klin. Wochenschr. 1921.

endigungen in Mitleidenschaft gezogen werden. Ähnliche Verhältnisse mögen bei manchen Hauterkrankungen vorliegen.

Um die hier gegebene Analyse an einem unzerlegten Versuchsbeispiel zu veranschaulichen, sei ein Protokoll mitgeteilt.

A. Flüssigkeitselektroden mit Ringerlösung auf rechtem und linkem Unterarm. Vp. U. E. 10. IX. Durchströmung bei den verschiedenen Spannungen je eine Minute.

Volt	M. A.	Bemerkungen
10	0,01—0,03	Prickeln an der Kathode, nachher auch an der Anode angedeutet.
15	0,10—0,21	Prickeln erst gegen Schluß deutlicher. S. und Ö. nichts.
20	0,40—1,05	S. spürbar, Ö. auch, nur an Kathode bzw. Anode. Prickeln steigert sich zum leichten Brennen.
25	1,50—2,75	Nach $\frac{1}{2}$ Min. 2,3 M. A. S. stark mit einem in den ersten Sekunden lebhaften, durch den Unterarm gehenden Gefühl von Schwirren und Zittern, das nach 5—10 Sekunden einem dumpfen Ziehen Platz macht. Dies nur links (Kathode). Daneben rechts und links, aber von wechselnder Stärke an den direkten Reizstellen ein teilweise unangenehmes Brennen. Ö. an der Anode.
30	3,20—5,00	Schwirren bleibt auch während des dumpfen Ziehens ganz schwach spürbar. Brennen schmerzhaft an der Anode. Ö. verhältnismäßig schwach.
10	0,90—0,98	S. als schwacher Schlag, Ö. als leises Piken verspürt.
5	0,38—0,38	S. spürbar, Ö. nicht.
2,5	0,10—0,10	Nichts gespürt.

B. Flüssigkeitselektroden mit Ringerlösung auf rechter und linker Handinnenfläche.

Volt	M. A.	Bemerkungen
20	0,10—0,07	Nichts Deutliches.
25	0,15—0,15	Nichts Deutliches.
30	0,19—0,20	Vielleicht etwas Prickeln.
40	0,30—0,35	Prickeln an der Kathode während der Stromdauer jetzt deutlich. Ö. und S. nichts.
50	0,50—0,60	Prickeln an der Kathode beginnt 2—3 Sekunden nach Stromschluß. Nach längerem Stromfließen auch an der Anode leichtes Jucken.
60	0,65—0,80	Prickeln an der Anode beginnt nach 20 Sekunden. S. und Ö. nichts. Versuchspause bei unverändertem Aufliegen der Elektroden. Störung durch lebhaftes Gespräch.
60	0,90—1,00	S. als kleiner Zuck gespürt, Ö. nichts.
70	1,10—1,45	Prickeln stärker, Ö. nichts.
80	1,85—2,80	S. stark. Kathodenprickeln sofort. Anodenprickeln nach 10 Sekunden, dann allmählich an Kathode und Anode ziemlich gleichstarkes Brennen. Jetzt erst Ö. als schwacher Zuck gespürt.
90	3,20—4,10	Nach $\frac{1}{2}$ Minute 3,9 M. A. S. sehr stark, verbunden mit lebhaftem Nervenkrabbeln in der Spitze des linken Zeigefingers, was sich allmählich abschwächt. Das Brennen überwiegt allmählich an der Anode, nach dem Öffnen vielleicht für kurze Zeit ein Gefühl von Kühle.

Volt	M.-A.	Bemerkungen
100	ca. 5 M. A.	S. links, Ö. rechts. Wie bei 90 V., nur stärker. rasch steigend
20	0,38—0,38	Leichtes Prickeln. S. und Ö. nichts.

An dem mitgeteilten Versuchsbeispiel ist beim Vergleich von Handinnenfläche und Unterarm, außer dem später zu besprechenden Verhalten des elektrischen Widerstandes, der höhere Schwellenwert der Handfläche deutlich. Zugleich zeigt der Versuch, besonders die zufällige psychogalvanische Reaktion bei 60 Volt, daß für die Reizschwelle nicht die Spannung, sondern die Stromstärke maßgebend ist.

Als Nebenbeobachtung, die mehr für die Sinnesphysiologie in Betracht kommt, sei das von 3 meiner Versuchspersonen unabhängig voneinander und spontan angegebene, von mir niemals deutlich wahrgenommene Kältegefühl erwähnt, das zuweilen an der Anode nach Stromöffnen entsteht.

## 2. Sichtbare Hautänderungen.

Um den Unterschied der Hautwirkung von Anode und Kathode augenfälliger zu haben, kann man hier, wo eine Störung und Vermischung benachbarter Empfindungen nicht mehr schadet, die Flüssigkeitselektroden unweit voneinander der Haut desselben Unterarms aufsetzen. Schickt man nun den Strom hindurch, so läßt sich, ungestört durch die sonst überlagerte mechanische Reizung, die elektrisch bewirkte Hautrötung beobachten. Als erster Befund sei hervorgehoben, daß es für die Lebhaftigkeit und Dauer der Rötung nicht so sehr auf die Stromstärke ankommt — auch ein schwächerer aber genügend langdauernder Strom macht lebhaftere Reizröte —, als auf die Strommenge. Auch hier sind schon Stromstärken wirksam, die noch unterhalb der Nervenreizschwelle bleiben. Schon hierin zeigt sich die Verwandtschaft mit der zuletzt geschilderten Gruppe von Reizempfindungen. Sowohl Anode wie Kathode sind als hautrötender Reiz wirksam, zeigen aber bei näherer Betrachtung charakteristische Unterschiede. Bei Stromstärken über 0,5—1 M. A. sind unmittelbar nach dem Abheben der Elektroden leichte Unebenheiten der gereizten Flächen wahrnehmbar, die unter zunehmender Rötung schon innerhalb der ersten Minute zu verschwinden pflegen und nur dann rein für sich erscheinen, wenn die reaktive Röte durch Abschnüren des Blutstroms am untersuchten Arm verhindert wird. Innerhalb der blaß gebliebenen Reizkreise sind unter der Anode zahlreiche, etwa 15, winzige Hautvertiefungen entstanden, die wie mit der Stecknadelspitze eingedellt aussehen und, wenn sie größer ausfallen, genau kreisrund sind. Gegenüber unter der Kathode haben sich mehrere, meist etwa 10, blasse Höckerchen vorgebuchtet, die zum Teil den Haarfollikeln entsprechen. Auf den Befund möchte ich deswegen Wert legen, weil er die „*Kataphorese*“ oder „*Elektroendosmose*“, die Fortführung von Flüssigkeitsteilchen in der durchströmten Haut, auf einfache Weise demonstriert. Die von der Anode weg mit einem gewissen Druck transportierte Flüssigkeit hat

die Haut an einigen Stellen gleichsam eingezogen — man kann sich dabei an die zuerst von *E. Dubois-Reymond*<sup>1)</sup> beschriebene Anodenvürgung durchströmter Eiweißzylinder erinnern —, die zur Kathode hingetriebene Flüssigkeit hat die kleinen Hautstellen vorgewölbt. Während für die Anodeneinziehungen, soviel ich sehe, keine andere Deutung möglich ist, könnte man bei den Kathodenhöckern auch an eine Reizung glatter Hautmuskelfasern denken; doch sprechen die im weiteren Verlauf eintretenden reaktiven Änderungen gegen diese Möglichkeit.

Hat man den Versuch am normal durchbluteten Arm vorgenommen, so sind es gerade diese, zunächst passiv physikalisch veränderten Stellen, welche die stärkste Reaktion zeigen. Zwar wenn die Wirkung gering war, gleichen sich die Unebenheiten in der im ganzen geröteten Fläche nur rasch aus. War aber die Reizung stärker, so sieht man innerhalb der ersten Minuten nach Abheben der Elektroden die Kathodenhöcker sich etwas vergrößern und verbreitern, so daß sie, wenn sie zahlreich genug sind, miteinander konfluieren können und der ganze Kreis eine gleichmäßige leichte quaddelige Erhabenheit zeigt. Die Anodenvertiefungen umgeben sich mit schmalen Umwallungen, so daß sie aussehen wie kleine Krater, deren Mitte zuweilen durch ein austretendes Haar markiert ist<sup>2)</sup>. Später verschwindet die vertiefte Mitte. Unter Umständen können auch die Anodenhöcker verschmelzen, doch tritt die allgemeine Anodenquaddel erst bei recht schmerzhaften Reizstärken ein, die mit langdauernder Hautschädigung und Schorfbildung, ähnlich den Brand- oder Ätzschorfen, einhergehen. Bei schmerzhaften Reizen kommt zu den direkten Reizwirkungen noch eine diffuse, sich fleckig in die Umgebung verlierende Rötung hinzu, die rein reflektorisch bedingt ist, sich innerhalb weniger Minuten verliert und in ihrer Ausdehnung ein recht gutes objektives Maß für die Stärke der mit der Durchströmung verbundenen Schmerzempfindung abgibt. Die direkten Reizwirkungen aber halten sich längere Zeit und zeigen in ihrem weiteren Verlauf noch einige bemerkenswerte Eigentümlichkeiten. Sieht man ab von den mit Hautätzung verbundenen Reizgraden, so erscheint anfänglich nach Abheben der Elektroden die Kathodenwirkung ihrer Rötung und unter Umständen Quaddelbildung nach als die stärkere. Wartet man aber einige Zeit, so kehrt sich das Verhältnis um. Die Kathodenschwellung ist nach einer halben Stunde zurückgegangen und auch die Rötung etwa nach einer Stunde fast verschwunden, während zu dieser Zeit die Anodenstelle noch leb-

<sup>1)</sup> *E. Dubois-Reymond*, Monatsber. d. Akad. d. Berl. Wiss. 1860, S. 846—906.

<sup>2)</sup> Schon bei Untersuchung der lokalen vasomotorischen Reaktion hatten sich die Haarfollikel auch für mechanische Reizung als besonders empfindlich erwiesen („follikuläre Quaddelbildung“).

haft gerötet bleibt. Die geschwollene Kathodenstelle ist etwas unempfindlich, so daß spitz und stumpf verwechselt wird, die Anodenstelle ist gegen Berührung deutlich überempfindlich und gleichsam wund; recht charakteristisch ist die von einigen Versuchspersonen gemachte Bemerkung, daß hier die Wirkung eines kleinen Nadelstichs noch sekundenlang nachklingt. Hatte die Durchströmung nicht wie bei meinen meisten Versuchen nur wenige Minuten, sondern längere Zeit gedauert, beispielsweise eine halbe Stunde mit 22 Volt Spannung, wobei der Strom von 0,2—3,7 M. E. anstieg, so ist an der Kathodenstelle am nächsten Tage keine Änderung mehr zu sehen, während die Anodenrötung sich erst in einigen Tagen verliert. Selbst wenn die Wirkung scheinbar ganz verschwunden ist, zeigt eine gelegentlich, beim Erwärmen oder Waschen der Haut, wiederauftauchende Rötung eine als letzte Nachwirkung zurückgebliebene „Überregbarkeit“ dieser Anodenstelle an; eine bemerkenswerte Umstimmung, welche dem Verhalten lichtbestrahlter Hautstellen ähnlich ist. Wie aus den Beobachtungen hervorgeht, ist *in ihrer unmittelbaren Wirkung die Kathode, in ihrer Nachwirkung* und unter Umständen Schädigung aber *die Anode der wirksamere Reiz*.

Der erste Teil dieses Satzes entspricht dem, was auch an anderen erregbaren Gebilden von der Kathodenreizwirkung bekannt ist und was Waller an seinen Hautflämmströmen gefunden hat; die zweite Feststellung, die mich zunächst überraschte, scheint nicht weniger wichtig, da sie vielleicht mit der vom Muskel und Nerven her bekannten Anodenöffnungswirkung in Zusammenhang steht.

Nachdem wir den Verlauf der elektrischen Hautreizung bei Verwendung einer indifferenten Elektrodenflüssigkeit kennengelernt haben, ist es lehrreich, hiermit die Wirkung bei einer differenten sauren oder alkalischen Elektrodenflüssigkeit zu vergleichen. Füllt man in die Glasröhren 1proz. Essigsäure- oder Ammoniaklösung oder Schwefelsäure oder Natronlauge in  $\frac{n}{10}$ - oder  $\frac{n}{100}$ -Konzentration, so ist die Wirkung der Flüssigkeit für sich nach zehn Minuten bei den Säuren noch nicht merklich, bei den Laugen zeigt sich schon eine Quellung und Rötung, immerhin ist die Wirkung gering gegenüber den bei gleichzeitigem Stromdurchgang auftretenden Veränderungen. Ihrer Schilderung sei ein typischer Fall zugrunde gelegt, bei dem nacheinander vier benachbarte Paare von Hautstellen desselben Unterarms mit 15 Volt Spannung durchströmt wurden; als Elektrodenflüssigkeit diente zuerst 1% NaCl, dann  $\frac{n}{100}$  H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dann  $\frac{n}{100}$  NaOH, zuletzt wieder 1% NaCl. Die Durchströmung dauerte je zwei Minuten, nur bei der Säure drei Minuten. Wie sich dabei die Stromstärken verhielten, zeigt nebenstehende Tabelle, in der die Stärken in M. A. von 15 zu 15 Sekunden verzeichnet sind. Was die Empfindungen der Versuchs-

person betrifft, so ist das Brennen bei der Lauge am unangenehmsten und recht schmerzhaft, aber auch noch bei der Säure trotz dem schwächeren Strom viel stärker als bei der Salzlösung. Während nun die Wirkung unter den Salzelektroden den üblichen Verlauf nimmt — die mäßige Rötung ist an der Kathode schon nach einer halben Stunde bis auf drei verschwommene rote Fleckchen verschwunden —, *kommt*

1% NaCl	$\frac{n}{100}$ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\frac{n}{100}$ NaOH	1% NaCl
0,1	0,15	0,2	0,2
0,7	0,4	0,8	0,6
1,2	0,5	1,0	1,0
1,6	0,55	1,15	1,25
2,0	0,6	1,2	1,55
2,3	0,65	1,2	1,8
2,5	0,75	1,25	1,9
2,7	0,9	1,25	2,05
2,9	1,0	1,3	2,2
	1,15		
	1,3		
	1,35		
	1,42		

*es bei der Säure zu einer starken Anoden-, bei der Lauge zu einer starken Kathodenwirkung.*

Bei der Säure verhält sich die Kathodenstelle in gewohnter Weise, die anfangs blassen Höckerchen werden rötlich und verlieren sich schnell, auch die schmale matte Umgebungsrothe ist unauffällig. Die reflektorische Röthe der Anodenstelle ist lebhafter und bildet einen 1—2 cm breiten Saum um die direkt gereizte Stelle. Diese selbst zeigt neun sehr kleine, kreisrunde, wie mit einer kleinen Stanze eingedrückte Vertiefungen von bräunlicher Farbe. Innerhalb der ersten drei Minuten nach Abheben der Elektrodengläser erhebt sich um jede Einziehung herum ein schmaler, harter, weißer, ziemlich hoher Quaddelwall, in dessen Mitte die ursprünglichen kraterförmigen Vertiefungen sich allmählich ausgleichen. Nach einer Viertelstunde bestehen neun Quaddelkuppen, die, mit etwas unscharfen Rändern sich ausbreitend, ein wenig miteinander verschmelzen; von den braunen Verfärbungen ist nichts mehr zu sehen. Nach einer halben Stunde sind die Erhebungen unter allmählicher Abflachung miteinander verschmolzen, so daß sie sich nicht mehr einzeln abheben. Schon nach 1 $\frac{1}{2}$  Stunden ist die Schwellung fast ganz verschwunden und sind an Stelle der Quaddelkuppen lebhaft rote Flecke vorhanden, die nur langsam abblässen. An diesen Stellen kommt es schließlich zur Bildung von neun winzigen trocknen Schorfen. In anderen Fällen, wo die Reizung stärker war, wird innerhalb fünf Minuten die ganze Anodenstelle von einer einheit-

lichen Quaddel überzogen, und es kommt vor, daß die Quaddel an einigen Stellen auch die durch den Glasrand mechanisch bedingte Ringfurche überbrückt. Im stärksten Reizgrad sehen die vertieften Stellen von vornherein nekrotisch aus, umgeben sich mit einem schmalstem, eben sichtbarem blutigrotem Saum und bleiben in den nächsten Tagen, wenn die übrigen Reaktionen längst abgeklungen sind, als weiße, für Berührung unempfindliche Kreise mit rotem Saum kenntlich, bis sie allmählich verschorfen. Solche Ätzungen sind in ihrem Verlauf zwar schmerzlos, aber von sehr langsamer Heilungstendenz.

Bei der Lauge verhält sich die Wirkung fast, als seien Anode und Kathode vertauscht. Während nun an der Anode nur eine schwache Rötung und nichts von Einziehungen zu sehen ist, — in einem anderen Protokoll sind im Gegenteil die noch während der Durchströmung bemerkten, durch die Glaswand hindurch gesehenen Höckerchen an der Anodenstelle notiert—, sind an der Kathodenstelle drei, im ersten Anfang etwas vertiefte, glasig schmutzig aussehende kleine Kreise vorhanden, die sich mit einem ganz schmalen blutigrotem Saume umgeben. Aus diesen Stellen gehen durch Bildung von Quaddelwällen und Ausgleichung der mittleren Einsenkung drei Quaddeln hervor, die im Verlauf einer Viertelstunde miteinander verschmelzen. Auch der weitere Verlauf bis zur Verschorfung ist an der Laugenkathode ganz ähnlich wie an der Säureanode. Die Versuche mit den Säure- und Laugenelektroden ergaben bei den verschiedenen Versuchspersonen übereinstimmende Resultate, wobei auch die Natur und Verdünnung der angewendeten Säure oder Lauge nur quantitative Unterschiede gibt.

Die nächstliegende Deutung der Befunde ist, daß bei den Säureelektroden die positiven, von der Anode weg in die Haut hineinwandernden Wasserstoffionen, bei den Laugenelektroden die negativen, von der Kathode weg in die Haut hinein wandernden Hydroxytionen das wirksame Agens sind. Wir hätten somit, nachdem wir zuerst die Kataphorese hervorgehoben hatten, nunmehr eine Wirkung der „*Iontophorese*“ vor uns.

Deren Wirksamkeit sei noch an einigen Beispielen kurz erläutert. So nahm ich nacheinander salizylsaurer Natrium und salzsaures Anilin in  $\frac{n}{100}$  Konzentration als Elektrodenflüssigkeit; einige Zeit nach einer drei Minuten dauernden schwachen Durchströmung (bis 0,4 M. A.) entstanden rote Hautflecken, beim salizylsauren Natrium aber nur an der Kathode, beim salzsauren Anilin nur an der Anode. Also auch diese organischen, schwächer dissoziierten Substanzen werden als Ionen, nicht als Moleküle in die Haut eingeführt. Es ist bekannt, daß Adrenalin auf diese Weise einverleibt werden kann (*Leduc, Bouchet*). Füllte ich die Flüssigkeitselektroden mit Adrenalinlösung 1 : 10000 und durch-

strömte vier Minuten lang, so kam es zu einer einige Minuten nach der Durchströmung noch zunehmenden maximalen Hautblässe, aber nur an der Anode. Ebenso hatten die in Ringerlösung gelösten Substanzen Uraethan 25%, Peptonlösung 5% und Histamin 1 : 2000, die ich wegen ihres Einflusses auf die Kapillaren untersuchte, nur Anodenwirkung. Die *Histaminwirkung* sei etwas eingehender beschrieben, einmal, weil diese Substanz neuerdings durch die Untersuchungen von *H. H. Dale*<sup>1)</sup> besondere Bedeutung gewonnen hat, und sodann, weil die bisher noch nicht versuchte elektrische Einführung des Histamins, dessen Hautwirkung bei intrakutaner Injektion *Eppinger*<sup>2)</sup> fand, besonders einfach und wirksam ist.

Nach zehn Minuten dauernder Durchströmung mit mäßigem Strom (bis 0,6 M. A.) findet sich die Kathode kaum verändert, die Anode dagegen ist unregelmäßig geschwollen und schwillt weiter innerhalb der nächsten Minute zu einer hohen, harten, weißlichen Quaddel an, die gleichmäßig die ganze Reizfläche ausfüllt. Trotzdem bei der Durchströmung keinerlei Schmerz, nur Jucken an der Anode, empfunden war, ist auch die Umgebung weithin mit fleckigen Ausläufern gerötet. Daß die Rötung keine Reflexrötung ist, zeigt sich darin, daß sie, wenn auch eingengt, noch nach 1½ Stunden besteht. In dieser Zeit ist die Quaddel flacher geworden und hat einen rosa Farbton angenommen, hat sich aber mehrere Millimeter weit über den früheren Druckring ausgebreitet. Nach drei Stunden ist die Wirkung spurlos verschwunden; trotz der ungemein starken Quaddelbildung ist die Haut darnach in keiner Weise geschädigt.

Versuchen wir nun die Befunde dieses zweiten Abschnittes der Arbeit zu verwerten, so zeigen sie in den passiv gebildeten punktförmigen Vertiefungen und Höckern die Wirksamkeit der Kataphorese, in der Verschiedenheit von Säuren- und Laugenwirkung die Wirksamkeit der Iontophorese, und die Streitfrage, ob die von *H. Munk* entdeckte elektrische Einführung von Substanzen in den Körper der Kataphorese [*H. Munk*,<sup>3)</sup> *P. Meißner*<sup>4)</sup>] oder der Iontophorese zuzuschreiben sind [*Frankenhäuser*,<sup>5)</sup> *Leduc*<sup>6)</sup>], beantwortet sich dahin, daß beide Einflüsse mitwirken, wie es ja auch theoretisch zu erwarten ist, wobei für

<sup>1)</sup> Journ. of physiol. 52, 100 und 355. 1918.

<sup>2)</sup> *Eppinger*, Wien. med. Wochenschr. 1913, Nr. 23.

<sup>3)</sup> *H. Munk*, Über die galvanische Einführung differenter Flüssigkeiten in den unversehrten menschlichen Organismus. Virchows Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. 1873, S. 505.

<sup>4)</sup> *P. Meissner*, Über Kataphorese und ihre Bedeutung für die Therapie. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 1899, S. 11.

<sup>5)</sup> *Frankenhäuser*, Leitung der Elektrizität im lebenden Körper. Zeitschr. f. Elektrotherapie 2, Heft 1. 1900.

<sup>6)</sup> *St. Leduc*, Die Ionen- oder elektrolytische Therapie. Leipzig 1905.

die stärker dissoziierten Substanzen die Ioneneinführung überwiegt; eine etwa in Frage kommende einfache Resorption ist bei den Hautwirkungen, die nur unter einer Elektrode zustande kommen, ohne weiteres widerlegt. Ferner zeigen die Versuche den Verlauf von experimentell herbeigeführten und gut dosierbaren kleinsten Entzündungen mit Kapillarerweiterung, Ödem und kapillarer Blutung bis zur Nekrose und Verschorfung. Gerade daß bei dieser Versuchsanordnung, welche durch den Druck des Glasrandes den Blutzufuß zu dem durchströmten Hautkreis einigermaßen behindert, die reaktiv eintretenden Veränderungen sich erst nach der Reizung langsam vor unsern Augen abspielen, gibt den kleinen Erscheinungen etwas recht Eindrucksvolles. Und schließlich liefern die Beobachtungen Material zur Beantwortung der sich schon im ersten Abschnitt erhebenden Frage, welcher Art die elektrisch bewirkten Änderungen sind, die nicht als primäre Nervenreizung aufgefaßt werden können, und wie sie zustande kommen.

Hatte schon die Analyse der Reizempfindungen zu der Folgerung geführt, daß neben der Hautnervenreizung noch eine andersartige Hautreizung vorliege, so wird die Folgerung durch den zweiten Abschnitt bestätigt. Denn hier ist von einer Schließungs- oder Öffnungswirkung des Stromes nichts zu sehen, im Gegenteil wirken Stromdauer und Strommenge, mit einer für die gewöhnlichen Reizobjekte unbekanntes Langsamkeit der Reaktionsverstärkung und Länge der Reaktionsnachdauer. Dennoch ist nicht zweifelhaft, daß wir es mit einer echten physiologischen Reizung zu tun haben, da die Änderungen bei mäßigen Graden ohne jede Hautschädigung reversibel sind. Andererseits wird man verhindert, in der mit Rötung und Schwellung einhergehenden Reaktion nur eine Wirkung auf die Blutgefäße zu sehen, da die Reaktion durch Reizverstärkung bis zu deutlichen Gewebsänderungen (Ätzungen, Nekrosen) geführt werden kann. So ergibt sich der Schluß, daß wir es mit einer Reaktion der Hautzellen zu tun haben, als welche in erster Linie die Epithelzellen der Epidermis dastehen.

Daß für diese *Zellreizung* die *Pflügersche* Regel nicht zutrifft, überrascht nicht mehr, wenn wir uns erinnern, daß dasselbe schon von *Kühne* und besonders von *Verworn*<sup>1)</sup> für die Reizung einzelliger Lebewesen festgestellt ist. Die Übereinstimmung mit dem Verhalten der Protisten — erregende Wirkung auch der Stromdauer, sowohl an der Anode wie an der Kathode, geringe oder fehlende Wirkung der Induktionsschläge — bestärkt uns in der Überzeugung, daß die Haut ein neues physiologisches Reizobjekt darbietet, das den einzelligen Lebewesen an die Seite zu stellen ist und als Bestandteil des menschlichen Körpers um so weniger vernachlässigt werden darf.

<sup>1)</sup> Vgl. *Verworn*, Allgemeine Physiologie. V. Kapitel.

Noch eine andere Vergleichsmöglichkeit bietet sich, wenn wir an die bekannten Erfahrungen über elektrische Geschmacksreizung denken, bei der der subjektive Indikator die gegensätzliche Wirkung von Anode und Kathode demonstriert. Heben wir nur die für uns wichtigsten Punkte heraus, die schon von *Hermann*<sup>1)</sup> und *Laserstein*<sup>2)</sup> beobachtet sind und die ich durch eigene Versuche leicht bestätigen konnte, so zeigt der elektrische Geschmack geringe oder fehlende Erregbarkeit gegenüber Induktionsstößen und Stromschwankungen, dagegen eine sämtliche anderen Sinnesorgane und die sensibeln Zungennerven übertreffende Empfindlichkeit gegenüber dem konstanten Strom, welcher aber während seiner ganzen Dauer, sogar mit einer anfangs noch zunehmenden Intensität, und an der Anode stärker als an der Kathode wirkt. Daß sich bei den ein wenig stärkeren Strömen ein Gefühl des Prickelns in die reine Geschmacksempfindung mischt, ist nach unseren Untersuchungen ohne weiteres verständlich. Die Übereinstimmung mit der elektrischen Hautreizung ist so groß, daß auf eine Verwandtschaft der zugrunde liegenden Prozesse geschlossen werden darf. Wie bei der elektrischen Hautreizung dürfte es sich daher bei der elektrischen Geschmacksreizung nicht um eine unmittelbare Reizung von Geschmacksnerven, sondern um eine Zellerregung, nämlich der Endapparate, der Schmeckzellen, handeln.

Damit wird auch die Frage, welche Änderungen in oder an den Zellen durch den elektrischen Strom primär bewirkt werden, die weiterhin den Erregungsvorgang auslösen, für alle drei Objekte, Hautzellen, einzellebende Zellen und Schmeckzellen, zugleich zu erörtern sein. Der Beitrag, den unsere Untersuchung zu der Frage liefert, ist der Nachweis der Ähnlichkeit einer gewöhnlichen elektrischen Hautreizung mit der Wirkung elektrisch eingeführter Wasserstoff- oder Hydroxylionen. Wenn deren Wirkung soviel Ähnlichkeit hat und die Reizung bei passender Dosierung beliebig entweder nur an der Anode (bei Säureelektroden) oder nur an der Kathode (bei Laugenelektroden) hervorzurufen ist, so wächst die Wahrscheinlichkeit, daß auch bei der gewöhnlichen elektrischen Reizung solche Ionen sich innerhalb oder außerhalb der Zellen ansammeln und nun ihrerseits erregend wirken. Wie das möglich ist, da doch eine Elektrolyse sonst nur an metallischen Polen auftritt, lehren die Versuche von *Bethe* und *Toropoff*.<sup>3)</sup> *Bethe*<sup>4)</sup> sieht an den Stengelzellen von *Tradescantia myrtifolia*, daß bei elek-

<sup>1)</sup> Vgl. *Hermann*, Lehrbuch der Physiologie 1900, S. 490.

<sup>2)</sup> *Hermann* und *Laserstein*, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **49**, 36.

<sup>3)</sup> *Bethe* und *Toropoff*, Über elektrolytische Vorgänge an Diaphragmen. Zeitschr. f. physikal. Chem. **88**, 686 und **89**, 597.

<sup>4)</sup> *Bethe*, Capillarchemische (capillarelektische) Vorgänge als Grundlage einer allgemeinen Erregungstheorie. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **163**, 147. 1916.

trischer Durchströmung der rotviolette Farbsaft dieser Zellen an der der Anode zugewandten Seite grün, an der Kathodenseite mehr rötlich wird, was eine Alkali- bzw. Säurebildung anzeigt, erklärt die an Modellversuchen näher analysierte Erscheinung durch die verschiedene Bewegungsverzögerung, welche die Ionen beim Durchgang durch strukturierte Membranen erleiden, wobei sowohl Wasserverschiebungen als Änderungen der Salzkonzentration als auch besonders der  $[H^+]$  und  $[OH^-]$  entstehen, und betrachtet in seiner Erregungstheorie diese letztere Änderung als das erregende Moment. Da bei unseren Versuchen sowohl die Haut als Ganzes als auch jede einzelne Epidermiszelle mit ihren Plasmahäuten als Membran wirkt, lassen sich die Befunde mit jener Theorie in Zusammenhang bringen.

Mit der so gewonnenen Vorstellung können wir nun an die letzte Symptomgruppe herantreten.

### 3. Elektrische Widerstandsänderungen.

Die während der Durchströmung auftretenden Änderungen des elektrischen Hautwiderstandes waren in der vorhergehenden Arbeit über lokale galvanische Reaktion als Reizsymptome gedeutet. Die ergänzenden Bemerkungen, die hier gegeben werden sollen, beziehen sich auf den Unterschied von Anoden- und Kathodenwirkung, auf den Einfluß der Elektrodenflüssigkeit und auf das Verhältnis der Widerstandsänderungen zu den beiden andern soeben geschilderten Symptomgruppen.

*Methodisches.* Verwendet man zur Durchströmung zwei gleichartige Elektroden, so kann man aus den dabei auftretenden Änderungen des Hautwiderstandes nur bedingte Schlüsse ziehen. Es könnte etwa der Fall eintreten, daß der Widerstand scheinbar unverändert bleibt, obgleich er an einer Elektrode gesunken, an der anderen um ebensoviel gestiegen war; oder der Widerstand könnte erst sinken, dann steigen, wenn die entgegengesetzten Änderungen verschiedene Geschwindigkeit haben. Allgemein gesprochen, ist die entstehende Kurve die Resultante zweier Komponenten, die erst jede für sich klargelegt werden müssen. Diesem Zweck dient die schon von *Martius*<sup>1)</sup> und *Leduc*<sup>2)</sup> befolgte Verwendung einer differentiellen und einer indifferenten Elektrode, wobei am besten, wie es *Belouss*<sup>3)</sup> getan hat, als indifferente Elektrode eine Salzlösung genommen wird, in die eine Hand eintaucht. Tauchen beide Hände in zwei mit Salzlösung gefüllte Gefäße, denen der Strom durch große Zinkbleche zugeleitet wird, so ist der Gleichstromwiderstand des ganzen Körpers nur gegen 3000 Ohm. Taucht aber nur eine Hand ein, während am anderen Unterarm eine Flüssigkeitselektrode aufliegt, so ist der gesamte Widerstand gegen 100 000 Ohm, d. h. der Widerstand an der großen Elektrode (1500 Ohm) kann vernachlässigt werden gegenüber dem Widerstand an der kleinen

<sup>1)</sup> *Martius*, Arch. f. Psychiatr. u. Nervenkrankh. **17**, 1886 und Dtsch. med. Wochenschr. 1877, S. 608.

<sup>2)</sup> *St. Leduc*, Die Ionen- oder elektrolytische Therapie. Leipzig 1905.

<sup>3)</sup> *A. Belouss*, Untersuchungen über den Einfluß von Elektrolyten auf die elektrische Leitfähigkeit und die Polarisation der tierischen Haut. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **162**, 507. 1915.

Elektrode, dessen Schwankungen rein für sich zum Ausdruck kommen<sup>1)</sup>. Die andere Methode, die hier zur Verwendung kommt, besteht darin, daß zuerst ein stärkerer Reizstrom mit gleichartigen Flüssigkeitselektroden durch die Haut geschickt und danach abwechselnd der Widerstand der früheren Anoden- und der früheren Kathodenstelle mit einem schwachen Meßstrom festgestellt wird. Zahlreiche Fehlversuche lehrten mich, daß man gut tut, nur dicht benachbarte Hautstellen zum Vergleich zu wählen, wenn man nicht überhaupt Anode und Kathode und verschiedene Flüssigkeiten nacheinander auf dieselbe Hautstelle wirken läßt, da die Haut verschiedener, oft sogar unweit entfernter Körperstellen in ihrer elektrischen Leitfähigkeit auch ohne ersichtlichen Grund erhebliche Abweichungen zeigen kann. Daß Stellen mit Hautverletzungen, Narben oder pigmentierte Hautstellen veränderten Widerstand zeigen, sei nur erwähnt. Die an ein und derselben Versuchsperson zu verschiedenen Zeiten gefundenen, von der Hauttemperatur, dem Zustand der Schweißdrüsen und vielleicht noch anderen Faktoren abhängigen Verschiedenheiten des elektrischen Widerstandes erschweren häufig die Beurteilung.

Bei der Untersuchung der durch die Durchströmung bewirkten Leitfähigkeitsänderungen wiederholte ich zunächst die von *Leduc* und *Belouss* gemachten Versuche, aber mit dem Unterschied, daß ich tausend- bis hundertfach kleinere Stromstärken anwendete als jene Autoren, was mir durch Verwendung eines hochempfindlichen Zeiger-galvanometers ( $1^\circ = 10^{-6}$  A) ermöglicht war. Es zeigt sich, daß selbst solche schwachen Ströme, die weder durch Empfindung noch durch Rötung ihre Anwesenheit verraten, und bei denen von einer Hautschädigung nicht die Rede sein kann, für die Leitfähigkeitsänderung deutlich wirksam sind und dieselben Befunde geben wie die stärkeren mit Rötung oder sogar Schmerz verbundenen Ströme. Dabei hat die Verwendung schwacher Ströme den Vorteil, daß der sich ändernde Widerstand sich schneller in ein Gleichgewicht einstellt und, was für die Versuchsperson besonders bei wiederholten Versuchen nicht gleichgültig ist, daß die Haut geschont wird. Als gesetzmäßige Befunde ergeben sich: Sowohl die Anode als die Kathode setzen den Hautwiderstand herab, die Kathode aber mehr als die Anode. Das entspricht den Beobachtungen von *Martius*, *Leduc* und *Belouss*. Beispielsweise stellt sich mit NaCl-Elektroden bei 2 Volt der Strom bei anodischer Wirkung auf  $50^\circ$ , bei kathodischer auf  $85^\circ$  ein. Die Unterschiede zwischen dem Kathodenwiderstand und dem Anodenwiderstand werden kleiner oder ganz ausgeglichen, wenn Kaliumchlorid als Elektrodenflüssigkeit gewählt wird, wie *Leduc* zuerst angab; sie werden größer, wenn Calciumchlorid die Elektrodenflüssigkeit ist, wie *Belouss* feststellte. Die von *Leduc* angegebene, von *Belouss* bestrittene und auf Elektrodenfehler zurückgeführte Umkehrung des Verhältnisses von Anoden- und Kathodenwirkung durch  $\text{CaCl}_2$  konnte auch ich nicht

---

<sup>1)</sup> *Martius* betrachtet auf Grund einer falschen Überlegung umgekehrt die große Elektrode als diejenige, welche den Haupteinfluß auf den Hautwiderstand hat.

finden. Statt der von *Leduc* gemachten Annahme, daß das Verhalten des Widerstandes einen Aufschluß über die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen im kolloidalen Gemisch der Gewebssubstanzen gebe, ergibt sich nunmehr als die wahrscheinlichste Deutung, daß, wie in der Arbeit über lokale galvanische Reaktion näher ausgeführt, der Gleichstromwiderstand von der Permeabilität der Zellmembranen in der Epidermis abhängt und daß von den von der Anode in die Haut einwandernden Kationen die Ca-Ionen die Zellmembranen mehr verdichten und damit den Widerstand erhöhen, die K-Ionen die Membranen mehr auflockern und den Widerstand vermindern, als es die Na-Ionen tun. Wir stoßen mit dieser Annahme, die auch *Höber*<sup>1)</sup> vertritt, auf typische, an der menschlichen Haut demonstrierte Ionenwirkungen.

Zu diesen Befunden können einige weitere hinzugefügt werden. Für die NaCl und CaCl<sub>2</sub>-Wirkungen macht es keinen wesentlichen Unterschied, ob die Lösungen 1-, 2- oder 10proz. sind, abgesehen von der widerstandsvermindernden Wirkung aller hypertonen Lösungen. Physiologisch wichtiger scheint mir der Befund, daß selbst die geringen Mengen von CaCl<sub>2</sub>, die in der Ringerlösung vorhanden sind, genügen, um die relative anodische Widerstandserhöhung hervorzurufen. Wenn bei gewöhnlichen Kochsalz- oder Ringerelektroden die Anode während des Stromfließens den Widerstand weniger herabsetzt als die Kathode, so erfährt dies Verhältnis nach der Unterbrechung des Stroms eine bemerkenswerte Umkehr. Schickt man einen mäßigen (einige Zehntel M. A.) oder stärkeren Strom wenige Minuten lang mittels gleichartiger Flüssigkeitselektroden durch die Haut und mißt dann mit schwachem Strom (1 Volt Spannung) „unipolar“ den anodischen und kathodischen Widerstand, indem man die differente Elektrode abwechselnd auf die frühere Anoden- und Kathodenstelle bringt und die andere Hand in Salzlösung tauchen läßt, so sieht man nun den Hautwiderstand an der früheren Anode *kleiner* als an der Kathode. Ein nach der Stromunterbrechung noch weitergehendes Absinken des Widerstands an der Anode konnte ich niemals feststellen, obgleich ja die sich anschließenden Gefäßwirkungen, Rötung und Schwellung, eine nachträgliche Zunahme zeigen. So muß der Umschlag im Widerstandsverhältnis der Kathode und Anode dadurch erfolgt sein, daß der während des Stromflusses kleinere kathodische Widerstand sich nach Stromunterbrechung erheblich rascher in der Richtung zum größeren Anfangswiderstand „erholt“ als der anodische Widerstand, und wir erhalten hierin eine Bestätigung des im zweiten Abschnitt nach der Betrachtung der sichtbaren Hautänderungen aufgestellten

<sup>1)</sup> *R. Höber*, Zur physikalischen Chemie der Erregung und der Narkose. Zeitschr. f. Elektrochemie 1916, S. 296.

Satzes, daß in ihrer unmittelbaren Wirkung die Kathode, in ihrer Nachwirkung die Anode der stärkere Hautreiz ist.

Wie im zweiten Abschnitt soll auf die Wirkung des elektrischen Reizes mit Normalelektroden die mit Säureelektroden folgen. Hierüber liegt bisher nur die kurze Bemerkung von *Belouss* vor, daß bei der Froschhaut schwache Ansäuerung oder Alkalisierung den Unterschied zwischen anodischem und kathodischem Widerstand vermindere. Bei meinen Versuchen zeigten sich jedoch einige charakteristische Eigentümlichkeiten. Die Wirkung fällt sehr verschieden aus, je nachdem  $\frac{n}{1000}$ ,  $\frac{n}{100}$  oder  $\frac{n}{10}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  in die Glasröhren gefüllt wird. Bei den sehr verdünnten Lösungen ist der Unterschied von anodischem und kathodischem Widerstand außerordentlich groß, im selben Sinne, nur noch stärker wie bei Verwendung von  $\text{CaCl}_2$ . So gab beispielsweise mit  $\frac{n}{100}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  und 2 Volt Spannung (differente Elektrode an Unterarminnenseite, indifferente Elektrode an der eintauchenden Hand) die Kathode einen Strom, der innerhalb 15 Sekunden von  $30^\circ$  auf über  $100^\circ$  stieg; bei Stromwendung fiel die Stromstärke innerhalb 15 Sekunden auf  $12^\circ$ , innerhalb einer Minute auf  $7^\circ$ ; die Leitfähigkeit war also im einen Fall über zehnfach größer als im andern. Umgekehrt ist es mit stärkeren Säuregraden. Man sieht den Strom zunächst sowohl an der Anode als an der Kathode ansteigen, wie es bei jeder elektrischen Durchströmung vor Erreichen des Gleichgewichts der Fall ist, und es überwiegt die Kathode. Allmählich aber, unter Umständen erst nach mehrmaligem Stromwenden, verschiebt sich das Verhältnis, so daß nun die Anode überwiegt. Das verzögerte Eintreten der Säurewirkung — die Streckseite des Unterarms braucht dazu noch längere Zeit als die Beugeseite — ist recht charakteristisch dafür, daß die Wasserstoffionen erst weit genug in die Haut eingedrungen und in genügender Konzentration vorhanden sein müssen, bevor sie ihre Wirkung auf die Zellen entfalten können. Bei der  $\frac{n}{100}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  ist es von den Individuen, von der Stromstärke und, wie es scheint, auch von der Hauttemperatur abhängig, ob die erste (starkes Überwiegen der Kathode) oder zweite Wirkung (Überwiegen der Anode) erfolgt, bei  $\frac{n}{1000}$  habe ich nur die erste, bei  $\frac{n}{10}$  nur die zweite Wirkung erhalten. Nachdem dies festgestellt ist, kann man den Befund noch in einer anderen Versuchsanordnung bestätigen. Man füllt in zwei der Haut des Unterarms aufgesetzte gleichgroße Glasröhren rechts  $\frac{n}{10}$ , links  $\frac{n}{100}$  oder  $\frac{n}{1000}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  und schickt einen Strom hindurch, dessen Richtung durch Wippe gewendet werden kann. Dann summieren sich die Wirkungen und man erhält außerordentlich große Unterschiede, je nachdem unter beiden Elektroden der größere (K rechts, A links) oder der kleinere (K links, A rechts) Widerstand gelegen ist.

Zur Deutung dieser Befunde war mir die Bemerkung *Bethes*<sup>1)</sup> wichtig, der aus seinen Versuchen über Nervenpolarisationsbilder den Schluß zieht, daß die an der Anode eingeführten H-Ionen ähnlich wie Ca die Plasmahaut beim Nerven verdichten. Unsere Beobachtungen mit den schwachen Säuregraden führen für die Haut auf ganz anderem Wege zu demselben Schluß; bei den stärkeren Säuregraden aber bewirken die H-Ionen eine Reizung mit reversibler Auflockerung der Membranen. Da die Wasserstoffionenkonzentration für die Gefäßweite, das Atemzentrum und das Zentralnervensystem eine so wichtige Rolle spielt, ist es nicht ohne Bedeutung, auf diese Weise auch in die Gewebswirkung der H-Ionen einen Einblick zu bekommen. Auch für die Untersuchungen über die „Gleichrichterfunktion“ der Haut (*Galeotti*<sup>2)</sup>, *Bayliß*<sup>3)</sup>, *Schwartz*<sup>4)</sup>) können unsere Beobachtungen herangezogen werden; im letztgeschilderten Versuch wird der ganze menschliche Körper, in einen Strom von wechselnder Richtung eingeschaltet, künstlich zu einem „Gleichrichter“ gemacht.

Bei den Laugenversuchen zeigt sich zunächst, daß auch ohne Strom eine stärkere Lauge (1% Ammoniak,  $\frac{n}{10}$  NaOH), in die Haut eindringend, innerhalb weniger Minuten den Hautwiderstand außerordentlich stark herabsetzt. Der Befund ist erwähnenswert wegen seiner Beziehungen zu den neueren Untersuchungen von *Sollmann* und von *Jacoby* über die resorptionsfördernde Wirkung von Alkalien. *Sollmann*<sup>5)</sup>) fand, daß Lokalanästhetika, einem Frosch auf die Haut gepinselt, leichter anästhesieren, wenn sie durch Zugabe von  $\text{NaHCO}_3$  alkalisch gemacht waren, daß dagegen bei subcutaner Injektion am Menschen der alkalische Zusatz nichts nützt. Ähnlich sah *Jacoby*<sup>6)</sup>) eine auf die Schwimnhaut des Frosches gebrachte Adrenalinlösung schon in weit geringeren Konzentrationen vasoconstrictorisch wirksam, wenn sie mit  $\text{NaHCO}_3$  versetzt war. Können die pharmakologischen Befunde auch durch die Annahme erklärt werden, daß die freien Basen jener Alkaloide besser in die Haut einzudringen vermögen, so führen die hier gefundenen Widerstandsherabsetzungen zu der Vorstellung, daß die Laugen die Durchlässigkeit der Zellmembranen erhöhen und so den Weg vorbereiten für das Eindringen und

1) *Bethe*, Nervenpolarisationsbilder und Erregungstheorie. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **183**, 297. *Bethe* verwendete zur Nervendurchströmung Flüssigkeitselektroden, welche *Lockesche* Lösung mit  $\frac{n}{200}$  HCl enthielten; stärkere Konzentrationen wurden nicht untersucht.

2) *Galeotti*, Zeitschr. f. physikal. Chem. **49**. 1904.

3) *Bayliß*, Biochem. Zeitschr. **11**. 1908.

4) *A. Schwartz*, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **162**, 547. 1915.

5) *Sollmann*. Anästhesie der Froschhaut. Journ. of pharmacol. a. exp. therap. **11**, 9. 1918 und Anästhesie der menschlichen Haut. Ebenda S. 69.

6) *Jacoby*, Arch. f. exp. Path. u. Pharm. **88**, 333.

die Diffusion der pharmakologisch wirksamen Agentien. Ganz allgemein müßte hiernach eine alkalische Reaktion die Aufnahme von Nahrungsbestandteilen und Giften in den Zellen begünstigen, so daß es vielleicht auch in diesem Sinne nicht bedeutungslos ist, wenn der nicht resorbierende Magen saure, der resorbierende Dünndarm alkalische Reaktion hat.

Schickt man durch die Laugenelektroden einen Strom, so entstehen durch widerstandserhöhende Niederschlagsbildung an der Zinksulfatgelatine Versuchsfehler, so daß hier das kleinere, in die Lauge tauchende Glasröhrchen wie bei den üblichen unpolarisierbaren Elektroden mit Zinksulfatlösung gefüllt und mit einem Kochsalztonpfropf verschlossen wurde. Auch so geben die Laugenelektroden nach einiger Durchströmung deutliche Eigenströme, doch fällt der Fehler nicht mehr ins Gewicht. Man findet dann, nachdem die Stromstärke zuerst keine auffälligen Schwankungen gezeigt hat, zu irgendeinem Zeitpunkt ein mit explosiver Plötzlichkeit einsetzendes Abfallen des Widerstands, was von lebhaftem Prickeln und einem unter Umständen recht schmerzhaften Brennen begleitet ist. Es überwiegt die widerstandsherabsetzende Wirkung der Kathode, obgleich auch der Anodenwiderstand klein bleibt.

Zur Erläuterung diene die beigefügte Tabelle, welche die von 15 zu 15 Sekunden abgelesenen Werte der Stromstärke in  $10^{-6} A$  bei 4 Volt Spannung für 1% NaCl (I),  $\frac{n}{10} H_2SO_4$  (II) und  $\frac{n}{10} NaOH$  (III) als Elektrodenflüssigkeit angibt. K bzw. A bedeutet, daß die differente, dem Unterarm aufgesetzte Flüssigkeitslektrode Kathode bzw. Anode ist, während die andere Hand der Versuchsperson in Kochsalzlösung eintaucht. Der Strom wurde nach je einer Minute gewendet. Überstieg die Stromstärke  $100 \times 10^{-6} A$ , so wurde die Empfindlichkeit des Mikroamperemeters durch Nebenschließung auf ein Zehntel reduziert.

## I 1% NaCl.

Zeit in Sek.	K	A	K	A	K	A	K	A
0	4,5	10,0	6,0	12,0	7,5	13,0	8,5	15,0
15	5,5	7,0	7,5	8,0	9,0	9,5	11,0	11,0
30	8,0	6,0	9,5	7,0	11,0	7,8	13,0	9,0
45	8,0	5,5	11,0	6,5	12,5	7,5	15,0	8,5
60	10,0	5,5	12,0	6,0	13,0	7,5	15,0	8,5

II  $\frac{n}{10} H_2SO_4$ .

Zeit inSek.	K	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K
0	2	19,0	17,0	19	22	30	40	55	90	80	100
15	4	19,0	12,0	19	18	46	26	83	70	110	60
30	7	18,0	12,5	21	17	49	24	90	30	120	32
45	14	17,5	13,5	25	17	58	25	105	27	140	28
60	18	17,0	15,0	32	18	69	27	110	27	145	25

III  $n/_{10}$  NaOH .

Zeit in Sek.	K	A	K	A	K	A	K	A
0	22	21	35	560	450	670	500	950
15	20	23	300	380	600	560	820	900
30	18,5	25	420	370	620	520	900	910
45	18	27	520	340	620	530	870	880
60	18	32	550	300	630	530	900	500
75						350		350
90						300		310
105						290		300
120						270		300

Aus den übrigen Versuchen seien erwähnt die Widerstandsverhältnisse bei Adrenalin und Histamin. Hat man den Strom durch Adrenalinelektroden der Haut zugeführt und ist danach die maximale Hautblässe unter der Anode entstanden, so gibt nichtsdestotrotz die blasse Anodenstelle einen geringeren Widerstand als die leicht gerötete Kathodenstelle, nicht anders als wenn gewöhnliche Flüssigkeitselektroden eingewirkt hätten. Dies ist ein besonders deutlicher Beweis dafür, daß der Hautwiderstand mit der Gefäßfüllung entgegen der früheren, auch heute noch vielfach vertretenen Meinung nichts zu tun hat. Andererseits gibt bei Histaminelektroden die unter der Anode entstandene maximale Quaddel in den meisten Fällen auch keinen deutlich geringeren Widerstand als eine gewöhnliche, mit gleichem Strom behandelte Anodenstelle, was, ebenso wie die Flüchtigkeit der Quaddel und das Fehlen jeder Ätzwirkung, dafür spricht, daß das Histamin wirklich als Capillargift spezifisch auf die Endothelzellen und ihre Durchlässigkeit einwirkt, ohne zunächst die übrigen Gewebszellen unmittelbar anzugreifen.

Bei fast allen hier geschilderten Versuchen lagen die Reizstellen an der Innenseite des Vorderarmes. Das auf S. 306 angeführte Protokoll kann als Beleg für das abweichende Verhalten im elektrischen Widerstand der Handinnenfläche dienen. Während diese, wie bekannt, bei schwächeren und kurzdauernden Strömen weitaus besser leitet als die übrigen Hautstellen wegen der reichlich vorhandenen Schweißdrüsen, bleibt sie bei stärkeren Strömen in ihrer Leitfähigkeit erheblich zurück, was sich aus der, zum Teil durch die Dicke der Hornschicht bedingten, geringeren Reizbarkeit der palmaren Epidermis erklärt.

Ein Vergleich des letzten Abschnittes mit den beiden anderen Abschnitten zeigt, daß die aus den verschiedenen Symptomgruppen gezogenen Folgerungen einander bestätigen und ergänzen und sich zu einem einheitlichen Bilde der Hautreizung vereinigen lassen. Außer der Reizung von Hautnerven bewirkt der galvanische Strom eine Reizung der Hautepithelzellen, die sich in Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit äußert und weiterhin auch die zugehörigen Nerven (Empfindung von Jucken, Prickeln und Brennen) und Gefäße (Capillar-

erweiterung und Ödem) in Mitleidenschaft zieht. Dabei werden kataphoretische und Ionenwirkungen deutlich. Als erregendes Agens erscheint die durch den Strom an Membranen bewirkte Entstehung von Wasserstoff- und Hydroxylionen. So können die Untersuchungen beitragen zur Kenntnis der Zellreizung und zur Kenntnis der bei Durchströmung von Membranen sich abspielenden Vorgänge.

### Zusammenfassung.

Als Erfolg einer galvanischen Durchströmung der Haut zeigen sich Reizempfindungen, sichtbare Hautänderungen und elektrische Widerstandsänderungen der Haut.

Unter den Reizempfindungen werden unterschieden solche, die durch Reizung von Hautnervenzweigen oder -ästen, solche, die durch Reizung von Hautnervenendigungen, und solche, die durch Reizung der Haut selbst (Epidermis und Gefäßendothel) veranlaßt sind.

Durch Auseinanderhalten dieser drei Arten wird die elektrische Bestimmung der sensibeln Reizschwelle diagnostisch verwertbar. Die dritte Gruppe von Reizempfindungen besteht in Jucken und Prickeln und bei Verstärkung in Brennen. Indem diese Juckempfindung auf Zelländerungen zurückgeführt wird, erklärt sich ihr häufiges, dem Dermatologen bekanntes Vorkommen bei allerlei Hauterkrankungen.

Während die Reizung der Nervenäste (distal projizierte Empfindung) und Nervenendigungen (lokal beschränkte Empfindung) dem *Pflügerschen* Gesetze folgt, verhält sich die nur indirekt in Nervenregung umgesetzte Hautreizung abweichend, gehört in eine Gruppe mit der elektrischen Geschmacksreizung und der elektrischen Reizung einzelliger Lebewesen und läßt sich nach der *Betheschen* Theorie als Erfolg von H- und OH-Ionen, die an Zellmembranen entstehen, deuten.

Als sichtbare Hautänderungen bewirkt die galvanische Durchströmung bei Verwendung von Flüssigkeitselektroden Einziehungen an der Anode und Erhebungen an der Kathode, die sich physikalisch durch Flüssigkeitstransport (Kataphorese) erklären, und allerlei entzündliche Reizungen und Schädigungen (Capillarerweiterung, Schwellung, Quaddelbildung, Ätzung, Nekrose), die elektrochemisch bedingt sind. Bei Verwendung von Säuren oder Laugen als Elektrodenflüssigkeit verstärken sich die Erscheinungen; bei den Säuren ist die Anode, bei den Laugen die Kathode der wirksame Pol, indem die H-Ionen von der Anode, die OH-Ionen von der Kathode her in die Haut eingeführt werden. Bei Verwendung von Kochsalzlösung wirkt während der Durchströmung die Kathode mehr als die Anode, die Nachwirkung dagegen ist an der Anode größer.

Aus den unter Verwendung verschiedener Flüssigkeitselektroden beobachteten elektrischen Widerstandsänderungen der Haut lassen

sich Schlüsse auf die Wirkung der Elektrolyte auf die Zellmembranen ziehen. Die auflockernde Wirkung der Kaliumionen, die verdichtende der Calciumionen wird demonstriert. H-Ionen in geringer Konzentration verdichten, in größerer Konzentration lockern die Zellmembran. Durch Verwendung zweier Flüssigkeitselektroden von verschiedener Säurekonzentration läßt sich die Haut willkürlich in einen Gleichrichter für diese oder jene Richtung umwandeln. Auf die Haut gebrachte Laugen führen auch schon ohne Strom zu einer Widerstands-herabsetzung (Durchlässigkeitserhöhung).

Die elektrische Einführung von Histamin in die Haut ist ein geeignetes Mittel zur Erzeugung und Untersuchung von Hautquaddeln.

---