



Ueber
den Einfluss der Temperatur auf den Leitungs-
widerstand und die Polarisation thierischer Theile.

Inaugural-Dissertation

der

medizinischen Facultät zu Königsberg in Pr.

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshilfe

vorgelegt und öffentlich vertheidigt

Mittwoch den 23. März 1887, Mittags 12 Uhr

von

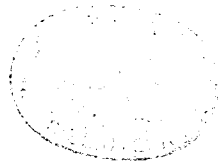
Franz Boll

prakt. Arzt.

Opponenten:

Wilhelm Ehrental, cand. med.

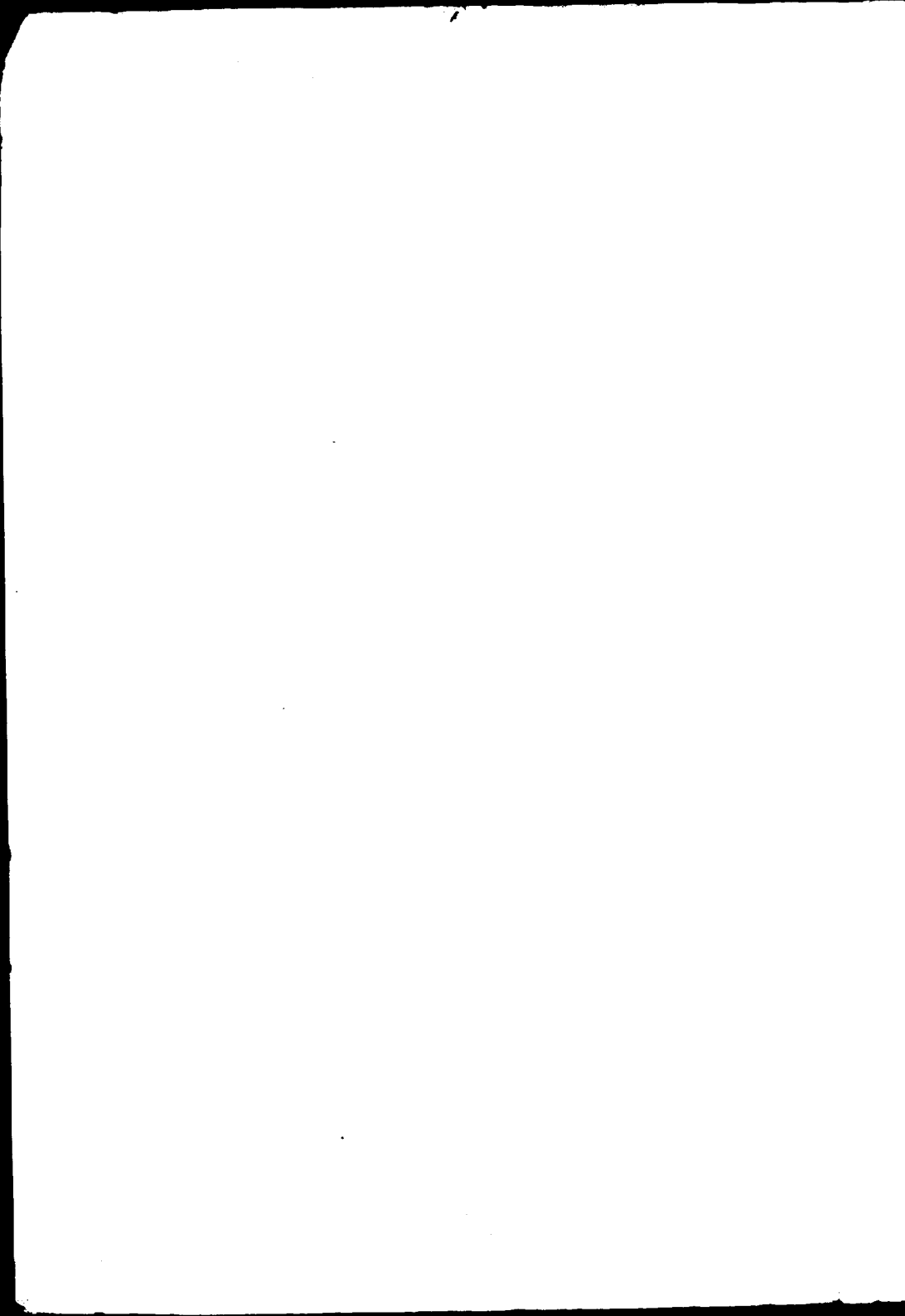
Dr. med. Max Ulrich, prakt. Arzt.



Königsberg in Pr.

Druck von R. Leopold.

1887.



Herrn Geheimen Medicinalrath
Prof. Dr. Hermann

dankbarst gewidmet

von

Verfasser.



Die Frage, ob und inwieweit der Leitungswiderstand thierischer Gewebe durch die Temperatur beeinflusst werde, wurde mir von Herrn Prof. Hermann wegen ihrer zahlreichen Beziehungen zu gewissen Fragen der allgemeinen Muskel- und Nervenphysiologie zur Bearbeitung empfohlen. Vielleicht hat sie nebenbei auch ein practisches Interesse, da es in der Elektrotherapie nicht unwesentlich darauf ankommt, den elektrischen Strom unter möglichst günstigen Bedingungen auf den degenerirten Muskel und Nerven einwirken zu lassen; und es dem Elektrotherapeuten gewiss willkommen ist, eine Verminderung des an und für sich sehr grossen Widerstandes auf die eine oder die andere Weise zu erzielen.

Bekanntlich ist durch die Untersuchungen von Lenz, Becquerel, Arntsen und Andern festgestellt worden, dass der Leitungswiderstand der Metalle mit zunehmender Temperatur vermehrt wird, während abnehmende Temperatur ihn vermindert.¹⁾ Anders verhält sich, wie Hankel, Wiedemann und Becker zuerst nachgewiesen haben, der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten. Letzterer wird mit Erhöhung der Temperatur vermindert, mit Abnahme der Temperatur vermehrt.²⁾

1) Wiedemann, Elektrizität. 3. Auflage. 1882. Bd. I. pag. 509.

2) Wiedemann, Bd. I. pag. 572.

Was die thierischen Gewebe anbetrifft, so war über den Einfluss der Temperatur auf ihren Leitungswiderstand bisher in der Literatur nichts Genaueres angegeben. Zwar hatte du Bois-Reymond,¹⁾ ja schon Weber gefunden, dass ihr Leitungswiderstand durch Wärme vermindert wird; aber diese Untersuchungen waren durchaus nicht eingehend genug. Sie besagten eben nur, dass ein Einfluss da sei; genaue Messungen dieses Einflusses und eingehende Untersuchungen über denselben sind jedoch nicht gemacht worden.

Die Versuche nun, die ich unter Leitung des Herrn Professor Hermann im hiesigen physiologischen Institut unternahm, gingen darauf hinaus:

- I. den Einfluss der Temperatur auf den Längswiderstand von Muskeln und Nerven,
- II. den Einfluss der Temperatur auf den Querswiderstand der Muskeln,
- III. den Einfluss der Temperatur auf die innere Polarisation der Muskeln und Nerven festzustellen.

I. Einfluss der Temperatur auf den Längswiderstand der Muskeln und Nerven.

Die Messungen des Widerstandes wurden vorgenommen nach der bekannten Wheatstone'schen Methode. Als Vergleichswiderstand dienten gewöhnlich zwei Siemens'sche Rheostaten mit zusammen 20000 E, und ein Rheochorddraht von 1000 mm Länge. Die Zahlen der gefundenen Rheochordstellung wurden dann nach einer mir von Herrn Prof. Hermann gütigst übermittelten Tabelle berechnet. In

1) Du Bois-Reymond, Thierische Elektrizität. Bd. II. 2. 212.

den Zweig der zu untersuchenden thierischen Gewebe war eine Wippe eingeschaltet, um dieselben auch in umgekehrter Richtung durchströmen zu lassen. Als Galvanometer diente eine Spiegelboussole, deren Empfindlichkeit durch Abrücken der Rollen vermindert wurde. Es geschah dieses, weil bei der Widerstandsmessung thierischer Gewebe die elektromotorische Wirkung derselben eine scheinbar unangenehme Complication bildet, insofern die Wheatstone'sche Messung die Abwesenheit elektromotorischer Kräfte in der Combination voraussetzt. Man kann diesen Uebelstand dadurch umgehen, dass man das Galvanometer so unempfindlich macht,¹⁾ dass die electromotorischen Kräfte der thierischen Gebilde auf dasselbe keine Wirkung äussern, wodurch die Schärfe der Widerstandsmessungen keineswegs beeinträchtigt wird, wenn der Messstrom genügend stark ist. Aber ein noch viel einfacheres und vollkommneres Mittel bietet sich dar durch eine von Froelich aufgestellte Erweiterung des Wheatstone'schen Satzes.²⁾ Der letztere lautet bekanntlich dahin, dass in der Wheatstoneschen Verzweigung die Widerstände $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$ sich verhalten, wenn die Schliessung des Messstromes keinen Strom in der Brücke erzeugt. Sind nun irgend welche elektromotorischen Kräfte in dem Wheatstone'schen System enthalten, so verhält sich auch jetzt noch

$$w_1 : w_2 = w_3 : w_4,$$

wenn die Schliessung des Messstromes den bestehenden Strom in der Brücke nicht verändert. Ich unterlasse es, den sehr einfachen Beweis für diesen Satz hier anzuführen. Für unseren Fall folgt aus ihm, dass man ganz einfach gleichsam als 0-Punkt, auf welchen man bei der Compensation einzustellen hat, nicht die 0-Stellung des Magneten,

1) Vergl. Hermann. Pflüger's Archiv Bd. 39 pag. 494.

2) Wiedemann's Annalen der Physik. Bd. 30 pag. 156. 1887.

sondern diejenige abgelenkte Stellung desselben anzusehen hat, welche vor Schliessung des Messstromes in Folge der elektromotorischen Kräfte des Systems vorhanden ist.

Damit diese Ablenkung nicht zu gross wird, ist auch hier verminderte Empfindlichkeit wünschenswerth.

Das zu untersuchende Object befand sich in einer feuchten Kammer; die den Messstrom führenden Drähte wurden vermittels rechtwinklig gebogener Glasröhren in die Kammer eingeleitet und übermittelten dem Untersuchungsobject den Strom durch die duBois'schen unpolarisirbare Elektroden. Als Messstrom diente ein Daniell'sches Element. Was die zu untersuchenden Gewebe anbetrifft, so wurden sowohl frische, wie wärmestarre, wie gekochte untersucht. Die frischen Muskeln und Nerven wurden sorgfältig auspräparirt, starr und gekochte in der Weise entnommen, dass erst der ganze Schenkel wärmestarr gemacht resp. gekocht wurde, und dann das Präparat erst zwischengeschaltet wurde, nachdem es gehörig abgekühlt war. Sämmtliche Präparate wurden dem Froschschenkel entnommen.

Es kam bei diesen Untersuchungen nun darauf an, das Präparat einer möglichst genau zu bestimmenden Temperatur zu unterwerfen, ohne dass dasselbe dabei in seiner Structur irgendwie alterirt wurde. Da reines Olivenöl den frischen Muskel in keiner Weise angreift, ferner zu den Nichtleitern gehört und seine Eigentemperatur nur langsam abgibt, so lag es nahe, zu versuchen, die thierischen Gewebe in erwärmtes resp. abgekühltes Olivenöl zu versenken und so die Veränderungen des Widerstandes zu bestimmen. Ich nahm zu diesem Zweck zwei etwa 1 dcm lange und 4 mm im Durchmesser betragende Glasröhren, legte um ihre Enden je einen Cautschouering und klemmte dann zwischen diese beiden Röhren zwei starre längliche Muskelstücke, später zwei wärmetodte lange schmale Hautstücke, die als Zwischenleiter dienen sollten. An diese

starrten Gebilde befestigte ich das Untersuchungsobject in der Weise, dass es in möglichst steiler Krümmung herabhing, seine Enden aber durch die Befestigung an den Zwischenleitern nicht gequetscht wurden. Die Befestigung selbst geschah bei den starren Muskelstücken mittels Baumwollfäden, bei den wärmetodten Hautstreifen derartig, dass ich aus diesen eine Schleife bildete, in welche ich die Muskelenden einfügte. An die Zwischenleiter kamen dann die unpolarisirbaren Elektroden zu liegen; die Glasröhren ruhten auf einem Stativ, während das Gefäss mit dem vorher auf bestimmte Temperatur gebrachten Olivenöl soweit in die Höhe gehoben wurde, dass das Untersuchungs-Object möglichst tief in das Oel tauchte. Vor jedem Versuche wurde natürlich erst der Widerstand der starren Zwischenleiter + Elektroden gemessen und derselbe nachher in Abzug gebracht.

Dieses Verfahren zeigte sich jedoch als unzureichend. Zwar ersah man bereits, dass die Temperatur den Widerstand in dem Sinne beeinflusst, dass Erwärmung ihn herabsetzt, Abkühlung ihn vermindert. Aber um genaue Resultate zu erzielen, dazu waren die Versuche doch zu wenig exact. Denn die Kammer musste vor jeder Messung geöffnet werden, um die Präparate zu versenken; dadurch waren namentlich die frischen Gebilde vielfachen Schädlichkeiten ausgesetzt, die Elektroden verschoben sich leicht, und schliesslich liess sich nicht einmal sagen, wieviel der ermittelten Widerstandsveränderung nicht etwa auf Rechnung der Zwischenleiter zu setzen sei, die immerhin etwas mit in das Oel tauchten.

Ich gab deshalb dieses Verfahren auf, obschon man allerdings den unleugbaren Vortheil hatte, dass, wenn es gelang, den Muskel gut zu versenken, man sicher sein konnte, dass er die Temperatur des umgebenden Mediums genau annehmen würde. Späterhin bin ich noch einmal

zwischen den im Weiteren zu schildernden Versuchen, da mich anfangs ihre Resultate nicht ganz befriedigten, auf diese Oelversuche zurückgekommen. Ich umging diesmal alle oben geschilderten Uebelstände in folgender Weise: Ich nahm eine dünne Glasplatte in der Grösse eines Zweimarkstückes und blies dieselbe an einen Glasbügel vertical an. Ein kleines Thermometer, welches jedesmal die Temperatur des Oels angeben sollte, wurde an dem einen Bügelarm befestigt. Auf die Glasplatte nun drückte ich zwei möglichst grosse Zinkthonlager, welche einmal selbst sehr geringen Widerstand darboten, andererseits nicht so schnell wie das dünne Muskelstück die Temperatur annahmen. Zwischen diese Zinkthonlager kam das Untersuchungs-Object zu liegen. An die Zuleitungsdrähte wurden amalgamirte Zinkstäbchen angelöthet, die dann in die Thonlager eingestochen wurden. Der ganze Apparat liess sich in beliebig temperirtes Oel leicht versenken. Leider scheiterten aber diese Versuche an dem Uebelstande, dass das Oel nach kürzerer oder längerer Zeit zwischen Thonlager und Muskel drang und so den Contact aufhob.

Ich gab es jetzt endgültig auf, auf diesem Wege zum Ziele zu kommen und schritt nunmehr zu einem Verfahren, welches ich mit einer kleinen späteren Modification bei allen Untersuchungen über den Leitungswiderstand beibehalten habe. Ich nahm hierbei allerdings Abstand davon, das Object in das erwärmende Medium selbst zu tauchen, aber ich konnte auch hier ziemlich sicher sein, dass die Temperatur exact einwirke. Zugleich gestattete mir diese Methode, das zu untersuchende Präparat bequem zu handhaben, dasselbe unverrückt während des ganzen Versuches zwischen den Thonlagern zu fixiren und während des ganzen Versuches — ein sehr wesentliches Moment — von der feuchten Kammer bedeckt zu halten. Da auf diesem Verfahren meine gewonnenen Resultate beruhen, so will

ich dasselbe etwas ausführlicher schildern: Ich nahm eine aus Glas geblasene Geissler'sche Kammer, die etwa die Form einer Uhrkapsel hatte, möglichst dünnwandig war, und deren obere und untere Wand eben waren. An zwei sich gegenüberliegenden Punkten dieser Kammer befand sich Einfluss- und Ausflussröhre, die durch je einen Schlauch mit der in der feuchten Kammer befindlichen Oeffnung zweier knieförmig gebogenen Glasröhren verbunden wurden. An der Aussenöffnung der letzteren wurden wiederum zwei Schläuche angebracht, von denen der eine sich mittels einer T-Röhre in zwei Fortsetzungen gabelte, welche mit Hebern verbunden waren, während der andere Schlauch als Ausflussrohr zu einem unter dem Tisch stehenden Eimer führte; die beiden Heber tauchten in Wasserreservoirs, von denen das eine Wasser von Zimmertemperatur, gewöhnlich 15° C., ein zweites Eiswasser von 2° C., ein drittes abwechselnd Wasser von 25° C. und 35° C. enthielt. Es war nun leicht, verschieden temperirtes Wasser durch die Geissler'sche Kammer durchzuleiten. Auf derselben wurde das Untersuchungsobject zwischen zwei Thonlager von Kochsalzthon gelegt und die du Bois'schen unpolarisirbaren Electroden angedrückt. Das Ganze war während des Versuches von der feuchten Kammer bedeckt.

Es war nun anzunehmen, dass die thierischen Gebilde ziemlich genau die in der Geissler'schen Kammer befindliche Temperatur haben würden; denn die sehr dünnwandige Glasdecke der Kammer nahm die Temperatur sehr schnell an und die thierischen Gebilde, wie Muskel, Nerv, Haut — ich habe den Leitungswiderstand der letzteren auch untersucht, obgleich hier natürlich von reiner Längsdurchströmung nicht die Rede sein kann — wurden genügende Zeit der Einwirkung der temperirten Flüssigkeit ausgesetzt. Es wurde ferner dafür Sorge getragen, dass die Temperatur in den Wasserreservoirs sich auf constanter Höhe hielt;

während des Versuches strömte das Wasser die ganze Zeit hindurch, und die Messung selbst wurde erst gemacht, nachdem ungefähr in einem Zeitraum von ca. 15 Minuten $1\frac{1}{2}$ Liter der temperirten Flüssigkeit die Kammer passirt hatten. Ein Uebelstand war allerdings dabei. Man konnte nicht genau sagen, wie hoch wohl die Temperatur in der Geissler'schen Kammer, also in dem Muskel selbst war. Aber es konnte sich hier jedenfalls nur um eine geringe Differenz zwischen der Temperatur des Wasserreservoirs und der des Untersuchungsobjects handeln; und da das Verhältniss ein constantes war, so konnte man diesen Fehler füglich übergehen. Als Beweis aber dafür, dass dieses Verhältniss constant blieb, diente mir der Umstand, dass ich bei der Zimmertemperatur, von der ich ausging und auf die ich zwischen Abkühlung und Erwärmung immer wieder zurückkam, ziemlich genau denselben Widerstand wiederfand. Später habe ich, um dem Vorwurf zu begegnen, dass das Präparat nur mit einer Seite der Temperatureinwirkung ausgesetzt sei, die andere aber in die feuchte Kammer beliebig Wärme ausstrahlen resp. an sich ziehen könne, das Verfahren noch dadurch zu vervollkommen gesucht, dass ich noch eine zweite Geissler'sche Kammer durchströmen liess und diese dann auf das Untersuchungsobject oben auflegte. Aber es wurde auf diese Weise nichts Neues zu Tage gefördert, sondern nur die Versuche mit einer Kammer bestätigt. In dieser Weise ist nun eine grosse Reihe von Versuchen gemacht worden. Zunächst wurden jedes Mal vor Beginn derselben die Thonstiefel und Thonlager erneuert, um so immer weiche gute leitende Ueberträger zu haben; sie wurden mässig gross genommen, damit sie einerseits für sich nicht zuviel Widerstand darboten, andererseits weniger durch die Temperatur beeinflusst wurden, als das zwischenliegende dünne Gewebe. Dann wurde jedes Mal erst der absolute Widerstand der Thonlager + Thonstiefel

gemessen, der nachher bei der Berechnung des Muskelwiderstandes in Abzug kam. Was die Untersuchungsobjecte betrifft, so wurden von muskulösen Theilen vornehmlich frische, wärmestarre und gekochte Sartorien — weil bei ihrer Dünnheit anzunehmen war, dass sie am ehesten und sichersten durch die Temperatur beeinflusst würden — genommen; von Nerven frische und wärmetodte Ischiadici; schliesslich auch frische und wärmetodte Haut. Die sich bei den Versuchen ergebende Differenz des Widerstandes wurde schliesslich in Procente pro Grad berechnet, um so einen bessern Vergleichsanhalt zu haben. Ehe ich nunmehr auf das aus meinen Versuchen gewonnene Resultat eingehe, will ich kurz für jedes Untersuchungsobject ein Beispiel anführen.

Beispiel I. 5. XI. 86. Lebender Sartorius.

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Thonstiefel und Thonlager erneuert. Widerstand derselben 165 = 3952. Der Muskel sorgfältig präparirt und der Länge nach zwischengelegt.

Temperatur ¹⁾	Gefund. Rheochordstellung	Berechn. Netto-Werth des Widerstandes ²⁾	Mittelwerthe für 15° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Ins-gesammt	pro Grad
15° C	470	13784				
2° C	558	21298	13243	+ 8065	+ 60,8%	+ 4,68%
15° C	454	12682				
25° C	404	8608	12974	- 4366	- 33,7%	- 3,37%
15° C	448	13266				
35° C	353	7962	13176	- 5214	- 39,6%	- 1,72%
15° C	460	13086				

1) Selbstverständlich sind die Temperaturangaben die der Wasser-Reservoirs.

2) Der Widerstand der Electroden und Thonlager ist hier schon in Abzug gebracht.

Beispiel II. 7. XI. 86. Warmestarrer Sartorius.

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Widerstand der Thonstiefel + Thonlager 151 = 3558.

Die Schenkel eines enthäuteten Frosches werden wärmerstarr gemacht, gehörig abgekühlt und dann der Sartorius entnommen. Derselbe wird der Länge nach zwischen die Thonlager gelegt.

Temperatur	Gef. Rheochordstellung.	Berechn. Netto-Werth des Widerstandes	Mittelwerthe für 15° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Insgesamt	pro Grad
15° C	473	14396				
20 C	530	18996	14323	+ 4673	+ 32,6%	+ 2,5%
15° C	471	14250				
25° C	421	10984	14109	- 3125	- 22,1%	- 2,21%
15° C	467	13968				
35° C	393	9292	14254	- 3470	- 24,4%	- 1,22%
15° C	475	14540				

Beispiel III. 18. XI. 86. Gekochter Sartorius.

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Die Schenkel eines enthäuteten Frosches werden gekocht, gehörig abgekühlt und dann der Sartorius entnommen. Derselbe wird der Länge nach zwischen die Elektroden geschaltet.

Temperatur	Gef. Rheochordstellung	Berechn. Netto-Werth des Widerstandes	Mittelwerthe für 15° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Insgesamt	pro Grad
15° C	326	6254				
20 C	386	9154	6187	+ 2967	+ 47,95%	+ 3,69%
15° C	323	6120				
25° C	278	4282	5928	- 1646	- 27,7%	- 2,77%
15° C	314	5736				
35° C	240	2896	5588	- 2692	- 48,2%	- 2,41%
15° C	307	5440				

Beispiel IV. 8. II. 87. Lebende Nerven.

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Widerstand der Thonlager + Thonstiefel 152 = 3586.

Vier frische Ischiadici werden auspräparirt, neben einander gelegt, so dass sie sich seitlich berühren und dann der Länge nach zwischen die Thonlager geschaltet.

Temperatur	Gef. Rheochordstellung	Berechn. Netto-Verth des Widerstandes	Mittelwerthe für 15° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Insgesamt	pro Grad
15° C	642	32 288				
20° C	711	45 626	32 288	+ 13338	+ 41,39%	+ 3,18%
15° C	642	32 288				
25° C	599	26 292	32 288	- 5 996	- 18,6%	- 1,86%
15° C	642	32 288				
35° C	562	22 080	32 288	- 10 208	- 31,9%	- 1,73%
15° C	642	32 288				

Beispiel V. 8. II. 87. Todte Nerven.

Vergleichswiderstand = 10000 E.

Widerstand der Thonlager + Thonstiefel 237 = 3106.

Vier wärmetodte Ischiadici werden längs neben einander gelegt, so dass sie sich seitlich berühren und der Länge nach zwischen die Thonlager gelegt.

Temperatur	Gef. Rheochordstellung	Berechn. Netto-Verth des Widerstandes	Mittelwerthe für 15° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Insgesamt	pro Grad
15° C	835	47 556				
20° C	871	64 459	47 556	+ 16 903	+ 35,5%	+ 2,73%
15° C	835	47 556				
25° C	805	38 210	47 556	- 9 346	- 19,7%	- 1,97%
15° C	835	47 556				
35° C	783	33 003	47 556	- 14 553	- 30,6%	- 1,53%
15° C	835	47 556				

Beispiel VI. 11. XI. 86. **Frische Haut.**

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Widerstand zwischen Thonlager + Thonstiefel 205 = 5138.

Frische Froschhaut, ca. 1½ cm lang und 8 mm breit, wird zwischen die Thonlager längsgelegt.

Temperatur	Gef. Rheochordstellung	Berechn. Netto-Werth des Widerstandes	Mittelwerthe für 17° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Ins-gesammt	pro Grad
17° C	788	68 780				
20° C	845	104 008	68 131	+ 35 877	+ 52,16%	+ 3,48%
17° C	784	67 482				
25° C	755	56 508	67 614	- 11 106	- 16,48%	- 2,06%
17° C	786	67 746				
35° C	745	53 304	67 746	- 14 442	- 21,32%	- 1,18%
17° C	786	67 746				

Beispiel VII. 11. XI. 86. **Gekochte Haut.**

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Widerstand der Thonlager + Thonstiefel 205 = 5138.

Gekochte Haut, ca. 1½ cm lang und 8 mm breit, wird zwischen die Thonlager längs gelegt.

Temperatur	Gef. Rheochordstellung	Berechn. Netto-Werth des Widerstandes	Mittelwerthe für 17° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Ins-gesammt	pro Grad
17° C	697	41 062				
20° C	760	58 178	40 210	+ 17 968	+ 44,7%	+ 2,98%
17° C	690	39 358				
25° C	651	32 152	39 995	- 7 843	- 19,61%	- 2,45%
17° C	695	40 632				
35° C	612	26 394	40 847	- 14 453	- 35,4%	- 1,95%
17° C	697	41 062				



Die angeführten Versuche, und ebenso alle übrigen, ergeben auf das Bestimmteste, dass ein sehr bedeutender Einfluss der Temperatur auf den Leitungswiderstand thierischer Gewebe besteht. **Der Längswiderstand wird mit zunehmender Temperatur vermindert, mit abnehmender Temperatur vermehrt.** Er verhält sich also analog dem der Flüssigkeiten. Aber es ist diese Zunahme resp. Abnahme des Längswiderstandes nicht gleichmässig, sondern in einer Curve verlaufend, die mit abnehmender Temperatur steiler wird. Der Längswiderstand wird also **durch Kälte in höherem Masse vermehrt, als er durch Wärme vermindert wird.** Es gilt dieser Satz ganz gleich für den frischen, wie gekochten, wie starren Muskel; gleich auch für frische wie wärmetodte Nerven, für frische wie gekochte Haut. Das Mittel, aus mehr denn 30 Versuchen gezogen, ergab einen Procentzuwachs pro Grad für den

	frischen Muskel	starrten Muskel	gekochten Muskel	frischen Nerven	wärmetodten Nerven	frische Haut	gekochte Haut
Abkühlung von 15° C auf 2° C	+ 4,29 0/0	+ 3,59 0/0	+ 3,52 0/0	+ 3,15 0/0	+ 2,65 0/0	+ 4,1 0/0	+ 3,36 0/0
Erwärmung von 15° C auf 25° C	- 3,178 0/0	- 2,81 0/0	- 2,67 0/0	- 2,19 0/0	- 1,97 0/0	- 2,15 0/0	- 2,05 0/0
Erwärmung von 15° C auf 35° C	- 2,5 0/0	- 2,34 0/0	- 2,66 0/0	- 1,85 0/0	- 1,53 0/0	- 1,87 0/0	- 1,83 0/0

Es scheint nach diesen Mittelzahlen, als ob der Längswiderstand in lebenden Geweben am stärksten durch die Temperatur beeinflusst wird, und als ob dies am meisten geschieht im frischen Muskel, ferner dass die Kurve gekrümmter verläuft in lebenden Organen. Jedoch um darüber genauere Vergleiche anzustellen, dazu bedürfte es noch einer grösseren Reihe von Untersuchungen. Interessant

war es nun noch zu sehen, wie sich der Procentzuwachs der Flüssigkeiten, auf welche die Temperatur ja analog einwirkt, pro Grad verhält. Es berechnet sich ungefähr nach Becker's Versuchen¹⁾ für eine 8 % Kupfersulfatlösung — Erwärmung von Zimmertemperatur aus — etwas über **2 % pro Grad**; für eine 28 % Kupfersulfatlösung über **2¹/₂ % pro Grad**. Aus Wüllner²⁾ berechnet sich für eine 5 % Kochsalzlösung der Procentsatz auf ca. **2 %**. Schlecht leitende Flüssigkeiten sind leider gar nicht untersucht worden; es wäre möglich, dass ihr Leitungsvermögen stärker durch die Temperatur beeinflusst würde. Jedenfalls ersehen wir, wenn wir die Procentzahlen des Längswiderstandes thierischer Gewebe mit denen von Flüssigkeiten vergleichen, dass bei ersteren die Temperatur entschieden höhern Einfluss auf das Leitungsvermögen hat, als bei letzteren, wenigstens bei gut leitenden Flüssigkeiten.

II. Einfluss der Temperatur auf den Querwiderstand der Muskeln.

Interessant war es nun zu sehen, wie sich der Querwiderstand thierischer Gewebe, der, wie Hermann bekanntlich zuerst nachgewiesen hat, wesentlich auf Polarisation beruht³⁾ — im Gegensatz zum Längswiderstand — dem Temperatureinfluss gegenüber verhalten würde. Ich machte daher

1) Wiedemann, Galvanismus. 1. Aufl. Bd. I. S. 200.

2) Wüllner: Lehrbuch der Physik. 3. Aufl. 4. Bd. S. 497.

3) Hermann: Zusammenhang der Widerstandsverschiedenheiten mit der Polarisation an der Grenze von Hülle und Kern der Fasern. Pfügers Archiv für Physiologie. Bd. V pag. 232.

zwischen den Untersuchungen über den Längswiderstand eine Reihe solcher Versuche, bei denen ich in der Weise verfuhr, dass ich ein Muskelquadrat aus frischen wärme-starren und gekochten Muskel nahm, dasselbe nach dem oben mitgetheilten Verfahren erst der Länge nach durch-leitete und dann der Quere nach senkrecht zur Faserung. Zur Erläuterung möge ein Beispiel für den frischen und für den wärme-starren Muskel dienen.

Beispiel I. 14. XI. 86. Lebende Muskeln.

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Widerstand der Thonspitzen + Thonlager 127 = 2910.

Frisches Muskelquadrat von 5 □ mm dem Sartorius entnommen und zwischen die Elektroden gelegt.

A. Parallel der Faserung.

Tempe- ratur	Gef. Rheo- chordstel- lung.	Berechn. Netto- Werth des Wider- standes	Mittel- werthe für 17° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Ins- gesamt	pro Grad
17° C	187	1690				
20° C	241	3442	1922	+ 1520	+ 63,5%	+ 4,23%
17° C	202	2154				
25° C	182	1540	2345	- 805	- 34,3%	- 4,29%
17° C	214	2586				
35° C	175	1332	2700	- 1368	- 50,7%	- 2,82%
17° C	224	2864				

B. Senkrecht zur Faserung.

17° C	355	8100				
20° C	417	11396	7747	+ 3649	+ 47,1%	+ 3,14%
17° C	340	7394				
25° C	282	4946	7258	- 2312	- 31,9%	- 3,99%
17° C	334	7122				
35° C	260	4116	6921	- 2805	- 40,5%	- 2,25%
17° C	325	6720				

Beispiel II. 14. XI. 86. Wärmestarre Muskeln.

Vergleichswiderstand = 20000 E.

Widerstand zwischen Thonlager \perp Thonspitzen 127 = 2910.

Ein Quadratstück von 5 □ mm wird dem Sartorius eines wärmestarren Froschschenkels entnommen und zwischen die Elektroden geschaltet.

A. Parallel der Faserung.

Temperatur	Gef. Rheochordstellung	Berechn. Netto-Verth des Widerstandes	Mittelwerth für 17° C	Differenz	Procentzuwachs	
					Insgemein	pro Grad
17° C	218	2666				
2° C	274	4640	2716	+ 1924	+ 70,8%	+ 4,72%
17° C	221	2760				
25° C	200	2190	2732	- 542	- 19,8%	- 2,48%
17° C	219	2698				
35° C	174	1304	2781	- 1477	- 53,1%	- 2,95%
17° C	224	2864				

B. Senkrecht zur Faserung.

17° C	228	2998				
2° C	284	5024	3031	+ 1993	+ 65,7%	+ 4,38%
17° C	230	3064				
25° C	204	2216	3047	- 831	- 27,3%	- 3,41%
17° C	229	3030				
35° C	186	1660	3115	- 1455	- 46,2%	- 2,56%
17° C	234	3200				

Es zeigte sich also, wie auch aus den Beispielen ersichtlich ist, derselbe Einfluss der Temperatur auf den Querwiderstand; d. h. letzterer nimmt ab mit der Erwärmung und zu mit der Abkühlung. Auch hier ist die Zunahme des Widerstands verhältnissmässig grösser als die Abnahme. Daneben war auch ersichtlich, dass, wie Hermann

zuerst nachgewiesen hat,¹⁾ der Querwiderstand im frischen Muskel bedeutend grösser ist als parallel der Faserung, dass er bei längerer Durchströmung allmählich zunimmt und dass dieser Unterschied zwischen Längs- und Querwiderstand im starren Muskel fast aufgehoben ist.

Es kam mir nun darauf an, zu constatiren, ob nicht doch feinere Unterschiede in der Temperaturbeeinflussung beider Widerstände bestehen. Ich verglich daher die Procentzahlen bei beiden, konnte aber auf diesem Wege zu keinem sicheren Resultat kommen. Die Procentsätze schwankten so sehr, dass sich Mittelzahlen nicht vergleichen liessen. Es schien demnach nach diesen Versuchen, als ob wirklich kein Unterschied bestehe. Dies Resultat befriedigte mich keineswegs, und um nicht zu voreilig ein definitives Urtheil zu fällen, betrat ich bei der Untersuchung dieser Frage einen neuen und zugleich vollkommeneren Weg, bei dem ich auf die absolute Grössenbestimmung des Temperatureinflusses verzichtete, statt dessen aber das Verhältniss von Quer- und Längswiderstand jedesmal direct bestimmte, und zwar bei verschiedenen Temperaturen. Um dies thun zu können, nahm ich 4 unpolarisirbare Elektroden und legte sie mit ihren Spitzen derartig an die 4 Seiten eines gewöhnlich dem Gracilis entnommenen Muskelquadrats, dass 1 und 3 der Länge nach, 2 und 4 der Quere nach das Präparat durchleiteten. Die 4 Leitungsdrähte gingen von den Elektroden zu einer Wippe und ich konnte nun durch Umlegen derselben jedesmal dicht hintereinander den Längs- und Querwiderstand bei bestimmter Temperatur bestimmen. Die Temperatur variierte ich natürlich wie bei den früheren Versuchen; nur dass ich mich mit einem Erwärmungsgrade

1) Hermann: Die Verschiedenheit des galv. Leitungswiderstandes der Muskeln und Nerven in Längs- und Querrichtung. Pflüger's Archiv für Physiologie. Bd. V. pag. 223.

begnügte, bei welchem Wasser von 40^o C. die Geissler'sche Kammer durchströmte. Die Abkühlung geschah wiederum durch Eiswasser; zwischen beiden Temperaturen wurde das Präparat jedesmal auf Zimmertemperatur gebracht. Ich füge hier einige Versuche nach dieser Methode an:

Beispiel I. 8. III. 87.

Vergleichswiderstand = 10000 E.

Widerstand der Elektroden 1 u. 3 (Längs) 150 — 1765.

Widerstand der Elektroden 2 u. 4 (Quer) 135 — 1561.

Aus einem frischen Gracilis wird ein Muskelquadrat geschnitten und dasselbe zwischen die Elektroden gelegt.

Temperatur	Art der Durchleitung	Gef. Rheochordstellung	Berechneter Netto-Werth	Es verhält sich also Längs- zu Querwiderstand wie
15 ^o C	Längs	265	1811	1 : 3,17
	Quer	425	5837	
2 ^o C	Längs	326	4835	1 : 2,68
	Quer	495	9801	
	Längs	332	4970	1 : 2,51
	Quer	490	9608	
15 ^o C	Längs	282	2163	1 : 2,65
	Quer	422	5741	
	Längs	280	2126	1 : 2,67
	Quer	420	5680	
40 ^o C	Längs	213	942	1 : 2,80
	Quer	330	3364	
	Längs	221	1073	1 : 3,39
	Quer	342	3638	
15 ^o C	Längs	280	2126	1 : 2,67
	Quer	420	5680	

Beispiel II. 12. III. 87.

Vergleichswiderstand 15000 E.

Widerstand der längs durchleitenden Elektroden
188 = 3973.

Widerstand der querdurchleitenden 145 = 2544.

Aus einem frischen Gracilis wird ein Muskelquadrat entnommen und dasselbe zwischen die Elektroden geschaltet.

Temperatur	Art der Durchleitung	Gef. Rheochordstellung	Berechneter Netto-Werth	Es verhält sich also Längs- zu Querwiderstand wie
15° C	Längs	320	3086	1 : 4,88
	Quer	540	15064	
	Längs	320	3086	1 : 4,88
	Quer	540	15064	
20° C	Längs	395	5822	1 : 4,35
	Quer	650	25312	
	Längs	390	5616	1 : 4,02
	Quer	635	22559	
15° C	Längs	330	3414	1 : 5,58
	Quer	590	19041	
	Längs	335	3584	1 : 5,31
	Quer	590	19041	
40° C	Längs	255	1166	1 : 9,84
	Quer	483	11469	
	Längs	260	1296	1 : 9,45
	Quer	497	12279	
15° C	Längs	365	4650	1 : 4,66
	Quer	627	21675	
	Längs	370	4836	1 : 4,48
	Quer	627	21675	

Beispiel III. 12. III. 87.

Vergleichswiderstand 15000 E.

Widerstand der längsdurchleitenden Elektroden
132 = 2280.

Widerstand der Querdurchleitenden 127 = 2181.

Muskelquadrat aus dem Gracilis zwischengelegt wie
vorher.

Temperatur	Art der Durchleitung	Gef. Rheochordstellung	Berechneter Netto-Werth	Es verhält sich also Längs- zu Querwiderstand wie
15° C	Längs	275	3411	1 : 2,06
	Quer	380	7012	
	Längs	275	3411	1 : 2
	Quer	375	6820	
20° C	Längs	310	4459	1 : 2,15
	Quer	440	9604	
	Längs	310	4459	1 : 2,21
	Quer	445	9847	
15° C	Längs	275	3411	1 : 2,39
	Quer	408	8158	
	Längs	275	3411	1 : 2,39
	Quer	408	8158	
40° C	Längs	212	1756	1 : 2,87
	Quer	325	5041	
	Längs	216	1852	1 : 2,9
	Quer	335	5376	
15° C	Längs	278	3496	1 : 2,73
	Quer	439	9556	
	Längs	280	3553	1 : 2,77
	Quer	445	9847	

Diese Versuche zeigten nun doch einen entschiedenen Unterschied der Temperaturbeeinflussung auf beide Richtungen. Zwar war dieser Unterschied sehr schwankend — man vergleiche nur Beispiel II und III — aber es zeigt sich trotzdem constant, dass das Widerstandsverhältniss in der Wärme verstärkt wird, während dasselbe in der Kälte deutlich abnahm. Wir können somit nach diesen Versuchen annehmen, **dass der Querwiderstand durch Wärme stärker beeinflusst wird als der Längswiderstand.** Man war hierzu noch um so mehr berechtigt, als die Versuche mit den Spitzenelektroden eigentlich keine reinen Längs- und Querdurchleitungen sein konnten, da sich bei Längsdurchleitung viel Querwiderstand, bei Querdurchleitung viel Längswiderstand einmischte und somit verhindert, dass der Unterschied in beiden Richtungen prägnanter hervortritt. Ich suchte nun diesem dadurch zu begegnen, dass ich statt der spitzen Elektroden breite nahm, deren meisselförmige Enden jedes die Seite eines Quadrates einnahmen, ohne sich gegenseitig jedoch zu berühren. Es bildete sich hier aber leicht eine Nebenschliessung, der Strom konnte den Weg von Elektrode zu Elektrode an den Kanten wählen, da er hier nur eine kleine Muskelstrecke zu passiren hatte. Ich gab daher diese Versuche wieder auf und behielt die frühere Spitzenableitung bei. Ich glaube auch, dass sie in der That den Beweis eines ungleichen Temperatureinflusses vollgültig geliefert haben.

III. Einfluss der Temperatur auf die innere Polarisation der Muskeln und Nerven.

Ich komme nunmehr hiermit zu dem dritten und letzten Abschnitt meiner Arbeit. Es war mir diese Frage nach dem Temperatureinfluss auf die Polarisation um so

interessanter, als ein grosser Theil des Querwiderstandes ja bekanntlich auf innerer Polarisation beruht. Ich konnte somit hoffen, durch Klärung dieser Frage noch weiter die Resultate des Abschnittes II zu unterstützen.

In der Literatur fand ich nur Angaben über die Polarisation durch Gase, die, wie Poggendorff, Robinson und Beetz nachgewiesen haben, mit der Temperaturerhöhung herabgesetzt wird, proportional der letzteren.¹⁾ Die Polarisation thierischer Theile war jedoch in dieser Richtung bisher nicht untersucht worden.

Am einfachsten und sichersten hätte man nun den Einfluss der Temperatur bestimmen können, wenn es möglich gewesen wäre, die Polarisationsconstante bei verschiedenen Temperaturen zu messen und nachher zu vergleichen. Dies ging jedoch nicht an, weil man zu gleicher Zeit auch dem Umstand Rechnung zu tragen hatte, dass der Leitungswiderstand, wie ja bekannt, sehr wesentlich durch die Temperatur beeinflusst wird, ohne dass sich genau sagen liess, um wieviel dies jedesmal geschah. Hermann hatte bei seinen Untersuchungen über den Polarisationszustand unmittelbar nach der Oeffnung²⁾ das Missliche der Variabilität des Leitungswiderstandes erkannt und schritt daher zu einem Verfahren, bei welchem er gleichzeitig zwei Untersuchungsobjecte von derselben Stromstärke, aber im umgekehrten Sinne durchströmen liess. Wenn nun der Galvanometerkreis geöffnet wurde und der Boussolekreis schnell geschlossen, dann trafen sich zwei Polarisationsströme von entgegengesetzter Phase und es kam mithin nur ihre Differenz zum Ausdruck. Nach der Richtung desselben konnte man stets entscheiden, welche Polarisation überwog. Dieses selbe Verfahren ist mit

1) Wiedemann, Elektrizität. 3. Aufl. 1882. Bd. II. 773.

2) Siehe Pflüger's Archiv für Physiologie. Bd. V. pag. 240.

einigen kleinen Modificationen auch hier in Anwendung gekommen. Ich schildere es im Folgenden ausführlicher; die beigeheftete Tafel wird zur deutlichen Anschauung wesentlich beitragen.

Der polarisirende Strom ging von der Kette K, die gewöhnlich aus 18 Grennet's, bei den letzten Versuchen aus 10 kleinen Grove's bestand, zu Wippe W_1 und liess sich durch einen Schlüssel beliebig öffnen und schliessen. Von hier durchströmte er bei Wippenlage I in der Pfeilrichtung $a b c$ zuerst das linke Untersuchungsobject (A) von links nach rechts, ging dann zur Doppelwippe D. W., deren rechte Seite in den Galvanometerkreis eingeschaltet war, durchströmte von hier weiter in der Pfeilrichtung $d e f$ das rechte Object (B) von rechts nach links, ging zur Doppelwippe zurück und von da schliesslich zur Kette. (Bei Wippenlage II ging der Strom in umgekehrter Richtung durch die Präparate.) Schnelles Umlegen der Doppelwippe auf die linke Seite, welche in Ruhelage dauernd Contact hatte, leitete dann die beiden Polarisationströme hinter einander zum Galvanometer. Da diese dem polarisirenden Strom entgegengesetzt sind, dieser aber in dem Präparat A von links nach rechts, in Präparat B von rechts nach links floss, so musste, wenn die sich zeigende Differenz bei Wippenlage I einen Ausschlag im Sinne eines Stromes nach links gab, die Polarisation des linken Objectes überwiegen und umgekehrt.

Die Polarisationsströme wurden durch 4 unpolarisirbare Elektroden zur Boussole geleitet, von denen je zwei einem Präparat anlagen. Der polarisirende Strom aber wurde in der Weise zugeleitet, dass in die Wand der mit Zinksulfatlösung gefüllten Glasröhren der Elektroden eine seitlich abgebogene zweite Röhre eingelassen wurde in Form einer Gabelröhre. Sie war ebenfalls mit Zinksulfat-

lösung gefüllt, in welche amalgamirte bajonettförmige Zinkstäbe tauchten. Es wurde auf diese Weise vermieden, dass eine und dieselbe Elektrode sowohl den polarisirenden Strom zuführte als auch die Polarisation ableitete, und man war daher sicher, etwaige von den Elektroden herrührende Polarisationen auszuschalten. Statt der Doppelwippe hatte ich anfangs zwei gewöhnliche Wippen, von denen die eine in den Boussolkreis, die andere in den Galvanometerkreis eingeschaltet war. Sie wurden dann schnell hintereinander umgelegt. Um dieses Umlegen noch schneller zu machen, wurde jene Doppelwippe genommen. Sie erfüllte auch vollständig ihren Zweck; nur zeigten sich geringe Isolationsstörungen, die compensirt werden mussten. Als Untersuchungsobjecte wurden entweder frische Sartorien oder frische Ischiadici vom Frosch verwandt. Sie wurden der Länge nach zwischen die Elektroden gelegt und zwar behielt das Präparat der einen Seite stetig Zimmertemperatur. Das andere wurde abwechselnd mit (zwischen geschalteter Zimmertemperatur) erwärmt und abgekühlt. Hierzu diente uns wieder die bekannte Geissler'sche Kammer, die mit verschieden temperirtem Wasser durchspült wurde. Später vervollkommnete ich das Verfahren noch in der Weise, dass ich jeden Muskel auf eine solche Kammer legte, ich konnte daher bald den einen, bald den anderen Muskel temperiren, ja, um den Gegensatz möglichst gross zu machen, konnte ich zu gleicher Zeit den einen abkühlen, den anderen erwärmen. Bei jedem Versuche wurden erst die Ruheströme compensirt durch die eingeschaltete Compensationsvorrichtung kr, dann wurde der polarisirende Strom, während beide Objecte Zimmertemperatur hatten, $\frac{1}{2}$ Minute lang geschlossen — später nur 10 Secunden lang, die durch Metronomschläge vorgezählt wurden — und dann die Doppelwippe schnell auf Boussolschluss gelegt. In dieser Doppelwippe hatte ich anfangs zur Herstellung des Contacts

Amalganfüllung; da dieselbe aber nicht ganz zuverlässig erschien, so nahm ich später statt ihrer Quecksilbercontact. Es wäre nun zu wünschen gewesen, dass beide Polarisationen bei Zimmertemperatur sich aufhoben, mithin kein Ausschlag des Spiegels erfolgte, jedoch war in praxi dies kaum zu erwarten, da zuviel Zufälligkeiten mit im Spiel waren; es überwog daher gewöhnlich die Polarisation des einen oder des anderen Muskels. Dieser überwiegende wurde dann abgekühlt und die Polarisationsdifferenz gemessen, dann dazu noch der andere Muskel erwärmt und die Differenz wieder verzeichnet. Jetzt brachte ich beide Untersuchungsobjecte auf Zimmertemperatur zurück, las ab, und machte nun das eben geschilderte Verfahren in umgekehrter Weise, indem ich den zuerst abgekühlten Muskel jetzt erwärmte, während der andere abgekühlt wurde. Während der Versuche wurde der Polarisationsstrom jedes Mal noch durch Umlegen der Wippe W_1 in umgekehrter Richtung, durchgeschickt. Die Versuche selbst wurden jedes Mal eingeleitet durch Vorversuche, in welchen die Polarisation jedes Muskels für sich allein bei Zimmertemperatur gemessen wurde und wobei man stets starke schnell zurückgehende Ausschläge zu Gesicht bekam.

Ich führe jetzt aus den zahlreichen Versuchen zwei Beispiele an, eines von Muskeln, das andere von Nerven. Die Pfeile in Rubrik 5, 6, 9, 10 bezeichnen die Richtung des polarisirenden Stromes bei Wippenlage I und II. Eine Bewegung des Scalensbildes — die in Rubrik 7 u. 11 ebenfalls durch Pfeile angezeigt ist — nach links bei Wippenlage I bedeutet ein Ueberwiegen der Polarisation des linken Objects (A); nach rechts ein Ueberwiegen der Polarisation des rechten (B); umgekehrt ist es der Fall bei Wippenlage II.

Beispiel I.

Versuchsobject.	Verschiedene Temperaturerwir- kung auf Object A und B	Polari- sations-Kette	Richtung des Polari- sations- stromes bei Wippen- lage I in	Rechnete Ab- lenkung in Zen- ten bei Wippen- lage I	Polarsation bei Wippenlage I ver- stärkt in	Richtung des Polari- sations- stromes bei Wippen- lage II in	Rechnete Ab- lenkung in Zen- ten bei Wippen- lage II	Polarsation ver- stärkt bei Wippen- lage II in	Es überwiegt also Polari- sation von
	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	
Zwei frische Sartorien der Länge nach durch- strömt.	15° C 15° C	9 Creamets	> "	< "	A A	< "	> "	B A	unbestimmt.
Im Vorversuch ergab: 1) B allein für sich durch- strömt bei 15° C. Lage I > 198 Lage II > 152	15° C 2° C	"	" "	" "	B B	" "	" "	B B	unbestimmt.
2) A allein für sich durch- strömt bei 15° C. Lage I > 181 Lage II < 213	35° C 2° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	B B	unbestimmt.
	15° C 15° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	A A	A.
	2° C 15° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	A A	A.
	2° C 35° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	A A	A.

Beispiel II.

Zwei frische Ischiaelrei der Länge nach durch- strömt.	15° C 15° C	10 Grove	> "	< "	B B	> "	< "	B A	unbestimmt.
	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	
Im Vorversuch ergab: 1) A allein bei 15° C. Lage I > 186 Lage II < 131	15° C 2° C	"	" "	" "	B B	" "	" "	B A	Es scheint A zu über- wiegen.
2) B allein für sich bei 15° C. Lage I < 149 Lage II > 138	35° C 2° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	A A	Es scheint A zu über- wiegen.
	15° C 15° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	A A	A.
	2° C 15° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	A A	A.
	2° C 35° C	"	" "	" "	A A	" "	" "	A A	A.

Bei diesen und den zahlreichen übrigen Versuchen dieser Art zeigte sich, dass entweder während der ganzen Dauer des Versuches die Polarisation des einen Untersuchungsobjectes überwog, oder dass dieselbe zwar abnahm, aber gleichgültig, ob gerade erwärmt oder abgekühlt wurde, schliesslich, dass sogar bei einfachem Umdrehen des polarisirenden Stromes häufig die Polarisationsdifferenz wechselte, so dass man annehmen konnte, dieselbe befinde sich in labilem Gleichgewicht und je nach irgend welchen Zufälligkeiten trete sie auf die Seite des einen oder anderen Objectes. Es hätte nun vielleicht nahe gelegen, die Ausschläge in Bezug auf ihre Stärke unter einander zu vergleichen, aber einmal waren dieselben bei ein und derselben Temperatur sehr variabel, andererseits liess sich schwer sagen, wieviel des gefundenen Unterschiedes nicht etwa auf Rechnung von Interferenz der sog. positiven Nachströme¹⁾ kam. Es musste also hierauf verzichtet werden und man konnte nur dann von einem Einfluss der Temperatur reden, wenn er eine entschiedene Umkehr der Polarisationsdifferenz bewirkte, wenn also z. B. die Polarisation des rechten Muskels die bei Zimmertemperatur überwiegen möge, nachher entweder durch Kälte oder Wärme derartig vermindert wurde, dass die Polarisation des linken Muskels überwog. Das war aber niemals deutlich der Fall. Es zeigte sich also kurz kein Einfluss der Temperatur auf die Polarisation, oder ein so geringer, dass er innerhalb der Fehlergrenzen lag.

Dass nun diese Versuche keinen Einfluss der Temperatur auf die Polarisation der thierischen Theile ergeben haben, ist noch kein Beweis, dass ein solcher nicht existirt. Denn wir haben die Polarisation nur durch die elektromotorische Kraft des Nachstromes gemessen; es wäre aber

1) Um diese letzteren möglichst auszuschliessen, war die Schliessungszeit ziemlich lang genommen (s. oben S. 24).

sehr wohl möglich, dass die Wärme die Polarisation verstärkt, aber in gleichem Grade die Depolarisation beschleunigt, so dass der Rückstand, welcher in einem gewissen Intervall nach der Oeffnung vorgefunden wird, von der Temperatur unabhängig erscheint. Um die Frage definitiv zu entscheiden, müsste die Polarisation im Schliessungszustande bestimmt werden können, wozu kein directes Mittel existirt. Ein indirectes Mittel bietet sich beim Nerven in der Messung des extrapolaren Elektrotonus dar und in dieser Hinsicht hat A. von Gendre¹⁾ constatirt, dass Kälte den Elektrotonus, also wahrscheinlich die Polarisationsconstante, vermindert. Trotz unseres Ergebnisses bleibt es daher wahrscheinlich, dass die Temperatur nicht ohne Einfluss auf die Polarisirbarkeit ist, sondern dieselbe in der Wärme zu- und in der Kälte abnimmt.

Schlussbemerkungen.

Es bleibt schliesslich noch übrig nachzusehen, ob die im zweiten Abschnitt nachgewiesene Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen Längs- und Querwiderstand der Muskeln von der Temperatur einen Schluss bezüglich des Verhaltens der Polarisation zulässt. Wir legen dieser Betrachtung die aus verschiedenen Gründen sehr wahrscheinliche Annahme zu Grunde, dass die relative Grösse des Querwiderstandes von einer polarisatorischen Gegenkraft herrührt, welche bei der Längsdurchströmung so gering ist, dass sie vernachlässigt werden kann.²⁾ Nehmen wir an, dass diese Gegenkraft dem Strome innerhalb gewisser Grenzen proportional ist, so wirkt sie genau wie ein constanter Uebergangs-

1) A. von Gendre: Ueber den Einfluss der Kälte auf den Elektrotonus. Pflüger's Archiv Bd. XXXIV pag. 429.

2) Hermann: Ueber eine Wirkung galvanischer Ströme auf Muskeln und Nerven. Pflüger's Archiv Bd. V pag. 235.

widerstand, wie leicht zu zeigen ist. Nehmen wir zunächst einen einfachen Stromkreis mit der Kettenkraft e , dem Widerstand w und der Gegenkraft $p = \alpha i$, so ist die Stromintensität i gegeben durch

$$i = \frac{e - p}{w} = \frac{e - \alpha i}{w},$$

woraus sich ergibt

$$i = \frac{e}{w + \alpha};$$

die Constante α also verhält sich wie ein hinzukommender Widerstand.

Ebenso ist es in der Wheatstone'schen Combination. In derselben ist, wenn der Brückenweig stromlos ist, der Strom in den beiden verglichenen Widerständen w_1 (Muskel) und w_2 (Rheostat) gleich stark, wir nennen ihn i ; ebenso in den beiden anliegenden Theilen des Messdrahts w_3 und w_4 , diesen nennen wir i_1 ; der Hauptkreis mit der Kette e hat also die Intensität $i + i_1$. Aus den Kirchhoff'schen Sätzen ergibt sich nun, wenn wiederum $p = \alpha i$ die Gegenkraft im Muskelpräparat bedeutet,

$$\begin{aligned} (i + i_1) w + i_1 (w_3 + w_4) &= e \\ i_1 w_3 - i w_1 &= p = \alpha i \\ i_1 w_4 - i w_2 &= 0 \end{aligned}$$

Hieraus berechnet sich als Bedingung der Stromlosigkeit der Brücke

$$w_2 w_3 = (w_1 + \alpha) w_4$$

d. h. α tritt als ein zu w_1 sich addirender constanter Uebergangswiderstand auf. Da nach unserer Annahme w_1 der Längs- und $w_1 + \alpha$ der Querwiderstand des Muskelquadrates ist, so ist das Verhältniss beider Widerstände

$$Q = \frac{w_1 + \alpha}{w_1} = 1 + \frac{\alpha}{w_1};$$

da die Wärme w_1 verkleinert, so bedeutet Zunahme dieses Verhältnisses in der Wärme, dass α , d. h. die Polarisation durch Wärme entweder zunimmt, oder unverändert bleibt, oder weniger verkleinert wird als der eigentliche Widerstand w_1 . Das Versuchsergebniss des zweiten Abschnitts verträgt sich also sowohl mit unserem directen Ergebniss im letzten Abschnitt, wie mit der oben ausgesprochenen Vermuthung.

Aehnlich ist es, wenn die Polarisation p vom Strom unabhängig ist, wenn z. B. der Strom im Präparat so stark wäre, dass das Polarisationsmaximum erreicht wird. Obgleich dieser Fall bei dem Wheatstone'schen Verfahren, in welchem nur sehr schwache Stromzweige durch das Präparat gehen, sicher nicht eintritt, wollen wir doch nicht unterlassen, auch ihn zu untersuchen. Die Kirchhoff'schen Sätze ergeben jetzt (p ist eine Constante):

$$\begin{aligned} (i + i_1) w + i_1 (w_3 + w_4) &= e \\ i_1 w_3 - i w_1 &= p \\ i_1 w_4 - i w_2 &= 0. \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich als Bedingung für die Stromlosigkeit der Brücke

$$w_2 w_3 = w_1 w_4 + \frac{p}{e} (w w_4 + w_2 (w + w_3 + w_4)).$$

Betrachten wir wiederum die scheinbare Vergrösserung des Widerstandes w_1 durch die Polarisation wie einen Uebergangswiderstand α , so würde dessen Grösse gegeben sein durch die Gleichung

$$w_2 w_3 = (w_1 + \alpha) w_4.$$

Durch Gleichsetzung der rechten Seiten der beiden letzten Gleichungen ergibt sich der Uebergangswiderstand

$$\alpha = \frac{p}{e} \left(w + \frac{w_2}{w_4} (w + w_3 + w_4) \right),$$

und da $w + w_3 + w_4$ eine constante Summe haben, welche wir s nennen wollen, so ist

$$\alpha = \frac{p}{e} \left(w + \frac{w_2}{w_4} \cdot s \right),$$

wofür man, da w wegen der Grösse von w_2 gegen das zweite Glied der Klammer zu vernachlässigen ist, auch schreiben kann

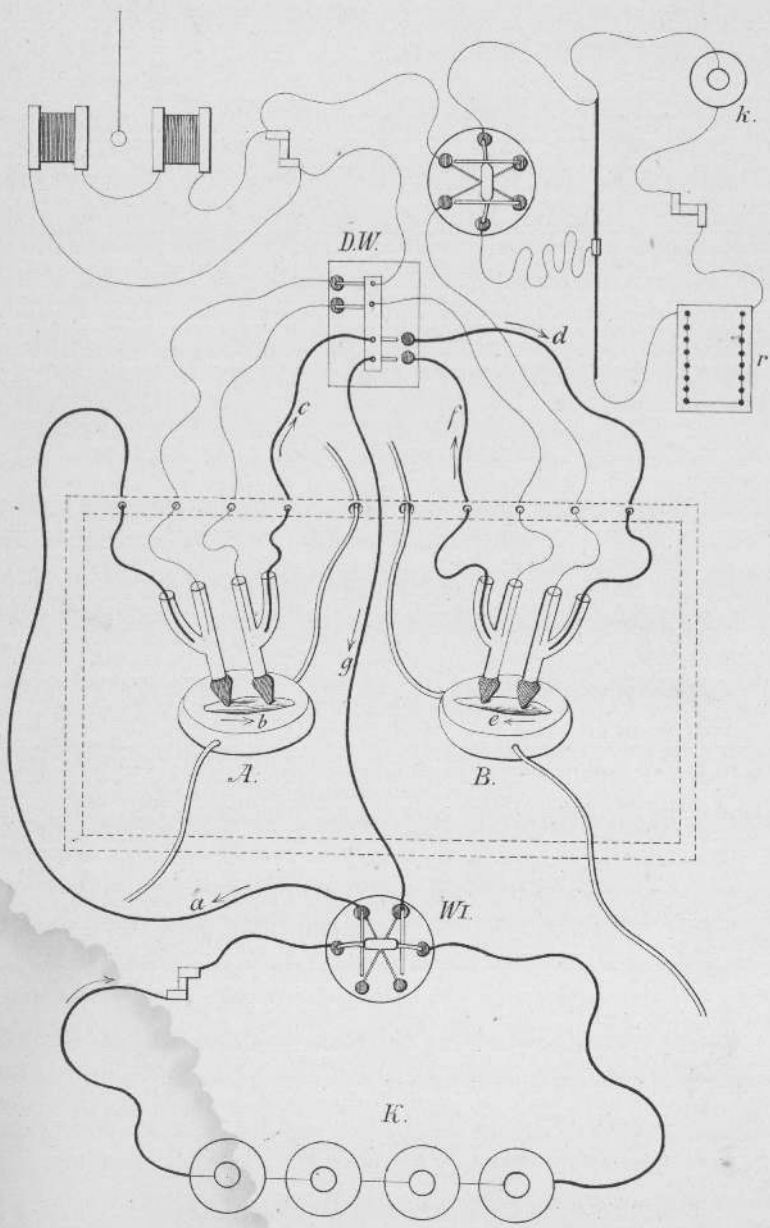
$$\alpha = \frac{p \cdot w_2}{e \cdot w_4} \cdot s.$$

Das Verhältniss Q von Längs- und Querwiderstand ist wiederum

$$Q = \frac{w_1 + \alpha}{w_1} = 1 + \frac{\alpha}{w_1},$$

und wiederum ergibt sich ein ähnliches Resultat wie oben hinsichtlich des Einflusses der Temperatur; nur ist zu beachten, dass der Einfluss der Temperatur auf α jetzt nicht unmittelbar den Einfluss auf die Polarisation p ausdrückt, weil der Ausdruck für α die mit zunehmendem p abnehmende Grösse w_4 enthält, so dass α rascher wächst als p . Jedoch überzeugt man sich leicht, dass dieser Umstand nur das zur Folge hat, dass, wenn die Polarisation durch Wärme weniger vermindert wird als der Widerstand, der Quotient $\frac{w_1 + \alpha}{w_1}$ von einer gewissen Grenze ab nicht vergrössert, sondern verkleinert wird.

Schliesslich sei es mir vergönnt, Herrn Prof. Dr. Hermann an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank auszusprechen für das grosse Interesse, welches er meiner Arbeit gewidmet, sowie für die vielseitige Anregung, die mir bei derselben zu Theil geworden.



Schema zu Abschnitt III: Innere Polarisation thierischer Gewebe.
a b c d f g Richtung des polarisirenden Stromes.

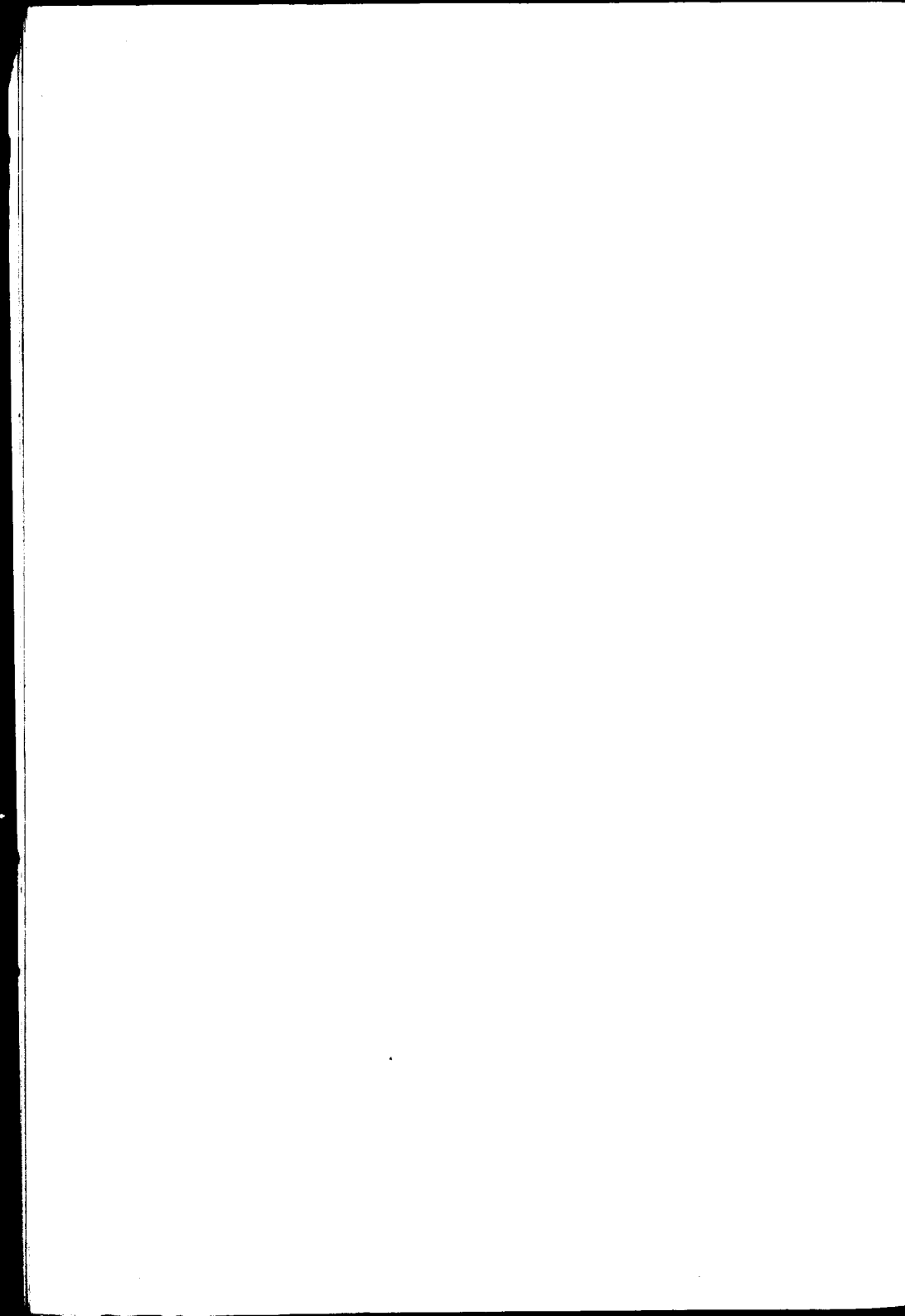


Thesen.

1. Der Sitz der Lymphherz - Automatie ist in peripheren Ganglien zu suchen, nicht im Spinalmark.

2. Der Amputation carcinomatöser Mammae ist stets die Toilette der betreffenden Achselhöhle hinzuzufügen.





VITA.

Ich, Franz Boll, bin am 4. October 1861 in Coeslin in Pommern geboren. Von 1870 bis 1881 besuchte ich das Gymnasium zu Stolp. Von 1881 bis 1886 studirte ich Medicin in Königsberg. Am Ende des vierten Semesters bestand ich das Tentamen physicum, am 24. Januar 1887 die medicinische Staatsprüfung.

Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen folgender Herren Professoren und Privatdocenten:

Albrecht, Baumgarten, Burow †, Benecke †, Dohrn, Falkson, Grünhagen, Hertwig, Jacobson, Jaffé, Langendorff, Lossen, Münster, Naunyn, Neumann, Pape, Schneider, Schoenborn, Schreiber, Schwalbe, Stetter, Vossius, v. Wittich, Zaddach †.

Allen diesen verehrten Lehrern sage ich meinen herzlichsten Dank.



14608

14608