

(Aus dem physiologischen Institute der deutschen Universität Prag.)

Beiträge zur Kenntniss des Elektrokardiogrammes.

Von

Privatdozent Dr. **R. H. Kahn,**
Assistenten am Institute.

(Mit 25 Textfiguren und Tafel IX.)

I.

Unter den elektromotorischen Erscheinungen, welche am lebenden tierischen Körper zu beobachten sind, nehmen die Aktionsströme des Herzens einen hervorragenden Platz ein. Denn einerseits dürfte es gelingen, nach gründlichem Studium aller dabei in Betracht kommenden Verhältnisse wichtige theoretische Anschauungen über die Mechanik des Herzschlages von einer neuen Seite her kritisch zu betrachten, andererseits aber ist bereits, wie es scheint, mit einigem Erfolge, der Versuch gemacht worden, die Registrierung der Aktionsströme des Herzens praktischen Zwecken, namentlich der klinischen Herzdiagnostik, dienstbar zu machen.

Das vollkommenste der bekannten zu dieser Registrierung tauglichen Instrumente ist das Saitengalvanometer *Einthoven's*. Erst seit Verwendung dieses Apparates ist es möglich geworden, mit Aussicht auf Erfolg die Erreichung der obengenannten Ziele anzustreben. Indessen sind vorläufig noch nicht in genügender Weise die Grundlagen geschaffen worden, welche es gestatten würden, eine brauchbare Analyse des Elektrokardiogrammes vorzunehmen. Es erscheint daher gerechtfertigt, zunächst die Erfahrungen mitzuteilen, welche der einzelne bei der graphischen Verzeichnung des Elektrokardiogrammes zu machen Gelegenheit hat, ohne gleich auf die genaue Deutung der einzelnen Details einzugehen.

Seit einigen Monaten bin ich in der Lage, mit *Einthoven's* Saitengalvanometer (grosses Modell von *Edelmann* in München) arbeiten zu können und werde im folgenden meine bis jetzt ge-

sammelten Erfahrungen über das Elektrokardiogramm des Hundes mitteilen. Während der bezüglichen Untersuchungen erschien eine weitere Untersuchung Einthoven's¹⁾, welche sich diesmal auch mit dem Elektrokardiogramm des Hundes eingehender befasst. Hier ist auch die übrige, vorläufig noch spärliche Literatur über unseren Gegenstand verzeichnet, auf welche wir zum Teil noch zurückkommen. Einthoven erörtert hier die Form des Hundelektrokardiogrammes bei verschiedener Ableitung, ferner die Erscheinungen bei der Vagusreizung, bei Vagusausfall, nach Blutentziehung und in Chloroformnarkose. An den zahlreichen mitgeteilten Kurven ist vor allem die völlige Ruhe der Saite während der Pausen zwischen den Ausschlägen bewundernswert. Sie ist wohl ohne Zweifel mit der Ausdruck für eine sehr feste Aufstellung aller hier in Betracht kommenden Apparate, und ich bemerke gleich hier, dass es vorläufig nicht möglich war, im hiesigen physiologischen Institute Galvanometer und Registrierapparat völlig erschütterungsfrei aufzustellen. Auf andere Umstände, welche die Ruhe der Saite beeinträchtigen, komme ich später noch zurück.

Was die Technik unserer Versuche betrifft, so sind zunächst zwei wichtige Bedingungen zu erfüllen. Völlige ruhige Lage des Tieres in einer Stellung, welche eine Reihe wichtiger Eingriffe (Blutdruckmessung, Freilegung des Herzens, der Nerven und Gefässe am Halse usw.) gestattet, und Ableitung von möglichst grossen und während eines Versuches in der Grösse unveränderlichen Flächen des Körpers mit unpolarisierbaren Elektroden. Daraus ergibt sich zunächst die Notwendigkeit, das auf dem Rücken liegende Tier zu fesseln. Das bringt beim Hunde grosse Übelstände in Ansehung unseres Zweckes hervor. Wie auch Einthoven²⁾ bemerkt, geraten die Tiere sehr leicht mit den Extremitäten oder auch mit dem ganzen Körper ins Zittern, wodurch die Saite sehr unruhig wird. Dagegen hilft meistens, wenn auch durchaus nicht immer, die Narkose, manchmal auch Bedecken mit warmen Tüchern. Indessen wird nach meinen Erfahrungen bei vielen Hunden durch die Narkose mit Chloroform oder Ätherchloroform der Herzschlag bezüglich Frequenz und Rhythmus bedeutend verändert, so dass ich es meist

1) W. Einthoven, Weiteres über das Elektrokardiogramm. Pflüger's Arch. Bd. 122 S. 517. 1908.

2) l. c. S. 526.

vorgezogen habe, die geringen, das wesentliche in der Kurve durchaus nicht verschleiern den Schwingungen der Saite mit in Kauf zu nehmen, zumal es mir vorläufig nicht gelungen ist, einen anderen, viel unangenehmeren Übelstand zu beheben. Dieser ist darin gelegen, dass ungemein leicht rhythmische Schwingungen der Saite offenbar durch unipolares Abfließen von Elektrizität (vielleicht Ladungserscheinungen) entstehen, wenn nicht alle Apparate und Vorrichtungen sorgfältig von der Unterlage isoliert sind. Gar nicht vermeiden konnte ich aber bisher diese Erscheinungen in vielen Fällen, in welchen das Tier zum Zwecke der Registrierung von Karotisdruck, Ventrikeldruck usw. durch längere Leitungen mit anderen Apparaten verbunden war. Daher erscheint das Saitenbild in den Kurven, welche ich bis jetzt besitze, nie ganz ruhig, aber wie schon erwähnt, überschreitet diese Unruhe nicht die in Ansehung des Zweckes zulässigen Grenzen.

Was nun die Ableitung zum Galvanometer betrifft, so bediene ich mich unpolarisierbarer Elektroden, welche im Prinzip mit jenen übereinstimmen, welche Einthoven¹⁾ beschreibt, aber, wie ich glaube, etwas bequemer zu handhaben und zu beschaffen sind. Ich benütze die Tonzellen und die darin stehenden Zn-Zylinder zweier Daniell'scher Elemente. Die mit NaCl-Lösung getränkte Zelle wird mit mehreren Lagen mit derselben Flüssigkeit getränkten Filtrierpapiere umwickelt und mit konzentrierter Zn-SO₄-Lösung gefüllt. Die Vorderarme bzw. Unterschenkel des Tieres werden sorgfältig rasiert und mit dickem Baumwolldochte, der mit NaCl-Lösung getränkt ist, umwickelt. Die freien Enden der Dochte werden um die Tonzelle herumgebunden. Am Stamme werden entsprechend grosse Hautpartien rasiert, die Dochtenden darauf gelegt und das ganze mit in NaCl-Lösung getränkter Watte bedeckt. Diese Elektroden eignen sich übrigens auch sehr gut zur Ableitung der Ströme des menschlichen Herzens von den Händen. Ich habe sie dazu ebenso geeignet gefunden als die grossen, anderweitig beschriebenen mit NaCl-Lösung gefüllten unhandlichen Tröge, in welche die Hände eingetaucht werden. Die Tonzellen werden in diesem Falle einfach mit ruhigem Drucke umfasst.

Die Aufstellung der Apparate entspricht im allgemeinen dem unlängst von Einthoven²⁾ gegebenen Schema, nur benütze ich im

1) l. c. S. 526 und 548.

2) l. c. S. 521.

Falle einer grösseren, vom ruhenden Herzen entwickelten elektromotorischen Kraft du Bois runden Kompensator. Die photographische Registrierung der Saitenbewegung erfolgt mit dem Registrierwerke mit Uhrwerksantrieb von Edelmann auf dem sehr guten und verhältnismässig billigen Negativpapiere von Schöffelen in Heilbronn (6×50 cm). Galvanometer und Registrierapparat sind in einem völlig verdunkelten Zimmer aufgestellt, ersteres in dessen Mitte, letzterer auf einer Konsole an der Wand. Diese ist mehrfach durchbohrt, und durch die in den Löchern angebrachten Isolationsröhren sind Leitungskabel, dünne Bleirohre usw. durchgeführt, welche auf dem im Nebenzimmer an der Wand stehenden Experimentiertische mit dem jeweiligen Versuchsobjekte verbunden werden. Auf diese Weise kann im dunkeln Raume registriert, bei vollem Lichte der Versuch durchgeführt werden, während die Verbindung des Versuchsobjektes mit den Apparaten möglichst kurz ist (höchstens 1 m), was z. B. bei Blutdruckmessungen und Signalen erheblich in Betracht kommt.

Die Richtung des Erregungsstromes für den Elektromagneten des Galvanometers wurde stets konstant gehalten. Aus dem magnetischen Felde wurde die Saite nach rechts gedrängt (für einen Beobachter, welcher in der Richtung der Lichtstrahlen sieht), wenn dieselbe von unten nach oben vom Strome durchflossen wurde. Dies entspricht für meine Aufstellung des Registrierapparates einem Ansteigen der Kurvenlinie. Sämtliche Kurven wurden derart hergestellt, dass die Ableitungsstellen so mit den Enden der Saite in Verbindung gebracht wurden, dass die Eindhoven'schen Spitzen *P*, *R* und *T* nach oben gerichtet waren (mit einer Ausnahme, auf welche besonders hingewiesen werden wird).

Um nun zunächst festzustellen, in welcher Weise von einzelnen Körperstellen abgeleitet werden muss, um bei einem bestimmten elektromotorischen Verhalten des Herzens unter den oben angegebenen Versuchsbedingungen gleichsinnige Saitenausschläge zu erhalten, wurde folgender Weg eingeschlagen. Einige Zeit nach dem Tode des Tieres (es wurden nur Hunde verwendet) wurde die Brusthöhle durch Wegnahme des Sternums eröffnet, das Herz freigelegt und durch seine Spitze und Basis je ein mit NaCl-Lösung getränkter dicker Baumwollfaden mit der Nadel hindurchgeführt. Diese Fäden wurden mit unpolarisierbaren Elektroden verbunden, und nun wurden, um die natürlichen Verhältnisse der Stromausbreitung annähernd

wieder herzustellen, die Lungen von der Trachea aus so stark aufgeblasen, dass die Brusthöhle völlig ausgefüllt wurde. Zu den Elektroden wurde nun der Strom zweier konstanter galvanischer Elemente derart zugeleitet, dass er das Herz von der Spitze zur Basis durchfloss.

Die Ableitung zum Galvanometer erfolgte von den Extremitäten (*rv*, *lv*, *rh*, *lh*) und von rasierten Hautstellen des Körpers, nämlich von der Spitze des Sternums (*Br*) und von der Mitte zwischen

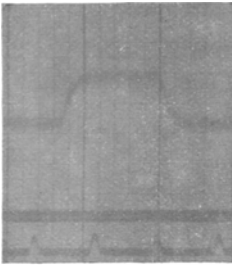


Fig. 1.

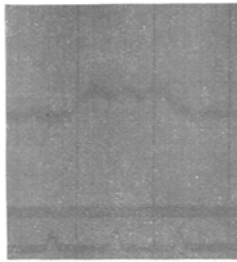


Fig. 2.

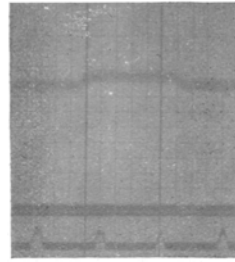


Fig. 3.

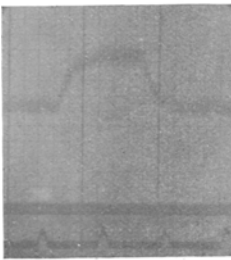


Fig. 4.

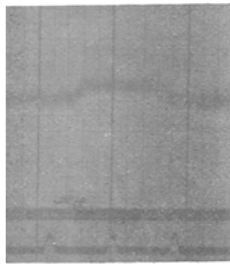


Fig. 5.

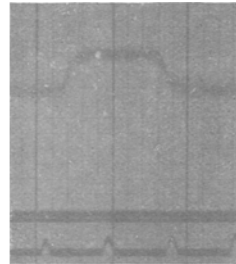


Fig. 6.

Nabel und unterem Sternalende (*Ba*). Aus den mitgeteilten Kurven ist zunächst zu ersehen, dass die Grösse des Ausschlags der Saite unter sonst ganz gleichen Umständen von der Wahl der Ableitungsstellen abhängt.

Figur	Ableitung	Ordinatenhöhe mm	Zn artig verhält sich:
1.	<i>rv — lh</i>	6,2	<i>rv</i>
2.	<i>lv — rh</i>	3,4	<i>lv</i>
3.	<i>rv — lv</i>	1,5	<i>rv</i>
4.	<i>rv — rh</i>	6,3	<i>rv</i>
5.	<i>lv — lh</i>	2,0	<i>lv</i>
6.	<i>Br — Ba</i>	4,9	<i>Br</i>

Während bei Ableitung $rv-lh$ und $rv-rh$ der Ausschlag des Saitenbildes bei der angewendeten etwa 800fachen Vergrößerung über 6 mm beträgt, erhält man bei Ableitung von den beiden vorderen Extremitäten eine Ordinatenhöhe von nur 1,5 mm.

Was die Polarität der Ableitungsstellen anlangt, so ist aus der obenstehenden Tabelle zu ersehen, dass die vorderen Extremitäten das Potential der Herzbasis annehmen, mit Ausnahme der linken, wenn von ihr und der anderen vorderen Extremität abgeleitet wird. Dann weist sie das Potential der Herzspitze auf, während die rechte vordere Extremität der Herzbasis entspricht, nur ist die Potentialdifferenz hier am kleinsten. Es entspricht diese Darstellung dem von Nicolai¹⁾ in seinem Vortrage in der Berliner medizinischen Gesellschaft für den Menschen gegebenen Schema insofern nicht ganz, als beim Hunde mit Sicherheit eine erhebliche Potentialdifferenz bei der Ableitung $lv-rh$ nachgewiesen werden kann, wobei lv das Potential der Basis, rh das der Spitze aufweist.

Die Polarität der Extremitäten und der Haut der Brust und des Bauches verhält sich bei Ableitung vom unversehrten lebenden Tiere ebenso wie in unserem schematischen Versuche. Denn wenn man erzielen will, dass die Spitze R nach oben gerichtet sei, ist es nötig, die Ableitungsstellen in der oben angegebenen Weise mit dem Galvanometer zu verbinden. Die Kardiogramme, welche man auf solche Weise vom Hunde erhält, entsprechen im allgemeinen und in den meisten Fällen dem von Einthoven für den Menschen und erst jüngst für den Hund gegebenen Typus.

Fig. 7 zeigt den Ablauf der Herzschläge bei Ableitung $rv-rh$ ²⁾. Die Spitzen P , Q , R und T sind deutlich, eine Spitze G ist nicht erkennbar.

Bei dieser Gelegenheit sei bezüglich der Zeitwerte der Abszisse in dieser sowie in allen noch folgenden Kurven folgendes bemerkt. Die je 2 mm voneinander abstehenden Ordinatenlinien entwirft ein Speichenrad [Garten³⁾], dessen Speichen sich vor dem Spalte

1) F. Kraus und S. F. Nicolai, Über das Elektrokardiogramm usw. Berliner klin. Wochenschr. 1907 Nr. 25 S. 765, Nr. 26 S. 811.

2) Bezüglich der Retusche einzelner Spitzen in dieser und einigen folgenden Figuren vgl. das bei Einthoven (l. c. S. 530) hierüber Gesagte. Originalabzüge von meinen Negativen stelle ich Fachgenossen auf Verlangen gerne zur Verfügung.

3) S. Garten, Über rhythmische elektrische Vorgänge im quergestreiften Skelettmuskel. Abhandl. d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Leipzig, math.-physik. Klasse Bd. 26 S. 331. 1901.

des Registrierapparates in gleichen Zeitabschnitten vorbeibewegen. Ausserdem wirft der Zeiger eines Jaquet'schen Chronometers seinen Schatten an dem einen Ende des Spaltes auf das lichtempfindliche Papier und markiert auf demselben 0,2 Sek. Das ergibt für je 2 mm Abszisse einen Wert von durchschnittlich 0,045 Sek.

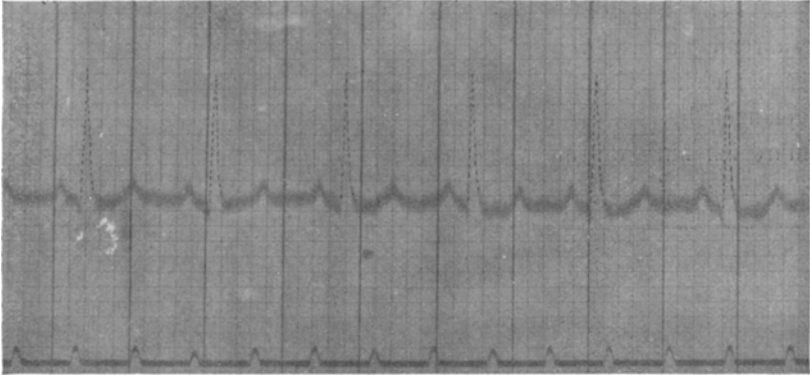


Fig. 7.

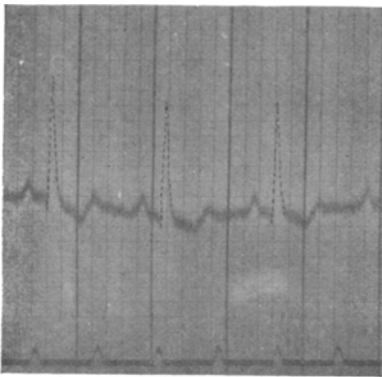


Fig. 8.

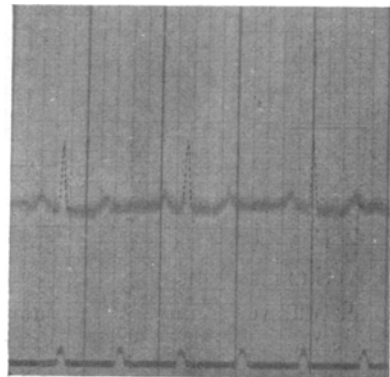


Fig. 9.

Die Besonderheiten der Details verschiedener Elektrokardiogramme je nach den Ableitungsstellen, welche Einthoven¹⁾ beschreibt, habe ich vielfach bestätigen können. Ich setze an dieser Stelle noch zwei Kurven bei Ableitung II nach Einthoven (*rv—lh* Fig. 8) und bei Ableitung III (*lv—lh* Fig. 9) ein.

1) l. c. S. 527.

Die Unterschiede in der Höhe der Spitzen sind sehr deutlich, in Fig. 8 ist an Stelle der Spitze *T* eine negative und gleich darauf eine kleine positive Spitze zu sehen.

Neben diesen habe ich aber häufig Elektrokardiogramme beobachtet, welche von den typischen erheblich abweichen. Namentlich bei Ableitung *lv—rv* und *Br—Ba* zeigten sich Formen, welche sich zum Teile nur schwer in das allgemeine Schema einfügen lassen, während andere Ableitungsstellen am gleichen Tiere unter sonst ganz gleichen Umständen die typischen Verhältnisse zur Darstellung gelangen liessen. Von den zahlreichen Kardiogrammen solcher Art führe ich nur zwei an.

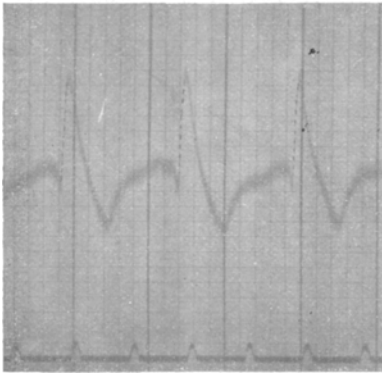


Fig. 10.

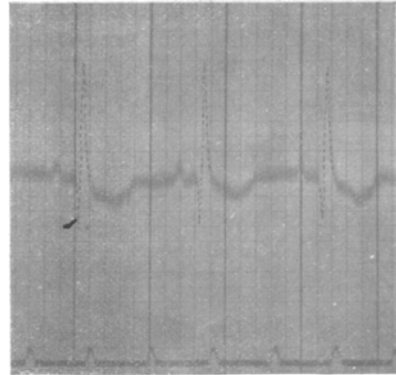


Fig. 11.

Fig. 10 ist bei Ableitung *rv—lv* gewonnen. Die Spitze *R* ist unverkennbar, die übrigen Spitzen sind nur schwer zu deuten. Das Tier war völlig unversehrt, ruhig, und lieferte bei anderer Ableitung typische Elektrogramme. Fig. 11 zeigt ein Elektrogramm bei Ableitung *Br—Ba*. Die Spitze *Q* ist sehr stark ausgeprägt, *T* ist negativ. Diese Art der Ableitung gibt für gewöhnlich ganz typische Kurvenform.

An dieser Stelle sei einer Reihe von Versuchen gedacht, welche in der Absicht unternommen wurden, das Wandern einer „elektrischen Fläche“ über den Ventrikel des Herzens im Elektrogramm zu verfolgen. Einige Zeit nach dem Tode wurde die Brust des Hundes eröffnet, die Lunge an der Wurzel herausgeschnitten und der Herzbeutel eröffnet. Nun wurde der ganze Thoraxraum mit physiologischer

NaCl-Lösung gefüllt, so dass die Oberfläche der Flüssigkeit etwa 10 mm über der vorderen Fläche des Herzens stand. Sodann wurde der Strom eines konstanten Elementes mit besonderen Elektroden dem Herzen zugeleitet. Zwei dünne Platten aus Zinkblech von 7 cm Länge und 5 cm Breite waren mit feinem Leder überzogen und an die beiden Flächen einer ca. 2 mm starken Glasplatte mit Kautschukbändern angepresst. Die Glasplatte überragte mit ihren Rändern die Ränder der Metallplatten um einige Millimeter mit Ausnahme einer Schmalseite, an welcher sie etwas zurückstand. Die ganze Vorrichtung war in einen Handgriff gefasst, die Metallplatten mit dem Elemente durch Drähte verbunden, das Leder mit physiologischer NaCl-Lösung getränkt.

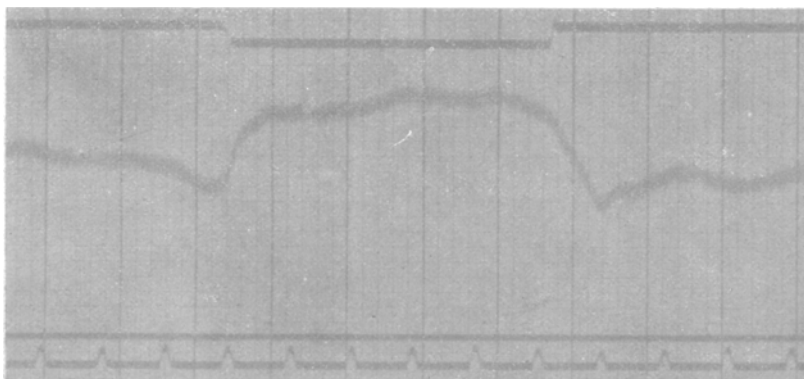


Fig. 12.

Indem man nun diese Elektroden mit der Schmalseite, an welcher sie über die Glasplatte hervorstanden, leicht auf die Oberfläche des Herzens aufsetzte, wurde ein Teil desselben in der Ausdehnung von wenigen Millimetern vom Strome durchflossen. Bei Ableitung von den Extremitäten zum Galvanometer konnten nur geringe Stromzweige nachgewiesen werden. Sobald man nun die Elektroden in der Richtung der Herzachse bewegte, erfolgten sogleich Ausschläge der Saite. Von den auf diese Weise gewonnenen Kurven teile ich die beiden folgenden mit.

Die Stromzuleitung zu den Elektroden erfolgte derart (Fig. 12), dass die Kathode der Herzbasis, die Anode der Spitze zugewendet war. Die Elektroden wurden nahe der Basis auf die Ventrikel aufgesetzt. Es folgte nun eine längere Serie langsamer Bewegungen, indem die Elektroden leicht auf dem Herzen schleifend gegen die

Herzspitze und nach kurzem Verweilen daselbst wieder gegen die Basis geführt wurden usw. Bei jeder Bewegung erfolgt ein Ausschlag der Saite, und zwar bei jener zur Spitze ein Ansteigen, bei der Bewegung zur Basis ein Absinken der Kurvenlinie. Fig. 12 ist ein Ausschnitt einer Serie von solchen Bewegungen. Die oberste Linie ist durch den schattenwerfenden Hebel eines elektrischen Signales gezeichnet. Senkung derselben fällt zeitlich mit der Bewegung der Elektroden gegen die Spitze, Hebung mit der Bewegung gegen die Basis zusammen. Änderung der Stromrichtung in den Elektroden bewirkte bei den gleichen Bewegungen derselben Ausschläge des Saitenbildes in entgegengesetzter Richtung (*lv—rh*).

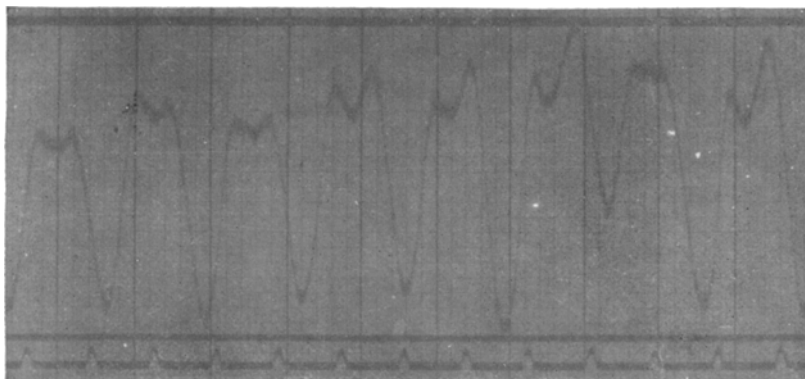


Fig. 13.

Die Grösse des Ausschlages sowie die Geschwindigkeit desselben hängt unter sonst gleichen Umständen von der Geschwindigkeit der Bewegungen der Elektroden ab. Auch hierfür sei ein Beispiel gebracht.

Fig. 13 ist ein Ausschnitt aus einer Serie von rasch erfolgenden Bewegungen der Elektroden, Kathode der Spitze, Anode der Basis zugewendet. Wenn dieselben an der Basis angelangt waren, wurde jedesmal eine ganz kurze Pause gemacht. Es bedeutet also nach dem oben Gesagten ein Aufsteigen der Kurvenlinie die Bewegung zur Basis, ein Absteigen die Bewegung zur Spitze, und die kleinen Bewegungspausen verlaufen nicht gradlinig, sondern weisen mannigfache Zacken auf, wohl ein Ausdruck für den Umstand, dass die Elektroden während der Pausen nicht ganz ruhig gehalten wurden (*lv—rh*).

Versuche dieser Art sind sehr lehrreich, vor allem deshalb, weil sie zeigen, dass Potentialschwankungen an verschiedenen Ableitungs-

stellen des Körpers durch das Wandern einer elektrischen Fläche in gesetzmässiger Weise hervorgerufen werden können. Es liegt nahe, daraus eine Anwendung für das Entstehen der Potentialschwankungen bei der Herzaktion zu ziehen, indessen sehe ich vorläufig davon ab, da ich diese recht rohe Methode der Untersuchung für verbesserungsbedürftig, aber auch verbesserungsfähig halte.

II. Elektrokardiogramm und Mechanik des Kreislaufes.

Die Beziehungen des Elektrokardiogrammes zu den mechanischen Erscheinungen am Herzen und an den Gefässen sind in mehrfacher Beziehung von Interesse. Zunächst weil es nahe liegt, aus den zeitlichen Verhältnissen Schlüsse auf die Bedeutung der einzelnen Teile des Elektrogrammes zu machen, weiter weil die Möglichkeit vorhanden ist, bei bekannten Änderungen der mechanischen Verhältnisse Formänderungen des Elektrokardiogrammes auf diese zu beziehen, und drittens, weil eine genaue Untersuchung gerade dieser Beziehungen allein imstande ist, die Grundlage abzugeben für den Versuch, das Elektrokardiogramm praktischen Zwecken dienstbar zu machen.

Eine wichtige in exakter Weise registrierbare mechanische Erscheinung während der Herztätigkeit ist die Druckänderung in den Ventrikeln. Um diese zu registrieren, verfährt man nach alter Methode so, dass man von der linken Karotis oder der rechten Vena jug. ext. einen langen dünnen Katheter durch die Aorta und die Semilunarklappen in den linken, bzw. durch den rechten Vorhof in den rechten Ventrikel einführt und denselben mit einem geeigneten Apparate in Verbindung setzt. Die Verzeichnung der Ausschläge des Hebels dieses Schreibapparates erfolgt nun wiederum in einfacher Weise, indem man denselben auf den Spalt der photographischen Registriervorrichtung einen Schatten werfen lässt. Nun geht bekanntlich einerseits bei der Leitung durch Röhren zum Registrierapparate Zeit verloren, andererseits ist es bei unseren Versuchen nicht möglich, sehr kurze Verbindungsröhren anzuwenden. Denn das Versuchstier kann nicht gut in unmittelbare Nähe des photographischen Apparates gebracht werden, das druckregistrierende Instrument aber muss unmittelbar vor demselben angebracht sein.

Wie oben beschrieben, führe ich die Leitungsröhren durch die durchbohrte Zimmerwand, an deren einer Fläche der Registrierapparat, an deren anderer das Versuchstier aufgestellt ist. Die Länge der

Leitungsröhren beträgt etwa einen Meter, und es war daher zunächst nötig, die Leitungszeit für diese Verbindungsröhren zu bestimmen. Dies wurde in einfacher Weise dadurch erreicht, dass durch dieselbe Manipulation (Schlag eines Hammers) ein sehr schwacher elektrischer Strom der Saite des Galvanometers zugeführt und zugleich am Anfange des Leitungsröhres eine Druckänderung der in demselben enthaltenen Flüssigkeit verursacht wurde. Diese Druckänderung wurde einem vor dem Spalte des photographischen Registrierapparates angebrachten Gad'schen Blutwellenschreiber zugeleitet, welcher auf das lichtempfindliche Papier neben dem Saitenbilde seinen Schatten warf.

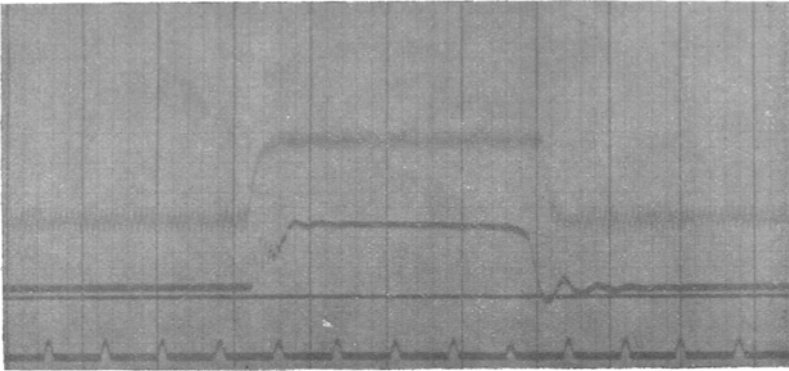


Fig. 14.

Eine der zahlreich in dieser Art ausgeführten Bestimmungen zeigt Fig. 14. Die obere Kurvenlinie stellt den Ausschlag der Saite dar, die nächste die Hebelbewegung des Blutwellenschreibers. Letztere erfolgt deutlich später als erstere und zwar um einen Betrag, welcher zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{2}{3}$ eines Millimeters schwankt. Aus einer grösseren Anzahl von Beobachtungen lässt sich die Zeit, welche zur Leitung zum Blutwellenschreiber verbraucht wird, auf 0,013—0,017 Sek. berechnen. Es ist also in allen folgenden Kurven die Linie des Blutwellenschreibers um $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ der Seitenlänge eines kleinen Quadrates gegen den Anfang der Kurve zu verschieben.

Zunächst seien aus dem vorhandenen Kurvenmateriale zwei Elektrogramme mitgeteilt, neben welchen der Druck im linken Ventrikel in der angedeuteten Weise registriert wurde. Solche Versuche leiden ganz besonders unter dem Umstande, dass durch

die Verbindung des Tieres mit längeren Leitungsröhren, wie schon oben erwähnt wurde, Gelegenheit zum Abströmen von Elektrizität gegeben und damit Unruhe der Saite verursacht wird. Dadurch erscheinen die betreffenden Elektrogramme recht entstellt, aber nicht in den Zweck vereitelndem Maasse. Fig. 15 zeigt das Elektrogramm eines Hundes bei Ableitung $rv-lh$, [darunter den Druck im linken

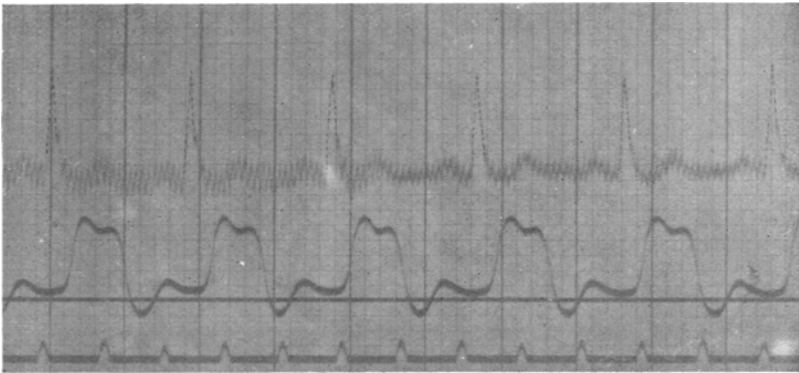


Fig. 15.

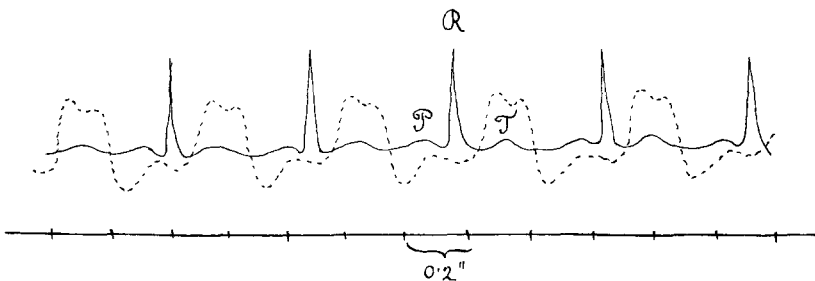


Fig. 16.

Ventrikel. Um die zeitlichen Verhältnisse besser beurteilen zu können, sind die beiden Kurvenlinien übereinander gezeichnet, mit Berücksichtigung der verlorenen Leitungszeit in Fig. 16 dargestellt.

Es ist daraus ersichtlich, dass der Druckanstieg im linken Ventrikel zu einer Zeit beginnt, wo die jähe Bewegung der Saite, welche die Spitze R bildet, eben ihr Ende erreicht. Während der Zeit, welche nun bis zum Beginne des negativen Druckes im Ventrikel vergeht, spielt sich der übrige Abschnitt des Ventrikelteiles des Elektrogrammes ab. Die Spitze T fällt in die Austreibungszeit

des Ventrikels. Die kleine der Kontraktion des Vorhofes entsprechende Zacke der Druckkurve fällt mit der Spitze *P* des Elektrogrammes annähernd zusammen.

Fig. 17 ist ein Ausschnitt aus einer Serie von Herzschlägen eines anderen Tieres bei Ableitung *Br—Ba*. Das Herz schlägt schneller als in Fig. 16, die Dauer der Austreibungszeit ist kürzer, die Zeit zwischen zwei Ventrikelschlägen ebenfalls. Dementsprechend



Fig. 17.

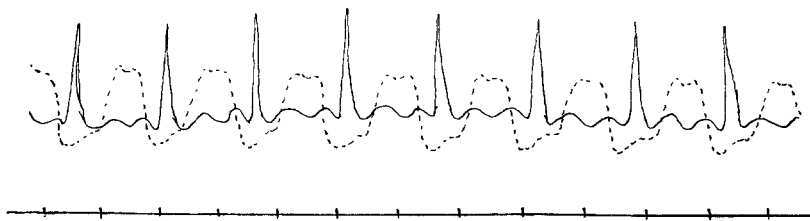


Fig. 18.

folgen die Spitzen des Elektrogrammes rascher aufeinander. Auch hier sind die Saitenausschläge, welche die Spitze *R* bilden, bereits nahezu vorüber, wenn der Ventrikel seine Aktion beginnt. Das Ende dieser Spitze fällt nahezu in jene Zeit, zu welcher die Austreibungsperiode beginnt. Die Spitze *T* hat dasselbe zeitliche Verhältnis zu der Druckkurve wie in Fig. 16, nicht so aber die Spitze *P*, welche hier der Vorhofzacke der Druckkurve vorangeht.

Aus den zahlreichen Versuchen, welche ich in dieser Art angestellt habe, geht also folgendes hervor: Die Spitze *P* [Vorhofs-

zacke Einthoven's¹⁾] fällt mit der Vorhofszacke der Ventrikeldruckkurve zusammen oder geht ihr etwas voran. Die Spitze *R* (Ventrikelsacke) läuft vor der Tätigkeit des Ventrikels fast vollständig ab. Sie verschwindet während der Anspannungszeit des Ventrikels und ist zur Zeit des Beginnes der Austreibungszeit vorüber. Die Spitze *T* (Nachschwankung) fällt noch in die Austreibungszeit, sie findet sich regelmässig innerhalb jenes Zeitabschnittes, in welchem so häufig die Ventrikeldruckkurve ein Plateau aufweist.

Diese Resultate stimmen mit den sehr interessanten Anschauungen, welche Nicolai²⁾ bezüglich des Ablaufes der Erregungsleitung im Säugtierherzen vorgebracht hat, sehr schön überein. Denn wenn man Nicolai beistimmt in der Ansicht, die Ventrikelsacke sei der Ausdruck der Fortpflanzung der Erregung durch das Papillarsystem des Herzens, die nun folgenden Teile des Elektrogrammes aber der Ausdruck eines „mehrfachen sich kompensierenden Geschehens“, vor allem der Tätigkeit des Treibwerkes des Herzens, so muss gefolgert werden, dass einerseits die Ventrikelsacke zu Beginn der Austreibungszeit des Ventrikels vorüber sein, andererseits aber die Pause zwischen der Ventrikelsacke und der Nachschwankung sowie diese letztere selbst in die Austreibungszeit fallen muss, um mit dem Ende derselben ihr Ende zu finden. Alles das ist tatsächlich, wie wir gesehen haben, der Fall. Dass die Vorhofszacke mit der der Vorhofskontraktion entsprechenden Zacke der Druckkurve nicht immer zusammenfällt, sondern ihr häufig etwas vorausgeht, ist wohl darin begründet, dass letztere nicht sehr genau, sondern wohl mit einiger Verspätung den Moment der Vorhofskontraktion angibt.

Die Vergleichung des Elektrokardiogrammes mit den Druckkurven des rechten Ventrikels nach derselben Methode scheint dieselben Resultate zu ergeben. Indessen kann ich hierüber wegen der Kleinheit der Druckkurven bei Verwendung des Blutwellenschreibers vorläufig nichts ganz Sicheres aussagen.

Was nun das zeitliche Verhältnis der Spitzen des Elektrokardiogrammes zu der Kurve des Blutdruckes im Anfangsteile des arteriellen Gefässsystemes anlangt, so teile ich aus der Zahl der vorhandenen

1) Vgl. W. Einthoven, Über die Form des menschlichen Elektrokardiogrammes. Pflüger's Arch. Bd. 60 S. 107. 1895. Weiter vgl. F. Kraus und G. F. Nicolai, l. c. S. 767.

2) Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin, 22. November 1907. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 21 Nr. 20.

Kurven eine mit (Fig. 19), welche von einem Hunde stammt, dessen Blutwellen zugleich mit dem Elektrogramme (*rv—lh*) von einem Blutwellenschreiber aufgezeichnet wurden, der mit der Karotis des Tieres in Verbindung stand. Das Elektrogramm ist zugleich ein Beispiel für eine negative Spitze *T*, wie sie Einthoven¹⁾ in seiner letzten Arbeit beschrieben hat.

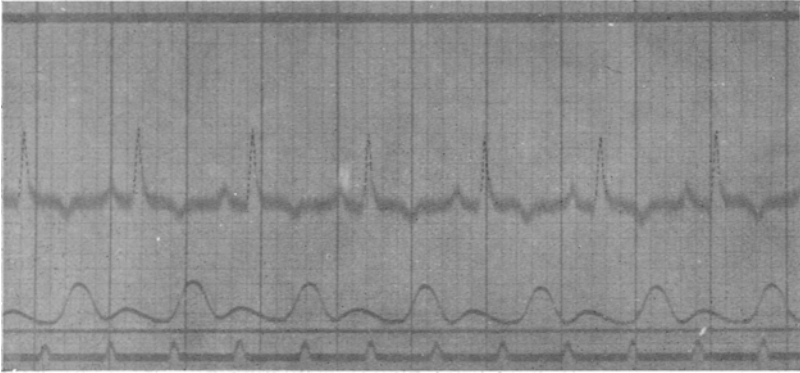


Fig. 19.

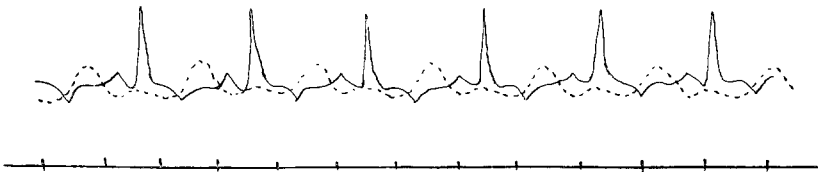


Fig. 20.

Aus der Übereinanderzeichnung der beiden Kurvenlinien (Fig. 20) ergibt sich in Bestätigung des oben Gesagten, dass die scharfe „Ventrikelsacke“ *R* völlig abgelaufen ist, wenn die Austreibungszeit des Ventrikels beginnt.

Ich gelange nun zur Besprechung der Erscheinungen am Elektrokardiogramm bei verschiedenen Eingriffen auf Herz und Gefäßsystem. Was die Blutentziehung anlangt, so findet sich bei Einthoven²⁾ die durch zwei Kurven belegte Angabe, dass als Folge dieses Eingriffes ein bedeutendes Tieferwerden der Spitze *T* (Nachschwankung)

1) l. c. S. 531.

2) l. c. S. 544.

eintritt. Die dort reproduzierten Kurven zeigen eine negative Spitze. Schon nach Entziehung von 100 ccm Blut ist in der Kurve eine bedeutende Änderung zu sehen.

Nach meinen Erfahrungen tritt diese Erscheinung erst einige Zeit nach erfolgter völliger Verblutung ein. Fig. 21 zeigt Karotisdruck und Elektrogramm eines Hundes, welchem plötzlich die Bauch-aorta durchschnitten wird (*rv—lh*). Der Blutdruck sinkt rasch auf Null, die Kurvenlinie des Elektrogrammes sinkt ebenfalls für die Dauer von vier Herzschlägen, um sich nachher wieder annähernd zur ursprünglichen Höhe zu erheben und in fast derselben Form wie früher weiter zu verlaufen. Eine Änderung der Form und

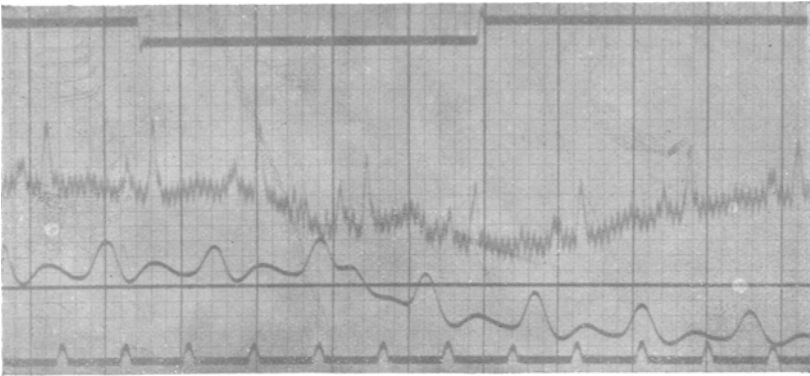


Fig. 21.

Höhe der an sich schwach ausgeprägten Spitze *T* ist nicht zu bemerken. Erst allmählich ändert sich die Form des Elektrogrammes, und zur Zeit, wo bereits eine bedeutende Pulsverlangsamung eingetreten ist, wächst die Spitze *T* mächtig empor, um endlich die Spitze *R* zu überragen (Fig. 22).

Die mitgeteilten Kurven (Fig. 21 und 22) weisen eine positive Spitze *T* auf. Die bedeutende Veränderung derselben nach Verblutung im Zusammenhange mit den eben besprochenen Kurven Einthovens zeigt an, dass es sich hier um eine sehr bedeutende Änderung des mechanischen Geschehens in der Muskulatur des Ventrikels handeln muss. Die Spitze *T* fällt in die Austreibungszeit des Ventrikels, sie gehört nach Nicolai¹⁾ zu jenem Teile des

1) l. c. S. 682.

Elektrogrammes, welcher der Ausdruck für ein mehrfaches, sich gegenseitig kompensierendes Geschehen ist, die Resultierende aus den Aktionsströmen der in den verschiedensten Faserrichtungen sich durchkreuzenden Muskelfasern des Treibwerkes und der Spiralfasern des Herzens. Diese Muskelsysteme arbeiten nach dem völligen Absinken des Blutdruckes durch Aortendurchschneidung unter ganz anderen mechanischen Bedingungen, und hieraus könnte vielleicht die bedeutende Änderung der Form des entsprechenden Teiles des Elektrogrammes erklärt werden. Jedenfalls sei nochmals hervorgehoben, dass sowohl im Falle der ursprünglichen Negativität der Spitze *O* (Einthoven) als auch wie in Fällen wie der eben be-

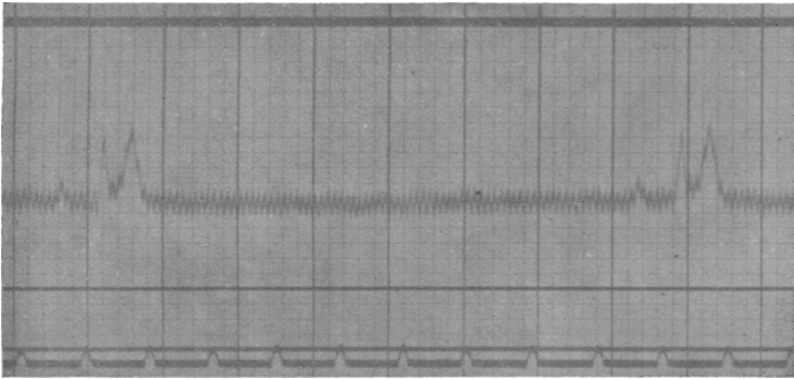


Fig. 22.

sprochene diese Spitze nach Herabsetzung des Blutdruckes an Mächtigkeit zunimmt, und zwar in dem Sinne, in welchem sie vorher vorhanden war. War sie vorher negativ, so wächst die Negativität, war sie positiv, so gewinnt sie nach der positiven Seite der Kurve an Höhe und Breite.

Ich gelange nun dazu, in Kürze die Befunde Einthoven's bezüglich der Vagusreizung zu besprechen. Was zunächst die von Gaskell¹⁾ für das Schildkrötenherz angegebene Verstärkung des Demarkationsstromes des Herzens während des Vagusstillstandes anlangt, bemerke ich in Übereinstimmung mit Einthoven, dass sich in keinem meiner Elektrogramme vom Hunde, auch bei länger-

1) Siehe Einthoven, l. c. S. 431. Dasselbst findet sich die ganze hier interessierende Literatur zitiert.

dauerndem Vagusstillstande, eine Änderung der Stellung der Saite gezeigt hat, welche so gross gewesen wäre, dass man sie nicht hätte auf technische Fehler zurückführen können. Sicherlich lässt sich diese Frage, wie Einthoven meint, durch eine eigens darauf gerichtete Untersuchung lösen. Was nun die speziellen Erscheinungen am Elektrokardiogramm während und nach der Vagusreizung betrifft, so habe ich im allgemeinen die Verhältnisse so beobachten können, wie sie Einthoven¹⁾ beschreibt. Nur sind nach meinen bisherigen Erfahrungen die Veränderungen in der Form des Elektrogrammes in verschiedenen Fällen verschieden stark ausgesprochen. Ich teile z. B. ein solches zugleich mit dem Blutdrucke in der Karotis (*rv—lh*) aufgenommenes Elektrogramm in Fig. 1 und 2 auf Taf. IX mit. Die Linie über den Ausschlägen der Saite zeigt den Beginn (Fig. 1) bzw. das Ende (Fig. 2) einer schwachen Reizung des peripheren Vagusstumpfes an. Die Reizung dauerte ungefähr 5 Sekunden. Die Pulsverlangsamung ist recht bedeutend, der Blutdruck sinkt. Dementsprechend finden sich in der Kurvenlinie der Saitenausschläge zwischen den Spitzen *T* (negativ) und *P* längere Pausen, die Form und Höhe der einzelnen Spitzen aber sowie ihr gegenseitiger Abstand ist vor der Reizung, während und nach derselben kaum verschieden. (In der Zeit, in welcher Fig. 1 aufgenommen wurde, war die Saite infolge äusserer Umstände, die nicht vermeidbar waren, unruhig.) Ebenso besitze ich Elektrogramme nach starker Vagusreizung mit längerem völligen Stillstande des Herzens in Diastole und völlig abgesunkenen Blutdrucke, bei denen eine wesentliche Änderung der Kurvenform nach der Vagusreizung nicht zu bemerken ist.

Das typische Elektrokardiogramm erhält man beim Hunde nicht nur bei unversehrtem Thorax und Ableitung in der bisher beschriebenen Weise, sondern auch nach Eröffnung der Brusthöhle und des Herzbeutels. Dabei liefert die Ableitung von den oberen und unteren Wundrändern der Thoraxöffnung, namentlich auch von den diesen Wundrändern benachbarten Partien der inneren Thoraxwandfläche ebenfalls sehr schöne typische Elektrogramme mit hohen Spitzen. Nur bei Ableitung vom freigelegten Herzen selbst lassen sich verschiedene Formen des Elektrogrammes erzielen. Die am häufigsten vorkommende Erscheinung ist die bedeutende Verkleinerung der

1) l. c. S. 538.

Spitze *R* sowie ein mächtiges Anwachsen der Spitze *S*. Dadurch bekommt die Ventrikelzacke die Form einer „auf- und abgehenden Doppelschwankung“ [Kraus und Nicolai¹⁾]. Auch die anderen Zacken des Elektrogrammes können eine wesentlich andere Form aufweisen, sie können aber auch sehr wenig oder gar nicht ausgesprochen sein. Die hohe Fülle in den Verschiedenheiten der Kurve bei Ableitung vom Herzen selbst wird gewiss nicht verwundern, wenn man bedenkt, dass bei der grossen Kompliziertheit der Anordnung der Muskulatur die Form des Elektrogrammes bei Ableitung vom Herzen selbst in hohem Grade von der Lage der Ableitungsstellen abhängen muss. Das genaue Studium dieser Verhältnisse erfordert eine sehr schwierige Untersuchung. An dieser Stelle will ich weiter nicht darauf eingehen, sondern eine Erörterung dieser Verhältnisse verschieben, bis ich über ein grösseres Material verfüge. Nur auf einen sehr merkwürdigen Punkt sei noch hingewiesen.

In seinen letzten Untersuchungen über das Elektrokardiogramm des Menschen führt Einthoven²⁾ bezüglich des Einflusses der Atembewegungen auf das Elektrokardiogramm aus, dass bei tiefster Einatmung das System der Spitzen *Q*, *R* und *S* abgeplattet und nach unten gedrückt wird. Diese Erscheinung, welche aber bei vielen Personen nicht zu bemerken ist, wird durch einige sehr schöne Kurven in Einthoven's Aufsatz illustriert. An Hunden habe ich etwas derartiges bisher noch nie mit Sicherheit wahrnehmen können, obwohl man bei diesen Tieren während des Versuches die verschiedensten Atemformen, auch solche mit sehr tiefen Atemzügen häufig zu sehen Gelegenheit hat. Dagegen ist mir sehr oft bei eröffnetem Thorax und Ableitung wenigstens mit einer Elektrode vom Herzen eine Reihe von Erscheinungen am Elektrogramme aufgefallen, welche sicher mit den ausgiebigen Zustandsänderungen der Lungen bei der künstlichen Atmung zusammenhängen. Fig. 3 auf Taf. IX zeigt einen Ausschnitt aus einer längeren Reihe registrierter Herzschläge bei freigelegtem Herzen, künstlicher Atmung und Ableitung von der linken vorderen Extremität und der Spitze des Herzens. In dieser Kurve erfolgten alle Saitenausschläge im entgegengesetzten Sinne als bei allen anderen mitgeteilten Kurven, da irrtümlicherweise die Pole des Galvanometers vertauscht wurden. Auch sind in

1) l. c. S. 768.

2) l. c. S. 561.

diesem Elektrogramme die Spitzen *P* und *T* sehr mangelhaft ausgesprochen. Die mit der künstlichen Atmung zusammenhängenden Erscheinungen sind folgende. Die ganze Kurvenlinie (das Negativ hat 50 cm Länge) verläuft in langsamen Wellen, welche in der Form sehr an die Atemschwankungen des Blutdruckes bei Manometerkurven erinnern. Bei einer jeden Aufblasung der Lungen steigt die Kurvenlinie an (in dem mitgeteilten Falle umgekehrt wegen der oben erwähnten falschen Schaltung), bei jedem Kollaps der Lungen sinkt sie. Der Rhythmus des Steigens und Fallens stimmt genau mit den Phasen der Atmung überein. Auf dem Ausschnitte, welchen Fig. 3 der Taf. IX darstellt, bedeutet die Senkung der Kurvenlinie in der Mitte das Stadium der Lungenaufblähung, die beiden Erhebungen rechts und links je eines des Lungenkollapses. Die Ventrikelsacken der einzelnen Herzschläge sind auf und ab gehende Doppelschwankungen, welche, von Spitze zu Spitze gemessen, verschiedene Höhe je nach der Atmungsphase aufweisen. An den Stellen des Lungenkollapses beträgt die Distanz zwischen den Spitzen *R* und *S* bis zu 4,5 mm weniger als im Stadium der Lungendehnung. Die Kurvenlinie unter der Linie des Elektrogrammes sind die Blutwellen des Karotisdruckes von einem Blutwellenschreiber geschrieben. An jenen Stellen, an welchen die Ventrikelsacken des Elektrokardiogrammes kleiner sind (Kollaps), sind die Blutwellen sehr deutlich höher und umgekehrt. Daraus ist also zu schliessen, dass die Verkleinerung der Ventrikelsacke mit einer verstärkten Tätigkeit des Herzens während des Lungenkollapses einhergeht, und dass die Lungendehnung das Entgegengesetzte bewirkt. Die eben beschriebenen Erscheinungen sind in noch höherem Maasse an dem Elektrokardiogramme eines anderen Hundes zu sehen (die Blutwellen sind hier leider durch Gerinnung in der Kanüle verunstaltet), bei welchem die ganze Versuchsanordnung ebenso getroffen war wie in dem vorher mitgeteilten Falle, mit dem einzigen Unterschiede, dass beide Ableitungsstellen am Herzen selbst gelegen waren, die eine an der Herzspitze, die andere an den grossen Gefässen. Der Unterschied in der Stellung der Saite bei Aufblasung (oben) und Kollaps (unten) ist sehr bedeutend, und die Ventrikelsacke ist im ersten Falle um vieles grösser als in letzterem (Fig. 4 auf Taf. IX).

Was nun zunächst die Schwankungen der Saite bei den einzelnen Phasen der künstlichen Respiration anlangt, so habe ich beim Um-

sehen in der Literatur gefunden, dass Hamburger¹⁾ gelegentlich seiner Untersuchungen mit dem Kapillarelektrometer Schwankungen der Negativität des Meniscus synchron mit der künstlichen Atmung beim Hunde beschrieben hat, und zwar Vermehrung der Negativität desselben bei Ausdehnung der Lunge. Aus dem Umstande, dass diese Erscheinung auch noch auftrat, nachdem die Lungen im Zusammenhange mit dem Herzen aus dem Körper entfernt waren, hat Hamburger den Schluss gezogen, dass dieselbe durch mechanische Reibung der Lungen gegen das Herz entstehe. Diese Angaben sind, soviel mir bekannt ist, niemals weiter untersucht worden, und bedürfen daher einer neuerlichen Prüfung mit Hilfe des Saitengalvanometers. Jedenfalls kann die Ursache der oben beschriebenen langsam verlaufenden Atemschwankungen des Elektrokardiogrammes schon deshalb nicht auf die gleiche Ursache zurückgeführt werden, weil sich ja zugleich mit ihnen eine Änderung in der Form des Elektrogrammes und in der Stärke der Herztätigkeit geltend macht. Auch über diesen Punkt behalte ich mir eine genauere Erörterung vor, bis zu einem Zeitpunkte, wo ich über ein grösseres Kurvenmaterial verfügen werde.

Was nun die Veränderung der Ventrikelsacke in den verschiedenen Phasen der Respiration betrifft, so ist Einthoven²⁾ der Ansicht, dass ein direkter mechanischer Zusammenhang zwischen den elektromotorischen Erscheinungen des Herzens und den Atembewegungen besteht. Er findet diesen Zusammenhang im negativen intrapleuralem Druck, der während der Einatmung verstärkt wird. Indem ich glaube, dass die von ihm beschriebene Erscheinung mit der von mir beobachteten ihrem Wesen nach identisch ist, kann ich mit Sicherheit aussagen, dass beide Erscheinungen ihren Grund nicht in den Druckschwankungen im Pleuraraume haben können, denn in meinen Versuchen ist ja die Brust geöffnet, und das Tier wird künstlich ventiliert. Die weitere Beurteilung derselben wird aber dadurch kompliziert, dass bei denselben Phasen der Respiration in Einthoven's Elektrogrammen vom Menschen bei natürlicher Atmung die Ventrikelsacke in ihrer Änderung sich entgegengesetzt verhält als in den meinigen, welche vom Hunde bei

1) H. J. Hamburger, Elektromotorische Kraft, hervorgerufen durch die Atmung. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 4 S. 129. 1890.

2) l. c. S. 565.

künstlicher Atmung gewonnen sind. Dazu kommt, dass Einthoven von den Extremitäten ableitete, ich aber bisher nur bei Ableitung mit wenigstens einer Elektrode vom Herzen selbst die in Rede stehende Erscheinung wahrnehmen konnte. Die genauere Einsicht in diese Verhältnisse wird ebenfalls nur durch künftige besonders darauf gerichtete Versuche ermöglicht werden.

III. Das atypische Elektrokardiogramm.

Unter diesem Namen ist ein Elektrogramm des Herzens zu verstehen, welches in seiner Form von der „Durchschnittsform“ des Elektrokardiogrammes (Einthoven) wesentlich abweicht. Alle bisherigen Untersuchungen haben ergeben, dass eine solche Abweichung nur in einer geänderten Form der Herztätigkeit ihren Grund haben kann. Von diesem Standpunkte aus ist mit Sicherheit zu erwarten, dass die regellose, unkoordinierte Tätigkeit der Herzmuskelfasern, wie sie sich während des Flimmerns des Herzens vollzieht, ein Elektrokardiogramm liefern wird, welches im höchsten Grade von dem gewöhnlichen Typus abweicht. Es ist weiter zu erwarten, dass die sich im Falle des Herzflimmerns darbietende Form des Elektrokardiogrammes sehr unbestimmt und regellos, dass die Höhe der Spitzen desselben je nach der Stärke der unkoordinierten Herztätigkeit verschieden sein wird. Denn gerade hier wird jedesmal nur eine Resultierende aus einer überaus grossen Anzahl von Komponenten, den Aktionsströmen der in verschiedenster Richtung angeordneten, in den verschiedensten Phasen tätigen Herzmuskelfasern, als Saitenausschlag in Erscheinung treten. Leitet man beim Hunde mit freigelegtem Herzen in der gewöhnlichen Weise von den Extremitäten ab und erzeugt auf irgendeine Weise, z. B. durch Faradisierung des Herzens, Herzflimmern, so ist man gelegentlich erstaunt, mit den scheinbar so geringen mechanischen Erscheinungen am Herzen mächtige Ausschläge der Saite einhergehen zu sehen. Fig. 5 auf Taf. IX zeigt das Resultat eines solchen Versuches. Die Kurve ist bei Ableitung *rv—lh* an einem Tiere aufgenommen, welches ein sehr typisches Elektrogramm geliefert hatte, einige Sekunden nach Eintritt des Herzflimmerns. Die künstliche Atmung ist noch im Gange. Man sieht die mächtigen Saitenausschläge infolge des Herzflimmerns, welche weitaus höher sind als die Spitzen des vorher an diesem Tiere beobachteten Elektrokardiogrammes. Dazu sei noch bemerkt, dass es sich hier nicht etwa um die Ein-

mischung der Aktionsströme quergestreifter Muskeln bei der Erstickung handeln kann, denn das Tier war curaresiert und rührte sich nicht. Einige Zeit nachher und nach Aufhören der künstlichen Atmung, als das Herz nur noch so schwach flimmerte, dass die Tätigkeit seiner Muskulatur nur bei genauen Zusehen wahrnehmbar war, zeigte die Saite noch unregelmässige Ausschläge von bedeutender Höhe (Fig. 23). Zu jener Zeit hatten, wie das so oft vorzukommen pflegt, die Herzhoren wieder synchron zu schlagen begonnen, und es sind in der Kurve die Zeiten dieser Schläge in der obersten Linie markiert. In der Kurve des Elektrogrammes sind diesen Kontraktionen entsprechende Spitzen, wie ja auch gar nicht verwunderlich sein kann, nicht mit Sicherheit festzustellen.

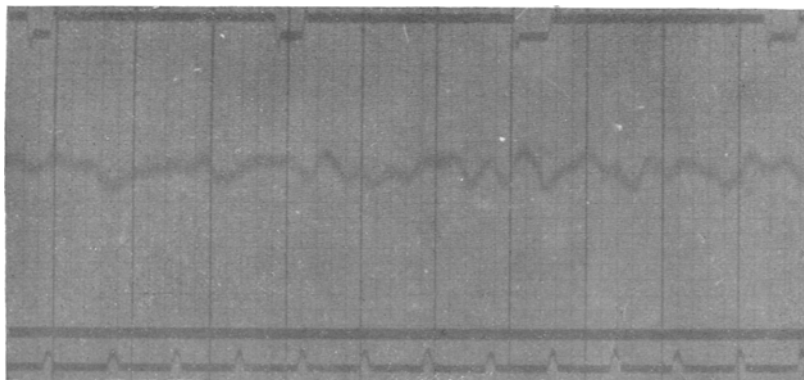


Fig. 23.

Aber nicht nur eine so umfassende Änderung der Herztätigkeit wie beim Eintreten des Herzflimmerns, sondern kleinere Abweichungen vom normalen Geschehen lassen erwarten, dass die Form des Elektrokardiogrammes von der Durchschnittsform abweicht. Solche atypische Elektrogramme sind bereits in grösserer Zahl von Einthoven und Kraus und Nicolai am Menschen beschrieben worden. Es ist natürlich von grösstem Interesse zu wissen, ob bestimmte Formen des atypischen Elektrogrammes bestimmten Unregelmässigkeiten der Herzaktion entsprechen. Ebenso wichtig wäre es, genau feststellen zu können, welcher Art die sicher atypischen Elektrokardiogramme sind, welche der Kontraktion einzelner Abschnitte des Herzens entsprechen. Zur Lösung solcher Fragen kann offenbar sowohl durch die Beobachtung der elektrischen Erscheinungen am Herzen von

Individuen, welche an einer anderweitig sichergestellten Funktionsstörung des Herzens leiden, andererseits durch den Tierversuch in Angriff genommen werden. Sowohl durch Einthoven¹⁾ als auch durch Kraus und Nicolai¹⁾ ist der erstere Weg bereits eingeschlagen worden. Die bisher erzielten Resultate zu beurteilen, fühle ich mich vorläufig mangels eigener Erfahrung auf diesem Gebiete nicht berufen, doch scheinen sie mir nicht sehr befriedigend zu sein. Was den Tierversuch anlangt, so handelt es sich um sehr schwierige und zeitraubende Experimente. Solche sind, soviel mir bekannt wurde, bisher nur von Kraus und Nicolai unternommen worden, und zwar in folgender Weise. Sie legten das Herz des Hundes frei, erzeugten durch Vagusreizung Herzstillstand und reizten nun elektrisch oder mechanisch verschiedene Stellen des Herzens. Dabei soll nun die Erregung häufig überhaupt nur auf jenen Herzabschnitt beschränkt geblieben sein (Blockierung), welcher direkt vom Reize getroffen war. Auf diese Weise gewonnene Elektrogramme sollen nun für den rechten bzw. für den linken Ventrikel charakteristisch sein. Auf diese sowie auf viele andere wichtige Einzelheiten in dieser Untersuchung von Kraus und Nicolai genauer einzugehen, empfiehlt sich vorläufig nicht. Denn es ist eine ausführliche Publikation über diese Verhältnisse von ihnen angekündigt, welche wohl genauere Angaben über Technik und sonstige Einzelheiten bringen wird, als dies in einem Vortrage geschehen konnte.

Es erübrigt nun noch, einige Besonderheiten über diesen Gegenstand mitzuteilen, welche ich in den Elektrogrammen der sehr zahlreichen im Hinblick auf die Publikation von Kraus und Nicolai angestellten Tierversuche gefunden habe. Atypische Elektrokardiogramme erhält man beim Hunde zuweilen aus Gründen, die mir bisher völlig unklar geblieben sind, während oder nach starker Vagusreizung, gelegentlich aber auch bei ganz schwacher. So teile ich in Fig. 24 einen Fall von schwacher Vagusreizung mit Pulsverlangsamung mit, in welchem sich längere Zeit hindurch (es wurden mehrere Aufnahmen von je 50 cm Kurvenlänge gemacht) bei jeder Reizung Gruppen von atypischen Elektrogrammen zeigten (*rv—lh*). Dieselben bestehen im wesentlichen (die Kurve ist leider durch Saitenschwingungen aus äusseren Ursachen recht verunstaltet) in

1) A. a. O.

einer mächtigen Entwicklung der Spitze *S* und sofort anschliessender ebenfalls stark entwickelter Spitze *T*, so dass sich die Form einer diphasischen Schwankung ergibt. Dabei ist aber diese der Ventrikeltätigkeit entsprechende elektrische Erscheinung von relativ normaler Dauer, denn wie aus der gleichzeitig verzeichneten Druckkurve im linken Ventrikel hervorgeht, endet sie zugleich mit der mechanischen

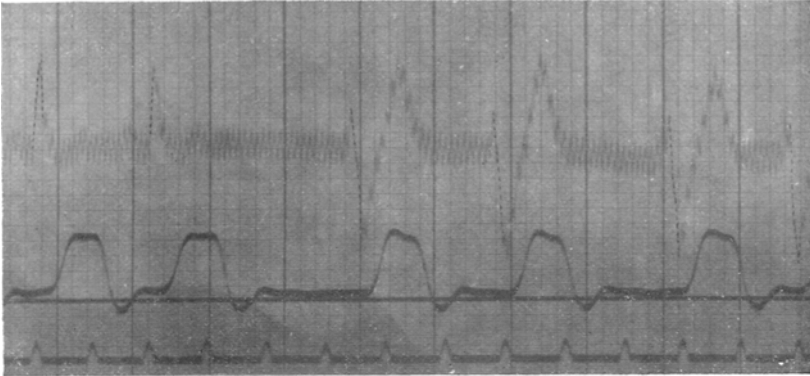


Fig. 24.

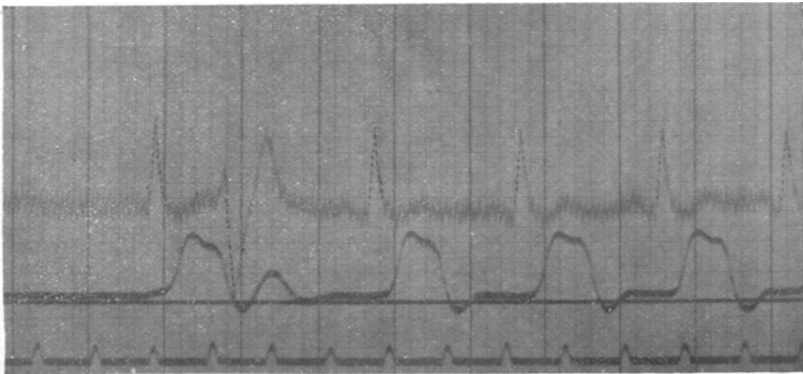


Fig. 25.

Tätigkeit des Ventrikels. Ganz ähnliche atypische Elektrogramme sind während und nach starker Vagusreizung zu beobachten, wovon Fig. 25 ein Beispiel gibt. Sie zeigt die ersten Herzschläge nach längerdauerndem Stillstande des Herzens, eines anderen Versuchstieres (*rv—lh*). Der zweite Herzschlag ist verfrüht und, wie aus der Ventrikeldruckkurve hervorgeht, unvollständig. Ihm entspricht

eine diphasische Schwankung von der Form der eben beschriebenen. Dieselbe Erscheinung wiederholte sich nach dem 14. Herzschlage nach der Vagusreizung.

Atypische Elektrokardiogramme, welche eine im Sinne von Kraus und Nicolai für je einen einzelnen Ventrikel charakteristische Form aufweisen, habe ich ebenfalls nicht selten erhalten. Niemals aber ist es mir gelungen, während des Vagusstillstandes die Erregung bei Reizung eines Ventrikels auf diesen beschränkt bleiben zu sehen. Aus dem mir vorliegenden Kurvenmateriale bringe ich in Fig. 6 und 7 der Taf. IX atypische Elektrogramme, welche im wesentlichen den von Kraus und Nicolai für die einzelnen Ventrikel charakteristischen gleichen. Fig. 6 wurde von einem Hunde erhalten, dessen Herz freigelegt, und dessen linke Ventrikelhöhle mit einem Blutwellenschreiber verbunden war. Das Elektrokardiogramm zeigt eine negative Spitze T ($rv-lh$), die Kurve des Ventrikeldruckes ist wegen leichter Gerinnung im Ventrikelkatheter in der Form nicht ganz normal. Während des Vagusstillstandes wurde der linke Ventrikel mechanisch in der Nähe der Herzspitze durch starke Berührung gereizt. Beide Ventrikel vollführten einen Schlag, und das Herz lieferte ein atypisches Elektrogramm, welches dem von Kraus und Nicolai angegebenen recht ähnlich ist. Vom Momente des Beginnes des Saitenausschlages bis zum Beginne des Druckanstieges im linken Ventrikel vergingen ungefähr 0,075 Sek. Fig. 7 auf Taf. IX zeigt das Elektrogramm des Herzens desselben Tieres bei mechanischer Reizung des rechten Ventrikels seitlich in der Nähe der Basis während des Vagusstillstandes. Es ist ebenfalls atypisch und entspricht sehr genau der von Kraus und Nicolai aufgestellten Form. Wieder schlugen beide Ventrikel, was hier mit Sicherheit aus dem Druckanstiege im linken Ventrikel zu ersehen ist. Die Zeit, welche in diesem Versuche zwischen dem Beginne des Elektrokardiogrammes und dem des Druckanstieges im linken Ventrikel verging, betrug etwa 0,115 Sekunden, war also erheblich grösser als bei Reizung des linken Ventrikels. Das ist als Bestätigung der Ansicht aufzufassen, dass die Erregung im Herzen von der jeweiligen Reizstelle ausgeht. Endlich möchte ich noch eines besonderen Falles gedenken, welcher ebenfalls ein atypisches Elektrokardiogramm lieferte. Bei einem Hunde, welcher ebenso hergerichtet war wie der eben beschriebene, wurde die Aorta kurz nach ihrem Ursprunge aus dem Herzen völlig um den in ihr liegenden Katheter

zugeschnürt. Das linke Herz arbeitete nun unter isometrischen Bedingungen weiter. Nach drei Herzschlägen erschlaffte es nicht mehr vollkommen, sondern blieb im Kontraktionszustande, auf welchen sich sechs weitere Herzschläge superponierten. Nach dem sechsten Schlage erschlaffte der Ventrikel wieder völlig und führte nun noch eine Reihe von Schlägen aus. Diese letzteren waren von atypischen Elektrogrammen begleitet. Dieselben nähern sich in der Form sehr dem von Kraus und Nicolai für den linken Ventrikel gegebenen Schema. Aber sie verhalten sich zeitlich zu den Aktionen des linken Ventrikels in besonderer Weise (Fig. 8 auf Taf. IX).

Mit dem Beginne des Druckanstieges läuft ein der Durchschnittsform etwa entsprechendes Elektrogramm ab. Dieses hat eine negative Vorkammerspitze. Nach Ablauf desselben, etwa 0,25 Sekunden nach dem Beginne der Drucksteigerung, während der sehr protrahierten Systole des linken Ventrikels erfolgt ein zweites atypisches Elektrogramm, welchem keine neue mechanische Erscheinung am linken Ventrikel entspricht. Es wäre am einfachsten, dasselbe als den elektrischen Ausdruck des sich zu dieser Zeit kontrahierenden dissoziiert schlagenden rechten Ventrikels aufzufassen, es entspricht aber der Form nach nicht dem von Kraus und Nicolai gegebenen Schema für den rechten, sondern vielmehr dem für den linken Ventrikel aufgestellten. In den hier und weiter oben angeführten Tatsachen scheint mir nichts zu liegen, was für die von Kraus und Nicolai in ihrem Vortrage vorgebrachten Grundlagen ihrer Anschauungen über die Beziehungen der Tätigkeit einzelner Herzabschnitte zu bestimmten Teilen des Elektrokardiogrammes sprechen würde. Manches spricht dagegen. Eine bessere kritische Verwertung des mir vorliegenden Materials, welches ich noch weiter zu vermehren hoffe, wird mir erst möglich sein, wenn Kraus und Nicolai den experimentellen Teil ihrer Untersuchungen ausführlicher veröffentlicht haben werden.
