(Aus dem physiologischen Institut der Universität Freiburg i. B.)

Über den Wärmestillstand des Froschherzens.

Von

Dr. **Waldemar Unger**,
Assistent der mediz. Universitäts-Poliklinik.

(Mit 5 Textfiguren.)

Von der umfassenderen Frage nach der Einwirkung der Temperatur auf die Tätigkeit des Herzens liegt den auf Anregung von Herrn Geheimrat v. Kries angestellten Untersuchungen, deren Resultate im folgenden mitgeteilt werden, ein Teil-Problem zugrunde: der Wärmestillstand im engeren Sinne, d. h. der durch allmähliche Erwärmung erzeugte Stillstand des Froschherzens, der durch Abkühlung wieder aufgehoben werden kann. Der irreparable Wärmestillstand: die Wärmestarre, sowie der Kältestillstand und die durch Einwirkung plötzlicher Erwärmung hervorgerufenen Veränderungen der Herztätigkeit blieben ausser Betracht.

Der Wärmestillstand in diesem engeren Sinne wurde in einer ersten Gruppe von Versuchen in seinen Einzelheiten am herausgeschnittenen, spontan schlagenden Froschherzen studiert. Aus gewissen dabei zutage getretenen Verschiedenheiten im Verhalten von Vorhof und Kammer ergab sich dann die Anregung, in einer zweiten Versuchsreihe am stillgestellten und künstlich gereizten Herzen die analogen Erscheinungen zu beobachten, wodurch für die Theorie des Wärmestillstandes einige Fingerzeige gewonnen werden konnten.

I. Der Wärmestillstand am spontan schlagenden Herzen.

Die Registrierung der Herzschläge geschah mittels des Engelmänn'schen Verfahrens der doppelten Suspension. Das Herz war an der Vorhofkammergrenze mit zwei Nadeln auf einer Korkscheibe aufgestiftet, über die sich ein mit Ringer-Lösung gefülltes Becher-

gläschen hinüberschieben liess. Diese Ringer-Lösung wurde durch eine kleine Gasflamme erwärmt und durch fortwährendes vorsichtiges Umrühren für eine möglichst gleichmässige Erwärmung aller Teile des Glasinhaltes gesorgt. Nach Erzielung des Wärmestillstandes wurde das erste Becherglas durch ein anderes mit frischer Ringer-Lösung von Zimmertemperatur ersetzt und dadurch die Herztätigkeit wieder in Gang gebracht, bis durch abermalige Erwärmung ein zweiter Herzstillstand eintrat usw.

Nachdem an einer Anzahl auf diese Weise gleichmässig angestellter Versuche einige Resultate gewonnen waren, wurde zur Wiederherstellung des Herzschlages statt der auf Zimmertemperatur eingestellten Ringer-Lösung eine solche angewandt, die auf Eis gekühlt war und deren Temperatur zwischen 2. und 10°, in einzelnen Fällen bis zu 15,5° C. betrug. In die Serien dieser Versuche wurden dann hie und da wieder einige Versuche mit geringerer Abkühlung (bis auf Zimmertemperatur) eingeschaltet und so der Einfluss besonders niedriger Anfangstemperaturen auf das Verhalten des Wärmestillstandes deutlich gemacht.

Die mit dieser Versuchsmethodik gewonnenen Resultate sind folgende:

Was zunächst die Temperatur anlangt, bei der Wärmestillstand eintritt, so kann eine ungefähre Übereinstimmung mit den in der Literatur vorliegenden Angaben festgestellt werden. Es wird als Temperaturbreite für den Eintritt des Wärmestillstandes von Schelske¹⁾ 36—40° C. angegeben, von Cyon²⁾ 30—40°, von Stewart³⁾ 32—40°, von Flato⁴⁾ 32—35° C.

Die entsprechenden, aus den Ergebnissen von sechs aufeinanderfolgenden Versuchen gewonnenen Zahlen sind bei meinen Stillständen: 36—40° für den Vorhof, 22—37° C. für die Kammer. Diese

1) Über die Veränderungen der Erregbarkeit durch Wärme. Heidelberg 1860. Zit. nach Cyon. Vor Schelske hat schon Pickford den reversiblen Wärmestillstand beschrieben (Zeitschr. f. ration. Med. Bd. 10 S. 117—119. 1851, und N. F. Bd. 1 S. 336/337. 1851); doch sind dessen Angaben zur Vergleichung nicht heranzuziehen, da er die Wärme nur kurze Zeit einwirken liess.

2) Über den Einfluss der Temperaturänderungen auf Zahl, Dauer und Stärke der Herzschläge. Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 18. 1866.

3) Heart and Temperature. Journ. of Physiol. vol. 13. 1892.

4) Über den Einfluss der Temperatur auf die Tätigkeit des Froschherzens. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmak. Bd. 30. 1892.

Fig. 1. Oben die Kontraktionen des Vorhofes, unten die der Kammer. Die Zahlen geben die Temperatur in Celsius-Graden.

Zahlen sind aber mit den oben erwähnten nur mit mehreren Einschränkungen zu vergleichen: zunächst wegen der mit Hilfe der doppelten Suspension durchgeführten Sonderung der Resultate bei Vorhof und Kammer. Weiter ist ausdrücklich hervorzuheben, dass diese Zahlen sich nur auf die Erst-Stillstände der Versuche beziehen, während bei den zweiten, dritten und folgenden Stillständen der Einzelversuche andere Temperaturen die Spontanschläge des Herzens lähmen. Endlich handelt es sich hier um eine andere Versuchsmethode (Suspension); bei Anwendung der von den meisten früheren Autoren angewandten Manometer-Methode (weiter unten zu besprechende Versuche) habe ich andere Ergebnisse, namentlich noch höhere Temperaturen für den Stillstand, erhalten.

Die kurz schon berührte Verschiedenheit im Verhalten von Vorhof und Kammer, die von den mit anderen Methoden arbeitenden Autoren nur kurz nebenbei erwähnt wird¹⁾, tritt bei der hier geübten Methodik der gesonderten Aufzeichnung von Vorhofs- und Kammerbewegungen natürlich besonders deutlich zutage. Es lässt sich aus den Kurven ohne weiteres ablesen, dass die Kammer bei einer niedrigeren Temperatur ihre Kontraktionen einstellt als der zunächst noch ungestört weiter schlagende Vorhof (s. Fig. 1). Ferner ist durch wiederholte Abkühlung innerhalb des Versuches am gleichen Herzen die Kammer bei weitem nicht so oft wieder zum Schlagen zu bringen wie der Vorhof.

1) So Aristow in Du Bois' Arch. 1879, auch Stewart, a. a. O.

So kommen für die erwähnten 6 Versuche auf 39 erzielte Einzelstillstände des Vorhofes nur 12 Stillstände der Kammer, und in einem weiteren, später mit derselben Methode ausgeführten Versuch (Nr. 16) wurden gegenüber 10 Vorhofstillständen nur 2 der Kammer zustande gebracht.

Dass die Stillstandstemperatur nicht bei allen an demselben Herzen hervorgerufenen Stillständen die gleiche ist, wurde oben schon angedeutet. Diese Temperaturverschiedenheit in einer Reihe von Einzelversuchen zeigt nun insofern eine gewisse Gesetzmässigkeit, als mit fortschreitender Zahl der am gleichen Herzen hervorgerufenen Stillstände die zur Aufhebung der Kontraktionen erforderliche Temperatur immer niedriger wird. Es steht also das Herz nach der ersten Abkühlung (mit folgender Erwärmung) bei einer niedrigeren Temperatur still als beim ersten Wärmestillstand; der dritte Wärmestillstand zeigt wiederum eine niedrigere Temperatur als der zweite usw. und der letzte Stillstand hat die niedrigste Temperatur. Kleine Unregelmässigkeiten entstehen öfters in dieser Reihe der sinkenden Temperaturen, indem zwei aufeinanderfolgende Stillstände bei gleicher Temperatur stattfinden oder die Stillstandstemperatur von einem Versuch zum folgenden steigt, um dann erst weiter zu sinken. Fast immer aber macht sich (bei gleichbleibender Methodik) innerhalb des ganzen Versuches eine Tendenz der Stillstandstemperatur zum Sinken bemerkbar als Ausdruck der von Stillstand zu Stillstand abnehmenden Resistenz gegen die schädigende Wirkung der Wärme.

Als Beispiel für dieses Verhalten, das übrigens für Vorhof und Kammer in gleicher Weise gilt, seien hier die Resultate des sechsten Versuches wiedergegeben: Bei einer Anfangstemperatur der Ringer-Lösung zwischen 14° und 19° C.¹⁾ betrug die Temperatur für die Reihe der Vorhofstillstände nach einander 40, 40, 38, 36, 34, 31, 29, 28, 30, ca. 23—24, 24, 23° C. Bei der Kammer war in diesem Versuch nur ein Wärmestillstand zu erzielen.

Bei Zusammenfassung der Versuche 1—6 ergibt sich als Durchschnittswert der Stillstandstemperatur beim Vorhof:

für die ersten Stillstände	$37,7^{\circ}$ C.
„ „ vierten „	$33,5^{\circ}$ „

1) Es erschien zweckmässig, die Abkühlung der Lösung bis unter die Zimmertemperatur zu treiben, da der Versuch an einem besonders heissen Sommertage stattfand.

für die sechsten Stillstände . . .	34,3° C.
„ „ neunten „ . . .	30,0° „
„ „ zwölften „ . . .	24,0° „

wobei natürlich die letzten Zahlen unzuverlässiger sind als die ersten, da für neunte und zwölfte Stillstände weniger Resultate zu Gebote stehen als für erste. Diese Ungenauigkeit wird vermieden, wenn man in jedem Versuch nur den ersten und den letzten Stillstand berücksichtigt:

	Durchschnittliche Stillstandstemperatur		
	überhaupt	erste Stillstände	letzte Stillstände
Vorhof . . .	32,0°	37,7°	31,5° C.
Kammer . . .	26,9°	29,5°	26,5° „

Auch aus diesen Zahlen also geht ein Absinken der Stillstandstemperatur von den ersten zu den letzten Versuchen für Vorhof sowohl wie Kammer hervor; zugleich dienen sie als Beleg dafür, dass der Wärmestillstand der Kammer bei niedrigerer Temperatur erfolgt als der des Vorhofes.

Diese Resultate werden in bestimmter Weise verändert, wenn die nach geschehenem Wärmestillstand zur Wiederbelebung des Herzens benutzte Ringer-Lösung auf Eis gekühlt ist, ihre Temperatur also erheblich niedriger ist als die der umgebenden Zimmerluft. Der Vorhof und zuweilen auch die Kammer kann auf diese Weise nach mehrfachen Wärmestillständen auch dann wieder zum Schlagen veranlasst werden, wenn das durch Abkühlung auf Zimmertemperatur nicht mehr bewirkt werden kann, und es wächst demgemäss die Zahl der bei demselben Herzen möglichen Einzelstillstände. So konnten beim 14. Versuch hintereinander 31 Stillstände und Wiederbelebungen des Vorhofes (und drei der Kammer) erzielt werden, und auch dann wurde der Versuch nicht wegen totaler Erschöpfung des Herzens, sondern aus äusseren Gründen abgebrochen. Allerdings müssen bei diesem Versuch vier Stillstände eigentlich ausser Betracht bleiben, bei denen die (anscheinend nur durch die besonders niedrige Temperatur ermöglichten) Kontraktionen schon bei der gleichen Temperatur (+ 2 bis 4° C.) wieder sistierten, also ein eigentlicher Stillstand durch Erwärmung gar nicht vorlag.

Das Maximum der Stillstandstemperatur beträgt in diesen Versuchen für den Vorhof 44°, für die Kammer 42° C. (gegenüber 40 bzw. 37° C. in den Versuchen ohne stärkere Abkühlung); das Minimum

bleibt natürlich unterhalb der Zimmertemperatur: 8° beim Vorhof, 10° C. bei der Kammer, da bei Berücksichtigung aller Stillstände dieser Versuchsgruppe auch solche mit in Rechnung gezogen werden, bei denen die vorhergehenden Kontraktionen nur durch besonders intensive Abkühlung ermöglicht wurden.

Kühlt man nach verschiedenen Stillständen desselben Herzens die Ringer-Lösung in willkürlichem Wechsel bald auf Zimmertemperatur, bald noch weiter ab, so ergibt sich nach intensiverer Kühlung keine höhere Stillstandstemperatur, doch zeigt sich in der Folge der Stillstände viel weniger Tendenz zum Sinken derselben. Dieses Verhalten gilt auch für die Versuche, bei denen nur eisgekühlte Lösung zur Verwendung kam.

Alles in allem ist also als Effekt der Einschaltung niedriger Temperaturen eine Vermehrung der Resistenz gegen die Wärmeschädigung festzustellen.

Die ausserordentliche Veränderlichkeit der Temperaturen, bei denen der Wärmestillstand eintritt, legt offenbar die Frage nahe, ob wir nicht im Grunde, wenn wir von einer den Wärmestillstand bewirkenden Temperatur reden, von vornherein von einer unzutreffenden Voraussetzung ausgehen.

Bei unbefangener Betrachtung werden die Beobachtungen eigentlich den Eindruck ergeben, dass es für die Erzielung des Stillstandes auf einen besonderen, irgendwie chemisch definierten Zustand des Herzens ankomme, für dessen Herbeiführung allerdings die Temperaturen von Bedeutung, der aber doch keineswegs allein von der Temperatur abhängig ist. Am eindringlichsten sprechen hierfür die Fälle, in denen bei Abkühlung das Herz seine Tätigkeit wieder aufnimmt, jedoch nur für ganz kurze Zeit, um sie alsbald, bevor noch eine Erwärmung vorgenommen worden ist, wieder einzustellen.

Für das ganze Problem des Wärmestillstandes ergeben sich hieraus eine Anzahl weiterer Gesichtspunkte, die ich nur zum kleinen Teil weiter zu verfolgen in der Lage war. So bot sich als eine nächstliegende Frage die, ob etwa der O-Vorrat des Herzens in Betracht käme, und die immer schneller resp. bei immer niedrigeren Temperaturen auftretenden Erschöpfungen des Herzens auf eine Verminderung desselben zu beziehen wären. Ich habe im Hinblick hierauf eine Reihe von Versuchen mit in dieser Hinsicht variierten Bedingungen ausgeführt. Und zwar wurden dabei ausser der ge-

wöhnlichen Ringer-Lösung abwechselnd solche benutzt, die durch Auskochen sauerstoffarm gemacht oder aber durch längeres Einblasen eines Luftstromes mit Sauerstoff angereichert waren. Diese Versuche führten zu dem Ergebnis, dass bei Anwendung von Ringer-Lösungen mit geringer Differenz des O-Gehaltes ein Einfluss überhaupt nicht ersichtlich ist (es wurde hier wechselnd gewöhnliche Ringer-Lösung und kurz ausgekochte verwendet; Abkühlung stets nur auf Zimmertemperatur). Führt man die Stillstände abwechselnd in Ringer-Lösungen von beträchtlicherem Unterschied des Sauerstoffs herbei (erste Lösung 3 Minuten lang ausgekocht, zweite durch ebensolanges Einblasen eines Luftstromes mit O angereichert), so lässt sich für den Vorhof allenfalls eine geringe Beeinflussung der Stillstandstemperatur feststellen; diese scheint bei Sauerstoffreichtum der Flüssigkeit etwas höher zu liegen; für die Kammer ist auch hier kein Unterschied ersichtlich. Für die Annahme, dass die Wärmeschädigungen mit dem O-Gehalt in Verbindung zu bringen seien, ergibt sich also aus diesen Beobachtungen jedenfalls kein irgendwie sicherer Anhalt.

Ich habe ferner, den gleichen Gesichtspunkten folgend, einige Versuche über den Einfluss verschiedener Durchspülungsflüssigkeiten auf das Verhalten des Stillstandes angestellt. Die Versuche wurden wechselnd mit 0,6%iger Kochsalz- und gewöhnlicher Ringer-Lösung sowie mit O-reicher Ringer-Lösung und mit O-reichem defibriniertem Schafblut angestellt. Das Suspensionsverfahren wurde für diese letzte Versuchsgruppe aufgegeben und statt dessen die Registrierung der endokardialen Druckschwankungen durch schreibenden Quecksilberschwimmer angewandt. Erwärmt wurde hierbei nur die umgebende Ringer-Lösung, während die Durchspülungsflüssigkeit in Zimmertemperatur eingeführt und so nur mittelbar, durch die Herzwand hindurch, erwärmt wurde.

Von den bisher mitgeteilten Resultaten unterscheiden sich die mit dem manometrischen Verfahren gewonnenen in mancher Hinsicht. Die Temperatur des Wärmestillstandes lag in diesen Versuchen bei Durchspülung mit Blut zwischen 30 und 47,5° C. und betrug durchschnittlich 40,2° C. Bei Durchspülung mit Ringer-Lösung¹⁾ war

1) Die NaCl-Lösung als Durchspülungsflüssigkeit wurde wegen der gegenüber den anderen Flüssigkeiten enorm herabgesetzten Kraft der Herzschläge bald aufgegeben.

die Stillstandstemperatur minimal $22,5^{\circ}$, maximal 51° , im Durchschnitt 36° C.

Die Temperaturen des Wärmestillstandes liegen hier im ganzen höher als die beim Suspensionsverfahren erhaltenen Werte. Ich möchte indessen auf diesen Unterschied kein grosses Gewicht legen, da die hier gefundenen Werte überhaupt mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Da nämlich bei dem manometrischen Verfahren das Herz bei jeder Zusammenziehung seinen Inhalt in die zum Manometer führenden Verbindungsstücke hinübertreibt und so ein beständiger Flüssigkeitsaustausch mit nicht erwärmten Stellen stattfindet, so ist es nicht auszuschliessen, dass die wirkliche Temperatur des Herzens hinter derjenigen des umgebenden Bades, die gemessen wird, nicht ganz unerheblich zurückbleibt. Namentlich die auffallend hohe Temperatur von 51° C. legt diese Vermutung nahe. Für einen Vergleich zwischen dem Verhalten bei Durchspülung mit Blut und mit Ringer-Lösung wird dieser Umstand nicht in Betracht kommen. Durchschnittlich liegen die Werte für Blut ein wenig höher als für Ringer-Lösung. Doch ist der Unterschied nicht gross; die höchste Zahl gehört sogar einem Ringer-Versuche an. Es wird also auch auf diesen Unterschied wenig zu geben sein. Sehr bemerkenswert erscheint mir dagegen die Tatsache, dass das in den Suspensionsversuchen beobachtete dauernde Heruntergehen der Stillstandstemperaturen hier überhaupt nicht zur Erscheinung kam ¹⁾.

Auf den ersten Blick wird diese Tatsache nicht leicht verständlich erscheinen; denn die chemischen Bedingungen, könnte man meinen, sind, wenn das Herz mit Ringer-Lösung durchspült ist (wie beim manometrischen Verfahren) und wenn es in Ringer-Lösung eingetaucht ist (wie beim Suspensionsverfahren), doch eigentlich die nämlichen. Indessen wird man doch beachten müssen, dass bei dem Durchspülungsverfahren, wo das Herz unter Druck gefüllt ist, und jede Zusammenziehung eine Hin- und Herbewegung, somit auch eine teilweise Erneuerung des Inhaltes herbeiführt, die Bedingungen für einen Stoffaustausch zwischen Herz und Umgebung wesentlich andere sind als beim Suspensionsverfahren. Die Anschauung, dass es beim Wärmestillstand nicht sowohl auf eine bestimmte Temperatur als auf

1) So traten z. B. im 17. Versuch die aufeinanderfolgenden Wärmestillstände ein bei 33, 32, 31, 31,5, 33, 33,5, 35, 36, 35, 35, 38,5 $^{\circ}$ C.

einen chemischen Zustand ankommt, dessen Entstehung von der Temperatur beeinflusst wird, aber nicht von ihr allein abhängt, dürfte in diesem auffälligen Unterschiede der Ergebnisse bei manometrischem und bei Suspensionsverfahren wohl eine Bestätigung finden. —

Was den Sinus betrifft, so waren in fast allen Versuchen nach Aufhören der Vorhofsschläge noch Bewegungen an ihm bemerkbar.

Die Beobachtung der Frequenz des Herzens vor dem Wärmestillstand ergab zunächst die Bestätigung der altbekannten Tatsache, dass Erwärmung die Schlagzahl vermehrt. Weiter konnte Cyons' Angabe¹⁾ bestätigt werden: dass die Frequenzkurve durch ein Maximum hindurchgeht, das dicht, aber nicht unmittelbar vor dem Stillstand gelegen ist, dass mit anderen Worten die Frequenz zuletzt vor dem Stillstand noch abnimmt. Dies Verhalten trifft jedoch nach meinen Beobachtungen nur für einen Teil der Fälle zu, in anderen findet eine kontinuierliche Zunahme der Frequenz statt, an die sich unvermittelt der Stillstand anschliesst. All dies lässt sich aber mit einiger Sicherheit nur für den Vorhof feststellen; bei der Kammer wird die Beurteilung in hohem Grade erschwert durch die vor dem Stillstand häufig auftretenden Allorhythmien, die Gruppenbildungen und unvollständigen Diastolen. Diese Unregelmässigkeiten lassen eine gewisse Vorsicht am Platze erscheinen, auch bei Beurteilung der für die Kammer schliesslich gefundenen Höchsfrequenz (aller Versuche überhaupt); sie beträgt auf die Minute berechnet 182,9 (Dauer der kürzesten Einzelkontraktion 0,328"). Die maximale überhaupt beobachtete Vorhofsfrequenz war 194,8 pro Minute oder 0,308" Dauer des Einzelschlages. Bemerkenswert ist, dass das bei dem einzelnen Herzen beobachtete Frequenzmaximum bei der Kammer ausnahmslos, beim Vorhof immer bis auf eine einzige Ausnahme (Versuch 4) vor den ersten Wärmestillstand der Reihe fiel. Dies gilt für alle mit dem Suspensionsverfahren durchgeführten Versuche; bei den Durchspülungsversuchen hingegen fand sich die Höchsfrequenz des einzelnen Herzens nie vor dem ersten Stillstand. Es zeigt sich also hier eine gewisse Analogie zum Verhalten der Stillstandstemperatur, die bei den Suspensionsversuchen zum Sinken innerhalb der Stillstandsreihe neigt, bei Durchspülung dagegen sich annähernd auf gleicher Höhe hält, solange der Versuch andauert.

1) A. u. O. S. 271.

Es erübrigt sich nun noch, die über die Form der Wärmestillstandskurve gemachten Beobachtungen mitzuteilen.

Da geht zunächst aus der Kurvenform beim Stillstand (Absinken zur Abszisse bei zweiarmigem Schreibhebel) ohne weiteres hervor, dass der reversible Wärmestillstand in Diastole erfolgt, wie dies z. B. Stewart angibt.

Weiter sind die Unterschiede der Stillstandsform zwischen Vorhof und Kammer beachtenswert. Mit kurzen Schlagworten wäre wohl der Vorhofstillstand am besten als „asymptotisch“, der der Kammer als „plötzlich“ zu bezeichnen. „Asymptotisch“ soll dabei die Eigenart kennzeichnen, dass die Vorhofsschläge so allmählich an Höhe abnehmen, dass der Übergang der gezeichneten Ausschläge des Schreibhebels in die Nulllinie ganz unmerklich geschieht, während beim „plötzlichen“ Stillstand nach einer ganz oder doch annähernd vollwertigen Kontraktion eine Erhebung der Kurve über die Abszisse nicht mehr stattfindet.

Diese beiden Stillstandsformen stehen sich indes nicht als unvermittelte Extreme gegenüber, und es sind besonders für den Vorhof einige Einschränkungen zu machen. So kann zunächst trotz sehr allmählicher Abnahme der Kontraktionshöhe doch die letzte Kontraktion eben noch als solche erkennbar sein. Aber es kann auch die Form des Vorhofstillstandes der der Kammer sehr nahe kommen, indem (mit oder auch ohne Abnahme der Kontraktionshöhe) der Vorhofsschlag plötzlich aussetzt. Allerdings findet sich diese Form des Vorhofstillstandes vorwiegend dann, wenn schon eine sonstige Schädigung vorausgegangen ist, besonders also in den späteren Stillständen des Einzelversuches, während umgekehrt die Erststillstände der Versuche stets eine mehr oder minder ausgeprägte allmähliche Annäherung der Kurve an die Abszisse zeigen. Man wird also mit den eben berührten Einschränkungen die asymptotische Stillstandsform als die des Vorhofes gelten lassen können.

Mit mehr Sicherheit (und das sei im Hinblick auf die noch zu schildernden Versuche am stillgestellten und künstlich gereizten Herzen schon jetzt besonders betont) ist die plötzliche Stillstandsform als die der Kammer eigentümliche zu bezeichnen. Als einzige Einschränkung kommt hier eigentlich nur die leichte Modifikation dieser Kurvenform in Betracht, die darin besteht, dass vor dem Stillstand schon eine Abnahme in der Höhe der Kontraktionen zu konstatieren ist; doch ist stets der Übergang der letzten Kontraktion in die Nulllinie deutlich sichtbar. Eine an den asymptotischen Stillstand ge-

Fig. 2. Oben die Kontraktionen des Vorhofes, unten die der Kammer. Die Zahlen geben die Temperatur in Celsius-Graden an. Zeitmarkierung in $\frac{1}{11}$ -Sekunden.

mahnende Kurvenform wurde nur in einem der zahlreichen Kammerstillstände beobachtet, und auch in diesem einen Ausnahmefalle findet der Absturz der Pulshöhe in steilerer Kurve statt (siehe Fig. 2), als in den asymptotischen Vorhofstillständen.

Zur Illustration dieser Verhältnisse dienen die Abbildungen 1 und 2. In Fig. 1 treten die Verschiedenheiten des Vorhof- und Kammerstillstandes deutlich hervor, obwohl der Vorhofstillstand insofern nicht ganz streng asymptotisch ist, als der letzte Schlag noch gegen die Null-Linie abzugrenzen ist. Einen reineren asymptotischen Stillstand des Vorhofes gibt Fig. 2 wieder, in der zugleich jene einzige oben erwähnte Ausnahme des dem asymptotischen angenäherten Kammerstillstandes abgebildet ist. —

Was die bei Besprechung der Stillstandstemperaturen erwähnten Modifikationen der Versuchsbedingungen betrifft: Verwendung von Ringer-Lösungen mit verschiedenem Sauerstoffgehalt und Einschaltung niederer Anfangstemperaturen, so liess sich ein Einfluss auf die Stillstandsform nicht erkennen. Dagegen ergab sich für die Höhe der Kontraktionen ein Optimum, das im Durchschnitt etwa bei einer Temperatur von 8° bis 15° lag.

In den Durchspülungsversuchen, bei denen ja eine gesonderte Aufzeichnung der Vorhof- und Kammerbewegungen nicht stattfindet, überwiegen bei weitem die plötzlichen und annähernd plötzlichen Stillstände, wie dies ja in Anbetracht der hier geübten Technik wegen des vorwaltenden Einflusses der Kammer nicht anders zu erwarten stand. Dass aber auch beim manometrischen Verfahren die Unterschiede der Stillstandsform

gelegentlich deutlich werden können, beweisen die Versuche von Ide¹⁾, dessen Methodik allerdings dem Vorhof einen grösseren Einfluss ermöglichte: er sah das Herz in zwei Formen in den Wärmestillstand übergehen, die einige Ähnlichkeit mit den hier geschilderten zeigen.

Ergänzend sei den bisher wiedergegebenen Ergebnissen noch angefügt, dass einige der bekannten durch Wärmeschädigung erzeugbaren Unregelmässigkeiten auch in den hier beschriebenen Versuchen zutage traten. So Allorhythmien ($\frac{1}{2}$ - und $\frac{1}{4}$ -Frequenz) der Kammer (siehe Fig. 1), ferner Gruppenbildungen und unvollkommene Diastolen, die dann den Eindruck von einer Art unvolkommenem Tetanus hervorriefen.

II. Der Wärmestillstand am elektrisch gereizten Herzen.

Die Tatsache, dass in den bisher beschriebenen Versuchen die Kammer stets vor dem Vorhof, und zwar plötzlich, dem Wärmestillstand verfiel, legte die Frage nahe, ob dies Verhalten nicht auf einer Wärmeschädigung der Elemente beruhen könnte, die die Reizleitung vom Vorhof zur Kammer besorgen. Zur Entscheidung dieser Frage erschien es angebracht, die Erscheinungen des Wärmestillstandes auch an Herzen zu beobachten, bei denen die Reizleitung in umgekehrter Richtung (von der Kammer zum Vorhof) stattfand, bei „antiperistaltischen“ Herzbewegungen also im Sinne Engelmänn's. Sollten wirklich der Wärmestillstand der Kammer und die beobachteten Verschiedenheiten im Verhalten von Vorhof und Kammer auf einer Schädigung des Reizleitungssystems beruhen, so war für die so angeordneten Versuche eine völlige Umkehrung der Resultate im Verhalten von Vorhof und Kammer zu erwarten.

Was zunächst die Methodik dieser Versuche angeht, so wurde nach zahlreichen technischen Vorversuchen schliesslich folgende Versuchsanordnung beibehalten: 1. Stannius'sche Ligatur. Doppelte Suspension. Reizung der Kammer nahe der Spitze mit Induktionsschlägen in Abständen von ungefähr 1 Sekunde. Bei einigen Versuchen Abblendung der Schliessungsschläge durch doppelten Hg-Unterbrecher mit Phasenverschiebung. Als Elektroden dienten die die Herzspitze fassende Suspensionsklammer und ein feines, dicht daneben einge-

1) Ide, Wie erklärt sich der Stillstand des überwärmten Herzens? Du Bois' Arch. 1892 Supplem. S. 243 ff. Fig. 4 und 5.

stochenes Metallhäkchen. Der zu diesem führende Draht war so fein und nahe bei dem Häkchen nochmals am Stativ befestigt, dass die Bewegungen der Kammer in keiner Weise durch Federung des Drahtes beeinträchtigt wurden. Im übrigen glich die Versuchsanordnung völlig der der im ersten Abschnitt geschilderten Versuche.

Wählt man bei diesem Verfahren eine passende Reizstärke (am besten dicht über dem Schwellenwert), so lässt sich eine gleichzeitige Mitreizung der Vorkammer durch Stromschleifen vermeiden, und die Reizung derselben geschieht durch Leitung. In den Kurven drückt sich diese Inanspruchnahme des Reizleitungssystems so aus, dass zwischen dem Beginn der Systole der Kammer und der Vorhofsystole ein messbares Zeitintervall deutlich wird, dessen Länge nicht ganz konstant ist, aber im Mittel zwischen 0,2" und 0,4" liegt, also dem Zeitunterschied zwischen Vorhofs- und Kammerschlag bei normal-sinniger Leitung ungefähr entspricht.

Gelingt die Stannius'sche Ligatur nicht vollständig, so dass die natürlichen Reize für Vorhof und Kammer weiter wirksam bleiben, so ist oftmals doch der Rhythmus der künstlichen Reizung zu erzielen, wenn es gelingt, die automatischen Reize durch die (etwas frequenteren) künstlichen zu übertönen¹⁾.

Andererseits können auch nach anfänglichem Sistieren der durch automatische Reize hervorgerufenen Kontraktionen und einwandfrei hergestelltem künstlichem Rhythmus im weiteren Verlauf der Kurve wieder Spontankontraktionen durchbrechen, die zu schwer oder gar nicht entwirrbaren Interferenzerscheinungen Veranlassung geben. Bleiben diese Versuche ausser Betracht, so ergibt sich als Resultat der mit der eben beschriebenen Methodik angestellten Versuche folgendes: Bei zunehmender Temperatur hören stets die Zusammenziehungen des Vorhofes auf, während die Kammer noch jeden Reiz mit einer Zusammenziehung beantwortet (s. Fig. 3—5). Man kann also hier wohl von einem Wärmestillstand des Vorhofes reden. Die Temperaturen, bei denen die Erscheinung eintritt, fand ich bei 27—38° C. Wenn mehrere Stillstände hintereinander erzielt werden (das gelingt bei diesen Versuchen mit künstlicher Reizung weit seltener als in denen am spontan schlagenden Herzen), so zeigt sich die gleiche Tendenz zum Absinken der Stillstandstemperatur innerhalb des Versuches am gleichen Herzen, wie sie oben für die spontan

1) Vgl. auch Engelmann, Pflüger's Arch. Bd. 56 S. 174. 1894.

schlagenden Herzen erwähnt wurde. (Z. B. betrogen die Stillstandstemperaturen für den in Fig. 3—5 abgebildeten 56. Versuch nacheinander 38, 30 und 27° C.) Die Form des Vorhofsstillstandes ist fast stets der ähnlich, die beim spontan schlagenden Herzen an der Kammer beobachtet wird (mehr oder weniger „plötzlicher“ Stillstand).

Fig. 3. Erklärungen der Figuren 3—5: Die drei aufeinanderfolgenden Vorhofsstillstände des 56. Versuches. Oben die Kontraktionen des Vorhofes, unten die der Kammer. Zeitmarkierung (Fig. 4) in $\frac{1}{16}$ -Sekunden.

Fig. 4. (Erklärung siehe Fig. 3.)

Fig. 5. (Erklärung siehe Fig. 3.)

Endlich machen sich Allorhythmien im umgekehrten Sinne geltend wie beim spontan tätigen Herzen: Halb- und Viertel-frequenz zeigt hier der Vorhof wie dort die Kammer (s. Fig. 4 und 5).

Im ganzen ergeben sich also hier Resultate, die gewissermaassen das Gegenstück der am spontan schlagenden Herzen gewonnenen darstellen: Kammer und Vorhof haben ihre Rollen vertauscht. Wie

dort die Kammer, ist hier der Vorhof der zuerst stillstehende Herzteil; die dort der Kammer eigene Stillstandsform wird hier zu der des Vorhofes, und Halb- und Viertelfrequenz tritt wie dort bei der Kammer hier beim Vorhof ein.

Es kann demnach der Wärmestillstand des Ventrikels (am spontan schlagenden Herzen) nicht auf Schädigung seiner Muskulatur zurückgeführt werden, vielmehr wird allen hier geschilderten Erscheinungen nur die Annahme gerecht, dass der zuerst von der Wärme geschädigte Teil des Froschherzens die reizleitenden Muskelfasern sind, die Vorhof und Kammer verbinden, und dass ihr funktionelles Versagen dem reparablen Wärmestillstand der Kammer zugrunde liegt.

Der reparable Wärmestillstand des zuerst stillstehenden Herzteiles (der Kammer also am spontan schlagenden, des Vorhofes am künstlich gereizten Herzen) beruht also auf elektiver, reversibler Wärmeschädigung des Reizleitungssystems.

Diese Annahme ist von Gaskell bereits angedeutet worden, der sagt, die Ursache des Kammerstillstandes sei „the depression of conductivity at the auriculo-ventricular junction or the diminished excitability of the ventricle“¹⁾.

Dagegen entfällt durch die hier vertretene Auffassung in gewissem Maasse die Begründung für die vielfach aufgestellte Regel, dass die Wärmeresistenz eines Herzteiles um so grösser sei, je höher seine Automatie entwickelt ist. Denn gerade der Verbindung zwischen Vorhof und Kammer, der die geringste Wärmeresistenz zuzukommen scheint, wird ja im allgemeinen jetzt eine besondere Disposition für die selbsttätige Entwicklung von Reizen zugeschrieben.

Herrn Geheimrat v. Kries sage ich für die Anregung und Beratung bei meiner Arbeit auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank.

1) Zit. nach Stewart, Journ. of Physiol. vol. 13 p. 130. 1892.