

(Physiologisches Laboratorium in Leyden.)

Ueber die Form des menschlichen Electrocardiogramms.

Von

W. Einthoven.

Hierzu Tafel III und IV und 4 Textfiguren.

§ 1. Einleitung.

Vor mehr als 6 Jahren bereicherte Augustus D. Waller¹⁾ die Wissenschaft mit der Kenntniss des menschlichen Electrocardiogrammes. Er zeigte, dass die rhythmischen Schwankungen, welche der electrische Spannungsunterschied zwischen den verschiedenen Stellen des Körpers erfährt, auf keine andere Weise als durch die electromotorischen Wirkungen des Herzmuskels verursacht werden. Dass weiter der ganze Körper durch eine schräge, die Achse des Herzens quer durchschneidende Fläche in zwei Theile getheilt wird, wovon der eine die electrische Spannung der Herzbasis, der andere die der Herzspitze annimmt. Der erste Theil enthält das Haupt und den rechten Arm, der zweite Theil den linken Arm und die beiden Beine.

Ueber die Form des Electrocardiogrammes spricht Waller sich weniger entschieden aus. Erstens weist er auf die geringe Amplitude der Quecksilberbewegung hin²⁾, welche die Beurtheilung ihrer Richtung erschwert und ferner ist er sich vollkommen davon bewusst, „dass die durch den Quecksilberfaden geschriebene Curve weder die Dauer noch die

1) Augustus D. Waller, On the electromotive changes connected with the beat of the mammalian heart and of the human heart in particular. Philosoph. Transactions of the Royal Soc. of London, 1889. Vol. 180 B, p. 169.

2) Journal of physiol. 1887, Vol. 8, p. 233.

Grösse einer schnellen electromotorischen Schwankung richtig anzeigt¹⁾. Er erklärt, die Grösse der Abweichung nicht bestimmen zu können.

Vielleicht muss es diesem Umstande und ferner den mit der Untersuchung verbundenen grossen technischen Schwierigkeiten zugeschrieben werden, dass dem Waller'schen Electrocardiogramme so wenige andere folgten. Für so weit mir bekannt ist, bestehen deren nur vier: zwei von Bayliss und Starling²⁾ und zwei, die Dr. de Vogel³⁾ in seiner Habilitationsschrift publicirt hat. Vergleichen wir die Form dieser Curven mit einander, so fallen uns nicht unbedeutende Unterschiede auf. Sollten diese persönlichen Unterschieden zuzuschreiben sein? Es scheint mir, dass man andere Ursachen dafür ausfindig machen kann.

An erster Stelle weisen wir auf die mechanischen Erschütterungen hin, welche die feine Capillarröhre des Electrometers öfters erfährt; sie sind bisweilen schwer zu vermeiden und veranlassen manchmal bedeutende Verunstaltungen, namentlich derjenigen Curven, welche bei starken Vergrösserungen registriert sind. Sodann ist es möglich, dass die Stelle, wo die Electroden angelegt werden, nicht ohne Einfluss auf die Form des Electrocardiogrammes ist. Während Waller beim Anfertigen seines Photogrammes in den Philosophical Transactions vom Munde und dem linken Fuss ableitete, leiteten Bayliss und Starling von der regio cordis in der Nähe des Apex und dem rechten Arme ab; de Vogel legte die Electroden an beiden Händen an. Es ist aber gewiss von der grössten Bedeutung, dass die Ausschläge des Capillarelectrometers, obwohl sehr schnell — schneller als irgend eines anderen electrischen Messwerkzeuges — doch nicht momentan sind, so dass keine, durch den Capillarelectrometer geschriebene Curve als solche eine richtige Vorstellung einigermaßen schneller Schwankungen des Potentialunterschiedes geben kann. Wünscht man eine Curve, die dieser letzteren Anforderung genügt, so muss man sie construiren und zwar nach Grössen, welche ausser durch

1) Philosoph. Transactions of the Royal Soc. of London, 1887, Vol. 178 B, p. 236.

2) Bayliss and Starling, Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. 1892, Bd. 9, S. 256.

3) Onderzoekingen physiol. laborat. Leiden. 2^e Reeks. I.

die Dimensionen der registrierten Curven selbst, auch noch durch die Eigenschaften des angewendeten Werkzeuges, die angewendete Vergrößerung und die Bewegungsgeschwindigkeit der lichtempfindlichen Platte gegeben sind.

Wir geben hier die Resultate einiger der von uns ausgeführten Constructionen, möchten aber vorher noch mit einigen Worten sprechen über die Methode, nach welcher wir die registrierten Electrocardiogramme erhalten haben.

Der electriche Strom wurde immer von beiden Händen abgeleitet, mit einer einzigen Ausnahme, wo die eine Electrode auf den rechten Arm, die andere auf die Brust in der Nähe der Herzspitze gestellt wurde. Wir wendeten unpolarisierbare Electroden an, welche nach dem Princip der du Bois - Reymond'schen angefertigt waren. Es ist überflüssig, hier ausführlich die Gestalt zu beschreiben, welche wir aus praktischen Gründen diesen Electroden geben zu müssen glaubten; es sei aber erwähnt, dass wir die mit der Kochsalzlösung in Berührung kommende Hautoberfläche sehr gross nahmen, so dass der Widerstand des zwischen den Electroden gemessenen menschlichen Körpers sehr gering war. Die Messung des Widerstandes fand jedesmal entweder gerade vor, oder unmittelbar nach der Registrirung der Electrocardiogramme statt. Fast immer war ein erheblicher Potentialunterschied zwischen den beiden Ableitungsstellen des Körpers vorhanden; dieser war oft genügend, den Quecksilbermeniscus aus dem Gesichtsfelde des Mikroskopes zu führen. Um die hierdurch veranlassten praktischen Beschwerden zu beseitigen, wurde der vom Körper nach dem Capillarelectrometer hingeleitete Strom nach der du Bois - Reymond'schen Methode compensirt; die Compensation fand in dem Maasse statt, dass der Quecksilbermeniscus während einer Herzdiastole ungefähr den Nullpunkt zeigte.

Die Einrichtung des Capillarelectrometers selbst und die zum Photographiren der Quecksilberbewegung dienenden Apparate hoffen wir später ausführlich zu beschreiben. Es ist uns nach Aufwand von vieler Mühe und Arbeit gelungen, durch eine besondere Vorrichtung die mechanischen Erschütterungen der Capillarröhre, welche unsere früheren Experimente so sehr erschwerten, ganz zu beseitigen. Unsere Photogramme zeigen keine Spur von

Erschütterungen¹⁾, obgleich wir 640- und 800fache Vergrößerungen angewandt haben und meistens in denjenigen Tagesstunden arbeiteten, in welchen der Verkehr auf den Strassen am lebhaftesten war.

Die Spalte, welche, nahe vor die lichtempfindliche Platte gestellt, das Bild der Capillarröhre auffing, wurde öfters auf diese Platte selbst photographirt, um die Breite und die Richtung des durchtretenden Lichtstreifens kennen zu lernen. Die Breite betrug zwischen 0,075 und 0,10 Millimeter. Während der Registrirung der Electrocardiogramme wurde die Bewegungsgeschwindigkeit der Platte auf 20, später auf 25 Millimeter pro Secunde regulirt; eine Stimmgabel von 50 ganzen Schwingungen in der Secunde war mit einem Ansatz nahe vor die Spalte gestellt und wurde durch einen selbstunterbrechenden Electromagnet in Schwingung gehalten.

§ 2. Die Form des Electrocardiogrammes.

Das direct registrirte Electrocardiogramm²⁾ zeigt vier Spitzen, *A*, *B*, *C* und *D*, (siehe Fig. 1); von diesen deuten *A*, *C* und *D* auf

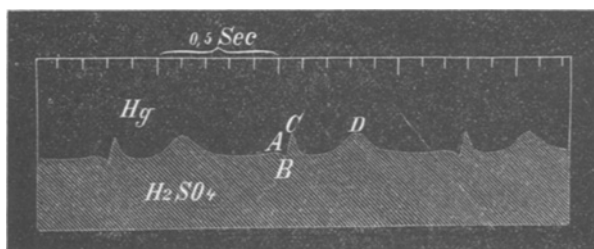


Fig. 1. Ein registrirtes Electrocardiogramm.

Das ursprüngliche Negativ ist $\frac{5}{4}$ mal vergrößert. *Hg* ist der Schatten des Quecksilbers, H_2SO_4 das durch die Schwefelsäurelösung durchgelassene Licht. Der Strom wird von den beiden Händen abgeleitet. Die rechte Hand ist mit dem Quecksilber, die linke mit der Schwefelsäurelösung des Capillarelectrometers verbunden.

1) Die Electrocardiogramme einiger Personen zeigten unregelmässige, kleine Wellen, welche durch mechanische Erschütterungen des Capillarelectrometers verursacht zu sein schienen. Eine nähere Untersuchung lehrte aber, dass diese Wellen auf ganz andere Weise erklärt werden müssen. Hierüber wird in einer späteren Abhandlung die Rede sein.

2) Man vergleiche die photographischen Reproduktionen auf Tafel IV.

eine Negativität der Herzbasis gegen die Herzspitze; während *B* auf eine Negativität der Herzspitze deutet. Die mittleren Spitzen, *B* und *C*, sind scharf, die äusseren, *A* und *D*, stumpf.

Die ersten zwei, *A* und *B*, sind kleiner als die letzten, *C* und *D*. Bei den früher von mir registrirten Electrocardiogrammen und bei denen von Dr. de Vogel, welche wir mit weniger vollkommenen Hilfsmitteln erhalten haben, kamen nur die letzten zwei Spitzen, *C* und *D*, deutlich zum Vorschein; bisweilen zeigte sich aber auch die Spitze *B* (Negativität der Herzspitze). Aus den Publicationen Waller's kann man schliessen, dass auch er diese Spitze beobachtet hat, und wahrscheinlich ist es dieselbe Spitze gewesen, welche ihn zu der Meinung veranlasst hat, die durch die menschliche Herzsysteme verursachte electriche Schwankung fange mit einer Negativität der Herzspitze an. Bayliss und Starling haben muthmaasslich die Spitze *C* für die erste Spitze des Electrocardiogramms gehalten.

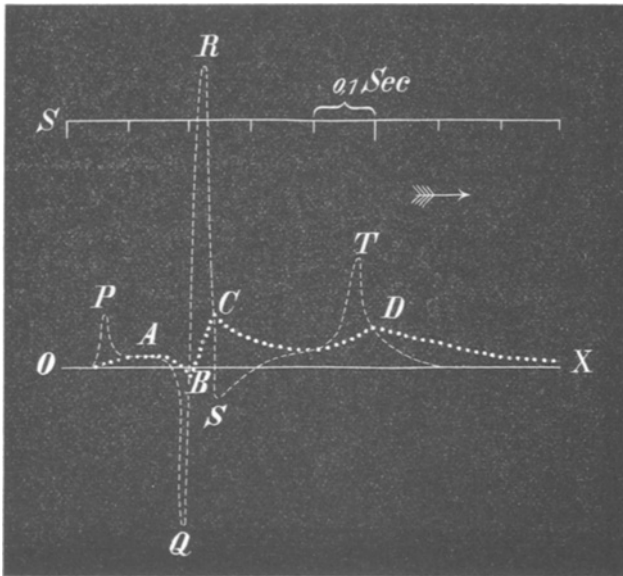


Fig. 2. Construction eines Electrocardiogramms nach den aus einer direct registrirten Curve entnommenen Grössen.

Das direct registrirte Electrocardiogramm wird abgebildet durch die punctirte, das construirte durch die gestrichelte Linie. *Ox* ist die Abscissenachse.

Die Form des Electrocardiogrammes wird eine ganz andere, wenn es auf richtige Weise construirt wird, so dass es den genauen Ausdruck für die stattgefundenen Schwankungen des Potentialunterschiedes darstellt. In Fig. 2 findet man eine Abbildung einer ausgeführten Construction. Die beim Construiren von uns angewendete Methode wird in einem folgenden Kapitel ausführlich besprochen werden. Beschränken wir uns darum jetzt nur auf die Erwähnung der Resultate.

Ausser der Secundenlinie *S* und der Abscissenachse *OX* finden wir in der Figur zwei Curven, eine punctirte und eine gestrichelte. Die Abscissenachse zeigt den Potentialunterschied *O* an, oder besser gesagt, den während einer Herzpause zwischen der linken und rechten Hand vorhanden gewesenen Potentialunterschied. Die punctirte Linie bildet die Curve ab, welche wirklich durch den Capillarelectrometer geschrieben ist; die gestrichelte Linie ist die construirte Curve. Die letztere stellt die Curve dar, wie sie geschrieben sein würde, wenn die Bewegungsgeschwindigkeit des Quecksilberfadens im Capillarelectrometer unendlich gross geworden, alle sonstigen Umstände beim Registriren aber — auch die Empfindlichkeit des Capillarelectrometers — unverändert geblieben wären. Sie zeigt die wahre Form des Electrocardiogrammes und wie sehr sie vom direct registrirten verschieden ist, kommt deutlich in der Figur zum Vorschein. An der Stelle der vier oben schon beschriebenen Spitzen *A*, *B*, *C* und *D* der punctirten Linie sehen wir in der gestrichelten fünf Spitzen, von welchen drei, *P*, *R* und *T* aufwärts, und zwei, *Q* und *S*, abwärts gerichtet sind. Wenn man sich mit der direct registrirten Curve hätte begnügen wollen unter der Annahme, dass die Ausschläge des Capillarelectrometers momentan oder nahezu momentan wären, so würde man in den Spitzen *C* und *D* einen maximalen Potentialunterschied zum Betrage von 0,2 Millidaniell gefunden haben. Die genau ausgeführte Construction zeigt aber, dass die maximalen Potentialunterschiede viel grösser sind. Sie betragen

für die Spitze <i>P</i>	. . .	0,2 Millidaniell
„ „ „ <i>Q</i>	. . .	— 0,7 „
„ „ „ <i>R</i>	. . .	1,3 „
„ „ „ <i>S</i>	. . .	— 0,1 „
„ „ „ <i>T</i>	. . .	0,5 „

Nimmt man bei der Ausführung der Construction Electrocar-

diogramme als Basis, welche durch verschieden empfindliche Capillarelectrometer bei verschiedener Vergrößerung und verschiedener Bewegungsgeschwindigkeit der lichtempfindlichen Platte registrirt sind, so bekommt man Curven, welche nicht direct unter einander vergleichbar sind. Um dieselben unter einander vergleichbar zu machen, müssen sie auf solche Weise verändert werden, dass die Abscissenlänge für eine bestimmte Zeit mit der Ordinatenlänge für eine bestimmte, unveränderlich festgestellte electriche Spannung übereinstimmt. Wir bekommen zweckmässig geformte Curven, wenn wir einer Secunde als Abscissenlänge 10 Millidaniell als Ordinatenlänge gleich stellen.

In Fig. 3 sehen wir die Abbildung eines auf diese Weise construirten Electrocardiogramms.

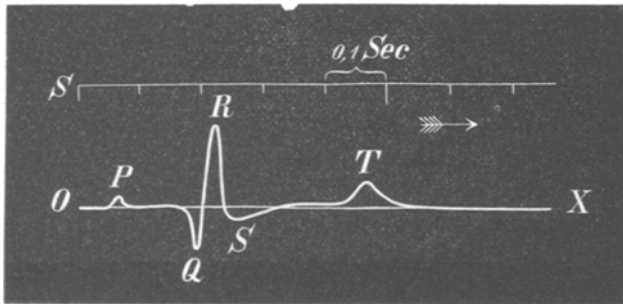


Fig. 3. Dasselbe Electrocardiogramm wie von Fig. 2, aber auf solche Weise construirt, dass eine Ordinatenlänge von 10 Millidaniell einer Abscissenlänge von 1 Secunde gleichgestellt ist.

Alle diese, unter einander vergleichbaren Electrocardiogramme stellen — ihre absolute Grösse bei Seite gelassen — die Schwankungen des Potentialunterschiedes absolut unabhängig von den angewendeten Instrumenten dar, was darum einen ganz besonderen Werth hat, weil wir ein von den angewendeten Werkzeugen unabhängiges Bild des gewöhnlichen Cardiogramms bis heute noch entbehren müssen.

Bei der Beschreibung der definitiven Form des Electrocardiogramms müssen wir es in zwei Theile trennen. Der erste Theil enthält die beiden Spitzen *P* und *Q*, der zweite Theil die drei Spitzen *R*, *S* und *T*. Die Spitzen des ersten Theiles sind kleiner und der ganze erste Theil hat eine zwei bis drei Mal kürzere Dauer als der zweite. *Q* und *R* sind scharf, *P*, *S* und *T*

stumpfer. Die grösste, was die Höhe anbelangt, die constanteste, darum vielleicht auch die merkwürdigste Spitze ist *R*. Sie zeigt eine Negativität der Herzbasis gegen die Herzspitze, welche, zwischen der rechten und linken Hand gemessen, einem Betrag von 1,0 bis 1,6 Millidianell entspricht. Ihre Dauer, welche genauer als von einer der andern Spitzen gemessen werden kann, schwankt zwischen 0,02 und 0,04 Secunden.

Die Spitzen *P* und *T* zeigen wie *R* eine Negativität der Herzbasis, während *Q* und *S* eine Negativität der Herzspitze veranschaulichen. Zwischen den verschiedenen Spitzen ist der electriche Spannungsunterschied während der Systole demjenigen gleich, der während der Diastole vorhanden ist; der Uebergang aber von der einen Spitze zur andern ist sehr ungleich. So steht zum Beispiel *R* unmittelbar, ohne einen messbaren Zwischenraum vor *S* und hinter *Q*, während sich zwischen *P* und *Q* und zwischen *S* und *T* ziemlich lange Zeitintervalle befinden.

Der Theil zwischen *P* und *Q* hat eine nicht so constante Form wie derjenige zwischen *R* und *T*. Oft findet man nämlich zwischen *P* und *Q* noch einen Augenblick von Negativität der Herzspitze. In den untenstehenden zwei Tabellen ist eine Uebersicht gegeben von den Ergebnissen der gemachten Messungen. Von den älteren Electrocardiogrammen sind die Messungen nicht vollständig. Nr. 148 ist ein Electrocardiogramm des Herra Gr., alle sonstigen sind vom Herrn v. d. W., und wo es in den Tabellen nicht nachdrücklich anders erwähnt ist, ist der Strom immer von den beiden Händen abgeleitet. Nr. 198 *B*, *C* und *D* sind Electrocardiogramme von drei auf einander folgenden Herzschlägen.

Die Erklärung der eigenthümlichen Form des Electrocardiogrammes kann noch nicht vollständig gegeben werden. Bayliss und Starling¹⁾ fassen bei ihrer Erklärung muthmasslich nur den zweiten Theil ins Auge, den sie für den Ausdruck der Ventrikelsystole halten. Diese wird betrachtet als eine von der Herzbasis nach der Herzspitze fortlaufende Contractionswelle. Der Contractionsanfang veranlasst eine Negativität der Basis; erreicht die fortlaufende Welle die Herzspitze und ist die Zusammenziehung hier kräftiger, so wird die Spitze negativ. Die Zusammenziehung der Basis hat aber eine längere Dauer und ist noch vorhanden, wenn

1) a. a. O.

Tabelle I.

Bezeichnung des Electrocardiogramms	Werth der verschiedenen Spitzen, in Millidaniell ausgedrückt					Bemerkungen
	<i>P</i> die Herzspitze ist positiv	<i>Q</i> die Herzspitze ist negativ	<i>R</i> die Herzspitze ist positiv	<i>S</i> die Herzspitze ist negativ	<i>T</i> die Herzspitze ist positiv	
138			1,0	-0,0	0,5	ältere Messungen
148			1,4	-0,3	0,6	
149			1,6	-0,25	0,35	
158			1,1	-0,05	0,3	
168			1,0	-0,1	0,3	
198 <i>B</i>	0,1	-0,25	1,2	-0,2	0,25	drei auf einander folgende Herzschläge
198 <i>C</i>	0,2	-0,35	1,0	-0,5	0,3	
198 <i>D</i>	0,1	-0,4	1,1	-0,2	0,2	
226 <i>F</i>	0,2	-0,7	1,3	-0,1	0,5	
226 <i>J</i>	0,2	-0,75	1,5	-0,1	0,4	
242 <i>G</i>	0,3	-0,35	1,8	-0,4	0,4	der Strom wird abgeleitet von der regio cordis in der Nähe des apex und vom rechten Arme
243 <i>G</i>	0,6	-0,4	1,6	-0,1	0,5	

Tabelle II.

Bezeichnung des Electrocardiogramms	Dauer der verschiedenen Untertheile, in Secunden ausgedrückt						Bemerkungen	
	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	erster Theil bis <i>Q</i> zweiter Theil von <i>R</i> bis <i>T</i>		
138			0,02				0,12	ältere Messungen
148			0,02				0,35	
149			0,02				0,37	
158			0,03				0,38	
168			0,025				0,35	
198 <i>B</i>	0,065	0,02	0,03	0,08	0,155	0,155	0,335	drei auf einander folgende Herzschläge
198 <i>C</i>	0,03	0,02	0,03	0,08	0,135	0,12	0,305	
198 <i>D</i>	0,03	0,015	0,03	0,10	0,16	0,125	0,365	
226 <i>F</i>	0,03	0,02	0,04	0,085	0,155	0,145	0,365	
226 <i>J</i>	0,035	0,04	0,04	0,075	0,11	0,16	0,315	
242 <i>G</i>	0,055	0,025	0,035	0,085	0,145	0,165	0,335	der Strom wird abgeleitet von der regio cordis in der Nähe des apex und vom rechten Arme
243 <i>G</i>	0,055	0,02	0,04	0,055	0,165	0,155	0,355	

die Spitze schon erschlaft ist. Die letzte Phase muss also wieder eine Negativität der Basis zeigen.

Die Meinung, dass der zweite Theil des Electrocardiogrammes der Ventrikelsystole entspricht, wird durch die Thatsache bestätigt, dass seine Dauer mit der Systoledauer, die man nach vielen verschiedenen Methoden hat messen können ¹⁾, ganz übereinstimmt.

Der erste Theil des Electrocardiogrammes könnte der Vorkammersystole entsprechen. Zwar hat Waller²⁾ bei seinen Thierexperimenten mit geöffnetem Thorax gezeigt, dass die Vorkammersystole keine merklichen electrischen Schwankungen in entfernten Theilen des Körpers veranlasst, aber das schliesst noch nicht aus, dass dieselben im menschlichen Electrocardiogramme bei empfindlicherer Untersuchungsmethode zum Vorschein kommen könnten. Die Frage ist nur durch eine speciell dazu angestellte Untersuchung zu lösen. Auch wird eine endgültige Erklärung des ganzen Electrocardiogrammes erst dann gegeben werden können, wenn zahlreiche Einflüsse, die seine Form zu verändern vermögen, untersucht sind. So ist es zum Beispiel noch nicht festgestellt, welcher Einfluss ausgeübt wird durch die verschiedenen Ableitungsstellen des Stromes, eine veränderte Körperhaltung, grössere oder geringere Herzfrequenz, u. s. w. Die Electrocardiogramme verschiedener Personen müssen untersucht und unter einander verglichen werden, wobei man vielleicht die Unterschiede benutzen kann, welche zwischen Electrocardiogrammen normaler und kranker Herzen vorkommen. Diese und ähnliche Untersuchungen werden jetzt in meinem Laboratorium vorbereitet und sind schon theilweise abgeschlossen. Wir halten es darum für besser, den Versuch zu einer vollständigen Erklärung des Electrocardiogrammes bis auf später zu verschieben. Doch sei uns die Bemerkung erlaubt, dass jedes bis jetzt von uns erhaltene, normale menschliche Electrocardiogramm sich durch ungefähr dieselbe eigenthümliche Form kennzeichnet, und dass wir in den Ergebnissen unserer Untersuchungen für die von Léon Fredericq³⁾ vertheidigte Meinung,

1) Siehe u. A. W. Einthoven und M. A. J. Geluk, Die Registrirung der Herztöne. Dieses Archiv Bd. 57. S. 617.

2) a. a. O.

3) Léon Fredericq, Sur les phénomènes électriques de la systole ventriculaire. Travaux du laboratoire de l'Université de Liège T. II, 1887—88.

die Herzcontraction sei eine Art Tetanus, keine Stütze gefunden haben.

§ 3. Die Methode zur Messung und Berechnung, um aus der Form der registrirten Curve die wahre Form des Electrocardiogramms kennen zu lernen.

Die oben genannte Methode zur Messung und Berechnung kann in zwei Theile getrennt werden. Der erste Theil handelt über die Methode, die Constanten des Capillarelectrometers kennen zu lernen, der zweite Theil über die Messung und die Construction des Electrocardiogramms.

Die Methode, die Constanten des Capillarelectrometers kennen zu lernen, kann unmittelbar hergeleitet werden aus demjenigen, was wir in zwei früheren Abhandlungen über die Bewegungsgeschwindigkeit des Quecksilbers in der Capillarröhre des Electrometers erwähnt haben und braucht also hier nur kurz angedeutet zu werden.

Die Constanten des Capillarelectrometers sind zwei an der Zahl. Die erstere, welche wir A nennen, ist die Grösse des Ausschlages, welcher verursacht wird, wenn man zwischen den Polen des Capillarelectrometers den Potentialunterschied 1 Millidaniell anbringt. Diese Constante ist leicht zu bestimmen. Man messe auf dem Photogramm den registrirten Ausschlag für einen bekannten Potentialunterschied, z. B. P^* Millidaniell. Dieser Ausschlag sei y^* mm. So ist der Ausschlag für 1 Millidaniell auf dem Photogramm $\frac{y^*}{P^*}$ mm.

Setzen wir $\frac{y^*}{P^*} = a$, so ist $A = \frac{a}{l}$, worin a also die Grösse des Ausschlages auf dem Photogramme für 1 Millidaniell Potentialunterschied bedeutet, während l die angewendete Vergrösserung ist.

Wir dürfen einen Capillarelectrometer nur dann als gelungen betrachten, wenn es sich zeigt, dass seine Ausschläge für kleine Potentialunterschiede diesen Potentialunterschieden proportional sind.

Die zweite Constante des Capillarelectrometers bietet mehr Schwierigkeiten. Sie muss durch eine Curve vorgestellt werden, welche wir Constantencurve nennen und die nach einigen,

den Dimensionen einer Normalcurve entnommenen Grössen konstruiert wird¹⁾).

Um grössere Genauigkeit zu bekommen, werden mehrere Normalcurven ausgemessen; von jeder Normalcurve wird eine Constantencurve konstruiert, und aus mehreren Constantencurven zusammen kann eine mittlere Constantencurve konstruiert werden. Eine einzige mittlere Constantencurve reicht sogar nicht aus, falls man den Einfluss des Leitungswiderstandes auf die Bewegung des Quecksilberfadens in Rechnung zu bringen wünscht. Wir konstruirten immer Constantencurven von Normalcurven, die bei verschiedenen Widerständen registriert waren, und zwar so, dass eine der Constantencurven einem grösseren, eine andere einem kleineren Widerstande entsprach, als derjenige, der sich während der Registrierung des Electrocardiogrammes in der Leitung befand.

Die beiden auf diese Weise erhaltenen Constantencurven waren immer nur so wenig von einander verschieden, dass es sich als überflüssig erwies, aus beiden eine mittlere zu konstruieren; es genügte, eine von beiden anzuwenden, und zwar nahmen wir immer diejenige Constantencurve, deren entsprechender Widerstand dem wirklich vorhandenen am nächsten kam.

Wenn die Constanten des angewendeten Capillarelectrometers bekannt sind, können wir zu den Messungen des Electrocardiogramms übergehen. Wir wiesen schon darauf hin, dass das mit dem Capillarelectrometer registrierte Electrocardiogramm nicht der genaue Ausdruck der von Augenblick zu Augenblick stattfindenden Schwankungen des Potentialunterschiedes ist. Denn während einer nach der Schwefelsäure hin gerichteten Bewegung des Quecksilberfadens ist der Quecksilberpol stärker positiv als der Stand des Meniscus angibt; während einer nach dem Quecksilber hin gerichteten Bewegung ist dieser Pol stärker negativ. Nur wenn der Quecksilberfaden still steht, gibt der Stand des Meniscus den vorhandenen Potentialunterschied genau an. Wünschen wir eine Curve zu bekommen, welche so gut wie möglich die Form der electricen Schwankungen wiedergibt, so müssen wir die Ordinatlängen der registrierten Curve verändern. Auf diese letztere als Basis muss

1) Die vollständige Auseinandersetzung der hier kurz beschriebenen Methode kann man in dem unmittelbar vorhergehenden Aufsätze finden.

eine neue Curve construirt werden. Je geschwinder der Capillarelectrometer bei sonst gleichen Umständen seine Bewegungen ausführt, desto weniger wird die construirte Curve von der registrirten verschieden sein, und wäre die Geschwindigkeit des Instrumentes unendlich gross, so würde jeder Unterschied zwischen beiden wegfallen. Ist die Construction einmal richtig ausgeführt, so fällt es leicht, die von Augenblick zu Augenblick vorhanden gewesenen Potentialunterschiede in absolutem Maasse auszudrücken und die Dauer der electricischen Schwankungen zu messen.

Um die Construction auszuführen, messen wir das registrirte Electrocardiogramm ganz auf dieselbe Weise wie eine Normalcurve aus¹⁾. Das Negativ einer Reihe hintereinander geschriebener Electrocardiogramme wird auf solche Weise auf die gläserne Netztheilung gelegt, dass das Photogramm der Spalte (bei stillstehendem Chassis erhalten) parallel den senkrechten Linien der Theilung zu liegen kommt. Die horizontalen Linien der Theilung kommen dann parallel einer Linie, welche durch die Curven der Herzdiastolen gezogen werden kann, falls während dieser Diastolen zwischen den Ableitungsstellen des Körpers entweder keine, oder immer derselbe Potentialunterschied vorhanden gewesen ist. Ganz auf dieselbe Weise wie bei den Normalcurven werden jetzt in verschiedenen Punkten Berührungslinien an die Curve gezogen, deren Neigungen gemessen werden. Die Messung von 5 oder 6 Neigungen reicht aus, um die Construction der ganzen Curve ausführen zu können.

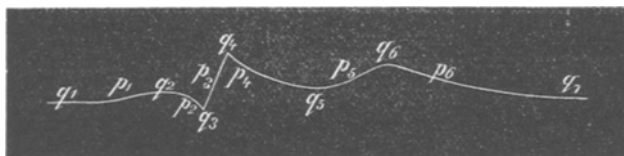


Fig. 4. Schema eines registrirten Electrocardiogrammes.

Fig. 4 bildet ein Electrocardiogramm schematisch ab. Die Punkte q liegen auf denjenigen Stellen der Curve, welche bei Stillstand des Quecksilbermaniscus geschrieben sind; in diesen Punkten brauchen die Ordinatlängen also nicht verändert zu werden. Dagegen liegen die Punkte p auf Stellen, wo die Curve sich neigt;

1) Siehe die vorhergehende Abhandlung und die Figur auf S. 92 dieses Bandes.

sie werden immer auf denjenigen Stellen zwischen den Punkten q gewählt, wo die Neigung der Curve am grössten ist. Wenn die Neigung gemessen ist, kann die Correction der Curve in diesen Punkten angebracht werden. Von der zu construirenden Curve sind also 6 Punkte q bekannt, welche unverändert ihre Stelle behalten haben, und 6 Punkte p , deren Stelle durch Messung und Berechnung gefunden worden ist, zusammen eine genügende Anzahl, um die ganze Curve in nahezu richtiger Form durch dieselben zu ziehen.

Wir zeichnen das Electrocardiogramm, so wie es durch die gläserne Netztheilung gesehen wird, zehnmal vergrössert auf Millimeterpapier nach. Auf der Zeichnung werden die Messungsergebnisse übersichtlich angegeben, und das construirte Electrocardiogramm wird über die Zeichnung des ursprünglichen gezogen (siehe Fig. 2, S. 15).

Nehmen wir an, dass die Berührungslinie der Curve im Punkte p_1 die Hypothenuse eines rechtwinkligen Dreiecks darstellt, dessen verticale Kathete durch h (d. i. die Höhe der Netztheilung) gebildet wird, und dessen horizontale Kathete die Länge s_1 mm hat (siehe die Figur auf S. 2 dieses Bandes). Wir suchen in der Constantencurve des angewendeten Capillarelectrometers leicht den Werth von η auf, welcher dem s_1 entspricht; dieser Werth sei η_1 . η_1 ist die Ordinatlänge des Punktes der Constantencurve, der eine Abscissenlänge s_1 hat. Wenn s_1 ausserhalb der Grenzen der Abscissen fällt, so ist der entsprechende Werth von η nicht direct auf der Curve abzulesen, aber doch leicht zu berechnen¹⁾. Ist s_1 grösser als die grösste Abscisse der Constantencurve, so berechnet man erst aus dem grössten, noch in der Constantencurve vorkommenden Werth von s den Werth von x ,

$$x = \eta_n s_n,$$

und danach η_1 aus dem erhaltenen Werth von x und s_1 ,

$$\eta_1 = \frac{s_1}{x}.$$

Wenn s_1 kleiner ist als die kleinste Abscisse, verfährt man auf ähnliche Weise, berechnet aber x aus dem kleinsten auf der Constantencurve noch vorkommenden Werthe von s . Diese letztere

1) Bei der Berechnung gehen wir von der Annahme aus, dass die Constantencurve eine Hyperbel sei, der sie sich auch thatsächlich nähert.

Berechnung, welche zu gröberen Fehlern Anlass geben kann als die erstere, ist bei den in dieser Abhandlung beschriebenen Electrocardiogrammen niemals nöthig gewesen.

Wir messen also für die verschiedenen Punkte p die Werthe von s_1, s_2 u. s. w., und suchen in der Constantencurve die entsprechenden Werthe η_1, η_2 u. s. w. auf.

Die Werthe von η geben direct an, mit welchem Betrage man die Ordinaten vergrößern oder verkleinern muss, falls die für die Berechnung der Constantencurve benutzten Normalcurven und das Electrocardiogramm bei derselben Vergrößerung und derselben Bewegungsgeschwindigkeit der lichtempfindlichen Platte registriert sind. Es bietet fast niemals Schwierigkeiten, bei einer Reihe von Photographien immer dieselbe Vergrößerung anzuwenden. Dagegen müssen specielle Vorrichtungen getroffen werden, die Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte constant zu erhalten. Unsere Apparate befähigten uns hierzu genügend. Verfügte man aber über weniger vollkommene Hilfsmittel, so hätte man nur die angewendeten Geschwindigkeiten zu messen, um eben so leicht seinen Zweck zu erreichen. Ist die Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte während des Schreibens der Normalcurve v , und während des Schreibens des Electrocardiogrammes V gewesen, so bringe man statt der Ordinatenveränderung η die Ordinatenveränderung $\frac{V}{v} \cdot \eta$ an.

Haben die Punkte p auf dem Photogramme die Ordinaten y_1, y_2 u. s. w., so müssen diese mit den gefundenen Werthen von η verlängert werden; sie werden also $y_1 + \eta_1, y_2 + \eta_2$ u. s. w. Die absoluten Potentialunterschiede, die in denjenigen Augenblicken, in welchen die Punkte p registriert wurden, zwischen den Polen des Capillarelectrometers vorhanden gewesen sind, werden dann ausgedrückt durch $\frac{y_1 + \eta_1}{a}, \frac{y_2 + \eta_2}{a}$ u. s. w. Millidaniell, worin a den bleibenden Ausschlag auf dem Photogramme für 1 Millidaniell bedeutet (siehe S. 21). Deutet man die Ordinaten der Punkte q mit z_1, z_2 u. s. w. an, so werden die während der Registrirung dieser Punkte vorhanden gewesenenen Potentialunterschiede durch $\frac{z_1}{a}, \frac{z_2}{a}$ u. s. w. Millidaniell ausgedrückt.

Die Figuren, welche man bekommt, indem man die Ordinaten

längen der registrierten Electrocardiogramme nach der oben beschriebenen Weise verändert, sind überhaupt nicht unter einander vergleichbar. Um sie unter einander vergleichbar zu machen, ist es zweckmässig, wie auf S. 107 schon bemerkt wurde, einer Secunde als Abscissenlänge 10 Millidaniell als Ordinatenlänge gleich zu setzen. Hierzu kann man die Abscissen des construirten Electrocardiogrammes unverändert lassen und die Ordinaten theilen durch $\frac{10a}{V}$, worin a dieselbe Bedeutung hat wie oben, und V die Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte in Millimeter pro Secunde vorstellt. Auf diese Weise ist die Figur 3 S. 107 construiert.

§. 4. Beispiele zur Erläuterung und directe Messungsergebnisse.

Erläutern wir das obenerwähnte mit einigen Beispielen. Es werden einige Normalcurven des Capillarelectrometers G 103 bei = 640 facher Vergrößerung registriert. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte ist $v = 20$ mm pro Secunde, der plötzlich angebrachte Potentialunterschied beträgt $P^* = 2$ Millidaniell, und der Leitungswiderstand zwischen den Polen des Capillarelectrometers ist $w = 2$ Ohm.

Der bleibende Ausschlag für 2 Millidaniell ist $A = 14,2$ mm, also entspricht 1 Millidaniell einem bleibenden Ausschlag von $a = 7,1$ mm.

Bei einer dieser Normalcurven, welche während einer nach der Schwefelsäure hin gerichteten Bewegung des Meniscus geschrieben ist, werden von verschiedenen Punkten p die entsprechenden Werthe η und s gemessen. Die gefundenen Zahlen sind schon früher (siehe S. 93 dieses Bandes) erwähnt worden; ebenfalls die Zahlen einer anderen Normalcurve, welche bei einer nach dem Quecksilber hin gerichteten Bewegung registriert wurde.

Nach diesen Ergebnissen werden jetzt zwei Constantencurven auf in Quadrate von 5×5 mm² vertheiltem Papier construiert. Auf die Abscissenachse werden die Werthe von s , auf die Ordinatenachse die Werthe von η fünfmal vergrößert abgesetzt. Um die verschiedenen Constantencurven leicht mit einander vergleichen zu können, setzen wir die negativen und die positiven Werthe von s an dieselbe (die rechte) Seite der Ordinatenachse ab. Dem-

entsprechend werden die negativen sowohl als die positiven Werthe von η über der Abscissenachse abgemessen.

In Tafel III Fig. 1 sind beide Curven abgebildet; die erstere, welche von der Normalcurve bei Bewegung schwefelsäurewärts erhalten wurde, verbindet die Kreuze, die zweite die Punkte der Figur. Beide Curven sind gestrichelt, während die gezogene Linie ungefähr die mittlere Constantencurve darstellt. Auf gleiche Weise wird eine zweite mittlere Constantencurve construirt, welche jedoch ein Paar andere Normalcurven zur Basis hat. Diese letzteren Normalcurven sind registriert worden, während 10000 Ohm Widerstand in die die Pole des Capillarelectrometers mit einander verbindende Leitung eingeschaltet waren. Die beiden construirten mittleren Constantencurven sind nur sehr wenig von einander verschieden.

Jetzt wird ein Electrocardiogramm des Herrn v. d. W. geschrieben. Die angewendete Vergrößerung und die Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte sind unverändert geblieben und der Strom wird von beiden Händen abgeleitet; diese sind in grosse, mit NaCl-lösung gefüllte Thonzellen eingetaucht. Die rechte Hand ist mit dem Quecksilber, die linke mit der Schwefelsäurelösung des Capillarelectrometers verbunden. Der zwischen den Electroden gemessene Widerstand des Körpers beträgt 1300 Ohm. Obgleich die theoretisch richtige Constantencurve, welche für die Ausmessung dieses Electrocardiogramms erfordert wird, zwischen der ersten und der zweiten construirten mittleren Constantencurve liegen muss, so wird sie doch so wenig von der ersteren, auf Tafel III Fig. 1 abgebildeten, verschieden sein, dass wir diese ohne nennenswerthen Fehler zur Basis unserer weiteren Berechnungen nehmen können.

Wir messen die Werthe s und y einer Anzahl Punkte p und q (siehe Fig. 4 S. 113) des Electrocardiogramms. Die Ergebnisse werden in der zweiten und vierten Reihe untenstehender Tabelle III wiedergegeben. Hierin wird y positiv gerechnet, wenn es eine Positivität der Herzspitze anzeigt; im entgegengesetzten Falle ist y negativ, s wird positiv gerechnet, wenn es eine Correction bedingt, wobei die Positivität der Herzspitze vergrößert wird; im entgegengesetzten Falle ist s negativ.

Bei den Werthen von s werden in der Constantencurve die entsprechenden Werthe von η aufgesucht (siehe die 3. Reihe der Tabelle). Das ursprüngliche Electrocardiogramm wird zehn Mal

vergrössert auf Millimeterpapier nachgezeichnet und die Correctionen η werden in der Zeichnung angebracht. Die Punkte p bekommen alsdann die Ordinaten $y + \eta$, deren Werthe in der 5. Reihe der Tabelle wiedergegeben sind. Darauf werden die Ordinaten durch $\frac{10 a}{v}$ getheilt, um eine Ordinatlänge von 10 Millidaniell einer Abscissenlänge von 1 Secunde gleich zu setzen; siehe die 6. Reihe der Tabelle. Um schliesslich die absoluten Potentialunterschiede kennen zu lernen muss man die Werthe von $y + \eta$ durch a theilen; siehe die letzte Reihe der Tabelle. Die Werthe dieser Reihe sind nur bis zu Zehntel Millidaniell angegeben. Die Berechnungen für die Punkte q finden auf dieselbe Weise wie diejenige für die Punkte p statt; sie sind einfacher, weil für alle Punkte q der Werth von $\eta = 0$ ist.

Tabelle III.

Electrocardiogramm 198 B.

		Correc- tion	Ursprüng- liche Ordinat- länge	Corrigirte Ordinat- länge	Ordinatlänge des Electrocardio- grammes, in wel- chem 10 Milli- daniell Ordinat- länge an 1 Sec. Abscissenlänge gleich gesetzt ist. $\frac{y + \eta}{10 a} \cdot v$	Potential- unterschiede im Milli- daniell $P = \frac{y + \eta}{a}$
s	η	y	$y + \eta$			
p_1	202 mm	0,4 mm	0,3 mm	0,7 mm	0,20 mm	0,1
p_2	-56,6	-1,6	-0,2	-1,8	-0,51	-0,25
p_3	10,6	7,4	1,0	8,4	2,37	1,2
p_4	-29,65	-3,0	1,8	-1,2	-0,34	-0,2
p_5	78,05	1,1	0,7	1,8	0,51	0,25
p_6	-76,0	-1,2	0,7	-0,5	-0,14	-0,1
q_1	∞	0	0		0	0
q_2	"	"	0,35		0,10	0,05
q_3	"	"	-0,25		-0,07	0
q_4	"	"	2,0		0,56	0,3
q_5	"	"	0,3		0,08	0
q_6	"	"	0,9		0,25	0,1

Die zwei folgenden Electrocardiogramme sind unter denselben Bedingungen wie die vorhergehenden geschrieben. Zusammen entsprechen sie drei aufeinanderfolgenden Herzschlägen. Die Messungs- und Berechnungsergebnisse werden in den Tabellen IV und V

wiedergegeben, deren verschiedene verticale Reihen dieselbe Bedeutung wie diejenigen der Tabelle III haben.

Tabelle IV.
Electrocardiogramm 198 C.

	s	η	y	$y + \eta$	$\frac{y + \eta}{10 a} \cdot v$	$P = \frac{y + \eta}{a}$
p_1	81,3 mm	1,1 mm	0,15 mm	1,25 mm	0,35 mm	0,2 Millidaniell
p_2	-40,65	-2,3	-0,2	-2,5	-0,70	-0,35
p_3	12,3	6,7	0,7	7,4	2,08	1,0
p_4	-17,7	-4,9	1,1	-3,8	-1,04	-0,5
p_5	62,3	1,4	0,6	2,0	0,56	0,3
p_6	-66,9	-1,3	0,6	-0,7	-0,20	-0,1
q_1	∞	0	0		0	0
q_2	"	"	0,15		0,05	0
q_3	"	"	-0,3		-0,10	-0,05
q_4	"	"	1,35		0,45	0,2
q_5	"	"	0,1		0,03	0
q_6	"	"	0,85		0,28	0,1

Tabelle V.
Electrocardiogramm 198 D.

	s	η	y	$y + \eta$	$\frac{y + \eta}{10 a} \cdot v$	$P = \frac{y + \eta}{a}$
p_1	164 mm	0,5 mm	0,15 mm	0,65 mm	0,18 mm	0,1 Millidaniell
p_2	-34,75	-2,7	-0,1	-2,8	-0,79	-0,4
p_3	12,2	6,7	0,8	7,5	2,12	1,1
p_4	-34	-2,8	1,4	-1,4	-0,39	-0,2
p_5	99,2	0,9	0,5	1,4	0,39	0,2
p_6	-163	-0,5	0,6	0,1	0,03	0
q_1	∞	0	0		0	0
q_2	"	"	0,25		0,07	0
q_3	"	"	-0,2		-0,06	0
q_4	"	"	1,6		0,45	0,2
q_5	"	"	0,2		0,06	0
q_6	"	"	0,85		0,24	0,1

Mit einem andern Capillarelectrometer, G 113, sind ebenfalls eine Anzahl Normalcurven und Electrocardiogramme geschrieben; von einigen derselben lassen wir die nähere Analyse hier unten folgen.

Normalcurve, Photogr. 222 C.

Die Bewegung des Meniscus ist nach dem Quecksilber hin

gerichtet, $l = 800$, $v = 25$ mm pro Sec., $w = 2$ Ohm, $P^* = 2$ Milli-daniell, $y^* = 18,4$ Millim., also $a = \frac{y^*}{P^*} = 9,2$ mm.

Die den Punkten p entsprechenden Werthen von η und s sind

$\eta_1 = -16$ mm	$s_1 = -9,05$ mm
$\eta_2 = -15$ „	$s_2 = -9,5$ „
$\eta_3 = -14$ „	$s_3 = -10,3$ „
$\eta_4 = -13$ „	$s_4 = -11,7$ „
$\eta_5 = -12$ „	$s_5 = -13,2$ „
$\eta_6 = -11$ „	$s_6 = -15,4$ „
$\eta_7 = -10$ „	$s_7 = -16,55$ „
$\eta_8 = -9$ „	$s_8 = -20,25$ „
$\eta_9 = -8$ „	$s_9 = -23,15$ „
$\eta_{10} = -7$ „	$s_{10} = -24,65$ „
$\eta_{11} = -6$ „	$s_{11} = -31,65$ „
$\eta_{12} = -5$ „	$s_{12} = -37,3$ „
$\eta_{13} = -4$ „	$s_{13} = -48,65$ „

Eine zweite Normalcurve wird ganz unter denselben Bedingungen geschrieben, ausgenommen dass die Bewegung des Meniscus schwefelsäurewärts gerichtet ist. Die Messung giebt folgende Ergebnisse:

Normalcurve Photogr. 222 D.

$\eta_1 = 16,1$ mm	$s_1 = 8,05$ mm
$\eta_2 = 14,1$ „	$s_2 = 9,65$ „
$\eta_3 = 13,1$ „	$s_3 = 10,5$ „
$\eta_4 = 12,1$ „	$s_4 = 11,85$ „
$\eta_5 = 11,1$ „	$s_5 = 14,05$ „
$\eta_6 = 10,1$ „	$s_6 = 16,-$ „
$\eta_7 = 9,1$ „	$s_7 = 17,25$ „
$\eta_8 = 8,1$ „	$s_8 = 20,1$ „
$\eta_9 = 7,1$ „	$s_9 = 25,-$ „
$\eta_{10} = 6,1$ „	$s_{10} = 31,8$ „
$\eta_{11} = 5,1$ „	$s_{11} = 40,25$ „
$\eta_{12} = 4,1$ „	$s_{12} = 50,35$ „

Nach diesen Ergebnissen werden auf bekannte Weise zwei Constantencurven construirt. Diese sind auf Tafel III Fig. 2 abgebildet; die erstere geht durch die Punkte, die zweite durch die Kreuze der Figur, während die gezogene Linie ungefähr den Durchschnitt wiedergiebt.

Danach wird eine andere mittlere Constantencurve construirt. Diese hat zwei Normalcurven zur Basis, welche registrirt sind,

während sich ein Widerstand von 42700 Ohm zwischen den Polen des Capillarelectrometers befindet. Die beiden mittleren Constantencurven bieten nur sehr wenig Unterschied dar. Die grösste Abweichung der Ordinatenlängen für dieselbe willkürliche Abscisse beträgt nicht mehr als 0,7 der Seite eines Quadrats, was einer Abweichung von 0,08 Millidaniell entspricht. Mit demselben Capillarelectrometer wird jetzt ein Electrocardiogramm geschrieben. Die angewendete Vergrösserung und die Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte bleiben unverändert und der Strom wird von beiden Händen abgeleitet. Die rechte Hand ist mit dem Quecksilber, die linke mit der Schwefelsäurelösung des Electrometers verbunden. Der zwischen den Electroden gemessene Widerstand des Körpers beträgt 3220 Ohm.

Das Ergebniss der Messungen des Electrocardiogramms folgt in untenstehender Tabelle VI.

Tabelle VI.

Electrocardiogramm 226 F.

	<i>s</i>	η	<i>y</i>	$y + \eta$	$\frac{y + \eta}{10a} \cdot v$	$P = \frac{y + \eta}{a}$
<i>p</i> ₁	100,7 mm	2,0 mm	0,15 mm	2,15 mm	0,58 mm	0,2 Millidaniell
<i>p</i> ₂	— 29,2	— 6,3	— 0,1	— 6,4	— 1,74	— 0,7
<i>p</i> ₃	14,7	10,9	1,05	12,0	3,26	1,3
<i>p</i> ₄	— 61,2	— 3,25	1,9	— 1,35	— 0,37	— 0,1
<i>p</i> ₅	61,9	3,2	1,2	4,4	1,20	0,5
<i>p</i> ₆	— 196	— 1,0	1,0	0	0	0
<i>q</i> ₁	∞	0	0		0	0
<i>q</i> ₂	„	„	0,35		0,09	0
<i>q</i> ₃	„	„	— 0,35		— 0,09	0
<i>q</i> ₄	„	„	2,05		0,56	0,2
<i>q</i> ₅	„	„	0,65		0,18	0,1
<i>q</i> ₆	„	„	1,5		0,41	0,2

Das folgende Electrocardiogramm ist unter denselben Umständen geschrieben; nur war der Strom im Capillarelectrometer umgekehrt. Die Messungsergebnisse werden in Tabelle VII wiedergegeben.

Auf Tafel III Fig. 3 ist die mittlere Constantencurve abgebildet, welche nach den Messungen von vier verschiedenen Normalcurven der Capillarröhre G 116 construirt ist. $w = 10000$ Ohm, $a = 7,6$ Millim.

Tabelle VII.
Electrocardiogramm 226 J.

	s	η	y	$y + \eta$	$\frac{y + \eta}{10 a} \cdot v$	$P = \frac{y + \eta}{a}$
p_1	116,7 mm	1,7 mm	0,1 mm	1,8 mm	0,49 mm	0,2 Millidaniell
p_2	— 26,8	— 6,7	— 0,2	— 6,9	— 1,88	— 0,75
p_3	11,45	12,7	0,9	13,6	3,70	1,5
p_4	— 83,4	— 2,4	1,6	— 0,8	— 0,22	— 0,1
p_5	74,0	2,7	1,1	3,8	1,32	0,4
p_6	— 92,2	— 2,15	1,3	— 0,85	— 0,23	— 0,1
q_1	∞	0	0		0	0
q_2	"	"	0,3		0,08	0
q_3	"	"	— 0,35		— 0,09	0
q_4	"	"	1,85		0,50	0,2
q_5	"	"	0,3		0,08	0
q_6	"	"	1,45		0,39	0,15

Mit derselben Capillarröhre, bei derselben Vergrößerung ($l=800$) und derselben Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte ($v=25$ mm pro Sec.) werden zwei Electrocardiogramme des Herrn v. d. W. geschrieben. Der Strom wird von der Brustwand in der Nähe der Herzspitze und vom rechten Arme abgeleitet. Der zwischen den Electroden gemessene Körperwiderstand beträgt 8760 Ohm. Im ersteren Electrocardiogramme war die Herzspitze verbunden mit dem Quecksilber, im zweiten mit der Schwefelsäurelösung des Electrometers. Die Messungsergebnisse beider Electrocardiogramme werden in den untenstehenden Tabellen VIII und IX wiedergegeben.

Tabelle VIII.
Electrocardiogramm 242 G.

	s	η	y	$y + \eta$	$\frac{y + \eta}{10 a} \cdot v$	$P = \frac{y + \eta}{a}$
p_1	38,9 mm	1,9 mm	0,4 mm	2,3 mm	0,76 mm	0,3 Millidaniell
p_2	— 32,6	— 2,3	— 0,35	— 2,65	— 0,87	— 0,35
p_3	5,8	11,5	2,0	13,5	4,45	1,8
p_4	— 10,4	— 6,9	3,9	— 3,0	— 0,99	— 0,4
p_5	48,9	1,5	1,7	3,2	1,05	0,4
p_6	— 42,45	— 1,7	1,7	0	0	0
q_1	∞	0	0		0	0
q_2	"	"	0,8		0,26	0
q_3	"	"	— 0,6		— 0,20	0
q_4	"	"	4,25		1,40	0,2
q_5	"	"	0,45		0,15	0
q_6	"	"	2,6		0,85	0,1

Tabelle IX.
Electrocardiogramm 243 G.

	<i>s</i>	η	<i>y</i>	$y + \eta$	$\frac{y + \eta}{10a} \cdot v$	$P = \frac{y + \eta}{a}$
<i>p</i> ₁	16,65 mm	4,25 mm	0,5 mm	4,75 mm	1,56 mm	0,6 Millidaniell
<i>p</i> ₂	-25,3	- 2,8	-0,2	- 3,0	-0,99	-0,4
<i>p</i> ₃	6,65	10,4	2,0	12,4	4,08	1,6
<i>p</i> ₄	-15,0	- 4,8	3,8	- 1,0	-0,33	-0,1
<i>p</i> ₅	34,75	2,2	1,8	4,0	1,32	0,5
<i>p</i> ₆	-48,95	- 1,5	1,7	0,2	0,07	0
<i>q</i> ₁	∞	0	0		0	0
<i>q</i> ₂	"	"	0,7		0,23	0,1
<i>q</i> ₃	"	"	-0,35		-0,11	0
<i>q</i> ₄	"	"	4,1		1,35	0,5
<i>q</i> ₅	"	"	0,5		0,16	0,1
<i>q</i> ₆	"	"	2,7		0,89	0,35

Erklärung der Tafeln III und IV.

Tafel I. Constantencurven drei verschiedener Capillarelectrometer.

Tafel II. Photographische Reproduction einiger Electrocardiogramme. Unretouchirte Negative. Die abgebildeten Electrocardiogramme wurden alle durch denselben Capillarelectrometer (G 116) bei 800-maliger Vergrößerung und einer Bewegungsgeschwindigkeit der Glasplatte von 25 Millim. pro Secunde registriert. Unten an jedem Photogramme sind die Stimmgabelspitzen ersichtlich; die Stimmgabel machte 50 ganze Schwingungen in der Secunde.

In den Photogrammen 1 und 2 wurde der Strom von der Brustwand in der Nähe der Herzspitze und von der rechten Hand abgeleitet; in den übrigen vier Photogrammen von beiden Händen. In 1 war die rechte Hand mit der Schwefelsäure, die Herzspitze mit dem Quecksilber des Capillarelectrometers verbunden, in 2 hatte der Strom eine entgegengesetzte Richtung. In 3, 4, 5 und 6 wurde der Strom im Capillarelectrometer in demjenigen Augenblicke, wo ungefähr die Hälfte der Glasplatte vorüber gegangen war, umgekehrt. In 3, 4 und 5 war während der ersten Hälfte die rechte Hand mit der Schwefelsäure, die linke mit dem Quecksilber des Capillarelectrometers verbunden; in 6 hatte der Strom während dieser Hälfte die umgekehrte Richtung.

Die Photogramme 1, 2 und 3 sind von Herrn v. d. W., die Photogramme 4, 5 und 6 respective von den Herren W., L. und E.

Jedes der Photogramme wird durch zwei verticale schwarze Linien in drei nahezu gleiche Theile getrennt. Diese Linien sind die, bei still stehendem Chassis erhaltenen Photogramme der Spalte.



