

derselben in der überschüssigen Kalilauge, welche bald zersetzend einwirkt. In Säuren löst sich der Niederschlag ohne Reduction auf.

Von chemischem Interesse ist nun noch die Frage, ob wir es in dieser Verbindung mit einer einfachen molecularen Aneinanderlagerung oder einer wirklichen substitutiven Verbindung zu thun haben. Für den Traubenzucker wird sich diese Frage, die durch die Analyse leicht zu lösen ist, kaum beantworten lassen, da die Verbindung zu sehr zersetzlich ist. Für den Rohrzucker und den nahestehenden Mannit, die gleichfalls unlösliche Kupferverbindungen bilden, wird sie sich vielleicht entscheiden lassen.

Auch die Harnsäure wird aus der alkalischen Lösung durch Kupfersulphat unter Umständen vollständig gefällt.

Aus dem physiologischen Laboratorium zu Jena.

Ueber die Wirkung sehr allmälliger Aenderungen thermischer Reize auf die Empfindungsnerven.

Von

A. Heinzmann,

stud. med.

Es ist bekannt, dass der motorische Nerv auf einen Reiz nicht antwortet, wenn derselbe, von sehr kleinen Werthen beginnend, nur allmällig gesteigert wird, ja, dass der Nerv durch ganz allmälliges Wachsen des Reizes vollständig zerstört werden kann, ohne eine Zuckung zu bewirken: So kann Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur, die genügend langsam vorgenommen wird, den motorischen Nerven abtöden, ohne dass Zuckung des betreffenden Muskels eintritt, wie Afanasieff und Rosenthal constatirten; ein Druck, der auf einen solchen Nerven wirkt, kann, wie Fontana fand, das Gewebe zerstören, ohne eine Zuckung auszulösen; es werden chemische Reize, wenn sie nur allmällig erfolgen, ohne Wirkung vorübergehen; auch der elektrische Reiz ist wirkungslos, wenn die Aenderung der Dichtigkeit des Stromes nur langsam genug geschieht, wie schon Ritter und Marianini beobachteten, und hat dann bekanntlich du Bois-Reymond das Gesetz der elektrischen Erregung motorischer Nerven ausführlich

begründet. — Wie sich aber sehr allmäligen Aenderungen der Reizgrösse gegenüber die sensiblen Nerven verhalten, ist noch wenig untersucht worden.

Besonders der thermische Reiz schien sich zu derartigen Versuchen trefflich zu eignen: denn plötzlich an einen kalten oder warmen Ort versetzt, empfinden wir die Temperaturveränderung früher und heftiger, als wenn der Raum, in dem wir uns befinden, langsam abgekühlt oder erwärmt wird; der Finger, in Wasser von einer mässigen Temperatur, die dann allmällig erhöht wird, eingetaucht, erträgt ohne Schwierigkeit noch einen Wärmegrad, den er bei plötzlichem Eintauchen unangenehm empfinden würde, u. a. m.

Derartige Wahrnehmungen legten die Frage nahe: „Sollte der thermische Reiz sich so langsam steigern lassen, dass gar keine Empfindung eintritt, selbst wenn er die Zerstörung der sensiblen Nerven herbeiführt? Sollte es nicht möglich sein, wenn die thermische Unterschiedschwelle, d. h. der in einer sehr kurzen Zeit, etwa innerhalb einer Secunde, eben merkliche Temperaturunterschied, ermittelt ist, durch eine Steigerung um bedeutend geringere Werthe als jene, eine schmerzhaft empfindung zu verhüten, so dass der Tod einträte ohne abwehrende Bewegung des Thieres?“

Mit der Beantwortung dieser Fragen beschäftigten sich eine grössere Anzahl von Versuchen, welche unter der Leitung des Prof. Dr. W. Preyer in dessen Laboratorium und zwar an Fröschen angestellt worden sind, die, weil sie nahezu die Temperatur des sie umgebenden Mediums, hier Wasser, haben, sich am Besten dazu eignen.

Eine Reihe dieser Versuche ist aus jener Zahl herausgegriffen und im Folgenden näher beschrieben.

I. Erhöhung der Temperatur.

Die Versuche wurden sowohl an decapitirten oder doch wenigstens, durch Zerstörung der Hirnhemisphären, willenlos gemachten Thieren, als auch an unversehrten, theils bei localer, theils bei totaler Erwärmung angestellt, und es folgen zuerst die an Thieren ersterer Art vorgenommenen.

A. Versuche an enthirnten Thieren.

a) Versuche mit localer Reizung

wurden in folgender Weise vorgenommen: Nachdem die Hemi-

sphären zerstört waren, wurde das Thier an einem durch die Kiefer gestochenen Haken so aufgehängt, dass der eine Schenkel in Wasser von der Temperatur des Frosches eintauchte. Die Wärmequelle, eine sehr kleine, etwa linsengrosse Gasflamme, erhalten durch Entfernen des Cylinders von dem Bunsen'schen Gasbrenner, war von dem Thiere weit genug entfernt, um dasselbe nicht direct zu reizen; die Verbindung derselben mit dem Wasser vermittelte eine Glasröhre, die hinlängliche Circulation gestattete.

Bei dem Messen der Temperatur des Thieres, das, wie alle Temperaturmessungen, mit äusserst genauen Thermometern von Dr. Geissler in Bonn, vorgenommen wurde, zeigte sich in allen Versuchen, dass, wenn das Thermometer nicht bald wieder aus dem Thiere entfernt wurde, selbst wenn dasselbe erst um z. B. 1° gestiegen war, dann ein Fallen um einige Grade eintrat; es muss also wohl die richtige Temperatur des Thieres diejenige sein, welche das Thermometer kurz nach dem Einbringen zeigt; die Ursache der dann folgenden Temperaturabnahme aber dürfte wohl ein krankhafter Zustand sein, in welchen das Thier, in Folge des Einbringens eines Gegenstandes von für den Schlund und Magen des Frosches so bedeutendem Umfange, wie der des Thermometers ist, verfallen mag.

Versuch I.

Temperatur der Luft + 22° C., die des Frosches + 23° C.

Die Erwärmung begann 2 Uhr 20 Min. und wurde nach der Uhr regulirt; 3 Uhr 15 Min. war dieselbe bis auf + 34° C., so dass also auf die Secunde $\frac{1}{300}^{\circ}$ kam, vorgeschritten, ohne dass das Thier, abgesehen von der Athmung, die geringste Bewegung gezeigt hätte, als durch ein Versehen die Temperatur zu rasch, nämlich plötzlich um 1° C., stieg, eine Reflexbewegung eintrat, und der Versuch beendet werden musste.

Versuch II.

Temperatur der Luft + 22° C., die des Frosches + 23° C.

Es wurde der vorige Versuch unter gleichen Verhältnissen wiederholt: Die Erwärmung begann 2 Uhr 15 Min. und ging mit regelmässiger Langsamkeit vor sich. Ohne die geringste Bewegung von Seiten des Thieres war 3 Uhr 35 Min. die Temperatur von + $38,6^{\circ}$ C. erreicht und der Schenkel vollkommen wärmestarr, während der andere bei seinem Eintauchen lebhaft reagirte. Versuche mit elektrischer Reizung bestätigten die Wärmestarre.

Zur Erklärung, warum der Versuch bei der oben erwähnten Temperatur als beendet angesehen und die Wärmestarre, welche natürlich, ohne den Erfolg des Versuches zu gefährden, nicht etwa

durch von Zeit zu Zeit angestellte Untersuchungen ermittelt werden konnte, als eingetreten angenommen wurde, muss hier ausdrücklich bemerkt werden, dass ich mich durch Vorversuche überzeugt hatte, dass, wenn bei dieser langsamen Erwärmung einmal die Temperatur von $+37^{\circ}$ C. erreicht war, eine Reflexbewegung auch bei dann vorgenommener bedeutend schnellerer Temperaturerhöhung nie mehr eintrat, wenn auch die Starre selbst, wie einige Versuche zeigten, oft erst später, spätestens indessen bei $+40^{\circ}$ C., vollständig war; somit wäre eine weitere Erwärmung eigentlich nicht mehr nöthig gewesen, wenn sie auch in vielen Fällen der Sicherheit halber vorgenommen wurde.

Geschah es, dass der Versuch einmal schon, wenn das Thermometer eben $+37^{\circ}$ oder $+37,5^{\circ}$ C. zeigte, abgebrochen wurde, so hatte dies seinen Grund entweder in der Absicht, möglichst genau die niedrigste Temperatur, bei der überhaupt die Wärmestarre eintreten kann, zu ermitteln, als welche denn auch die obige gefunden wurde, zuweilen auch in dem Mangel an Zeit, den Versuch noch weiter fortzusetzen. Auch in Fällen, welche keine völlige Starre zeigten, wurde doch gänzliche Reflexlosigkeit wahrgenommen, so dass die oben ausgesprochene Bemerkung bestätigt wurde. Versuche letztgenannter Art finden sich übrigens unter den aufgezählten nicht; es wurden vielmehr unter diesen nur solche, die nach ihrer Beendigung die vollständige Wärmestarre des Thieres nicht zweifelhaft liessen, aufgenommen.

Versuch III

ist im Wesentlichen eine Wiederholung der vorhergehenden: Bei einer Temperatur der Luft von $+21,5^{\circ}$ C. und einer Anfangstemperatur des Frosches von $+23^{\circ}$ C. ging die Temperatursteigerung langsam vor sich, so dass diese von $+23^{\circ}$ C. in einem Zeitraume von 96 Min. auf $+37,5^{\circ}$ C. stieg, wobei, nachdem der Versuch beendet worden war, die völlige Wärmestarre constatirt wurde. Auf die Secunde kam also hier etwa $\frac{1}{380}^{\circ}$.

Eine Anzahl weiterer in derselben Weise angestellter Versuche lieferte, wenn nicht einmal eine Störung eintrat, bis auf die Temperaturhöhe, wo der Versuch beendet wurde, gleiche Ergebnisse; jene schwankte zwischen $+37$ und $+40^{\circ}$ C.

b) Versuche mit totaler Reizung.

Ein enthirnter Frosch wurde, in bequemer Hockstellung auf einem Korke sitzend, in einen Glaseylinder eingetaucht; die Erwärmung geschah durch eine gekrümmte von unten in denselben einmün-

dende Glasröhre, die in eine kleine Kugel auslief; unter dieser Kugel war die schon in den bisherigen Versuchen benutzte Wärmequelle; die Kugel hatte einen Durchmesser von 2 Cm., die Röhre von 1 Cm.; der des Cylinders betrug 7 Cm. und dessen Höhe 20 Cm. Man konnte deutlich das Wasser in einem langsamen, continuirlichen Strome fließen sehen, indem die erwärmten Wassertheilchen in der Kugel und Röhre oben nach dem Cylinder, die kalten unten von diesem hinweg nach der Kugel strömten. Die Vertheilung beider im Cylinder ging so vollkommen vor sich, dass die Thermometer in allen Niveaux bis auf etwa $\frac{1}{10}^{\circ}$ genau dieselbe Temperatur jederzeit anzeigten.

Versuch IV.

Temperatur der Luft + 19° C., die des Frosches + 21° C.

Die Erwärmung geschah auch hier in der Weise, dass etwa $\frac{1}{300}^{\circ}$ auf die Secunde kam, bis nach 80 Min. die Wärmestarre schon bei 37,6° vorhanden war.

Versuch V.

Temperatur der Luft + 19° C., die des Frosches + 20° C.

Es wurde der vorige Versuch wiederholt, jedoch mit der Abweichung, dass die Erwärmung schneller, $\frac{1}{150}^{\circ}$ die Sec., versucht wurde; bei + 32° C. machte das Thier Fluchtversuche. Dagegen gelang

Versuch VI,

in dem bei einer Temperatur der Luft von + 19° C. und einer des Thieres von + 21° C. die Temperatursteigerung wieder etwas langsamer, etwa $\frac{1}{350}^{\circ}$ die Sec., vorgenommen wurde, bis nach 80 Min. bei + 40° C. die vollständige Wärmestarre, ohne eine einzige vorangegangene Bewegung des Thieres, eingetreten war.

Versuch VII.

Temperatur der Luft + 19° C., die des Frosches + 20,5° C.

Es blieb das trotz zerstörter Hirnhemisphären im Anfange unruhige Thier von + 24° C. an vollkommen ruhig, bis zuletzt bei 39° C., wo der Versuch unterbrochen wurde, die Wärmestarre vollständig war.

Versuch VIII.

Temperatur der Luft + 18° C., des Frosches + 20° C.

Der Versuch wurde in gleicher Weise wie der vorhergehende angestellt und ergab bei 38,6° C. nach 90 Min. vollkommene Wärmestarre, ohne jeden vorhergegangenen Fluchtversuch, ohne jede Reflexbewegung.

Die folgenden Versuche, welche sich mit dem unversehrten, normalen Thiere beschäftigten, erforderten natürlich noch grössere Vorsicht und Aufmerksamkeit, da oft eine unbedeutende Störung wie das Fallen eines Gegenstandes oder Werfen einer Thür, das

Thier zu einer Bewegung veranlasste und so den Versuch mindestens zweifelhaft machte. Sehr zahlreiche derartige Versuche misslangen daher, ehe die grosse Anstrengung das Thier stets im Auge zu behalten um die geringste etwaige Bewegung desselben sofort zu bemerken durch vollkommenen Erfolg belohnt wurde.

B. Versuche mit unversehrten Thieren.

a) bei localem Reize :

Versuch IX.

Ein unversehrter Frosch von + 21° C. wurde an einem durch den Kiefer gestochenen Haken aufgehängt, und über den Kopf eine Kautschukkappe gestllpt. Die Erwärmung des Wassers, in welches der Schenkel eintauchte, begann bei + 21° C. und ging mit gewohnter Langsamkeit vor sich; gleichwohl beendete das unruhig werdende Thier den Versuch sehr bald.

Versuch X,

die Wiederholung des vorigen, ergab ebenfalls kein günstigeres Resultat, indem das Thier wiederholt lebhaftere Fluchtversuche machte, nach dem Haken griff, die Kappe zu entfernen suchte u. a. m. Da möglicherweise der durch die Durchbohrung schmerzende Kiefer die Ursache der Unruhe war, wurde im nächsten

Versuche XI

die Aufhängung schmerzlos unter den Vorderbeinen bewerkstelligt. Die Temperatur der Luft + 19° C., des Frosches + 20,5° C. Obwohl die allmälige Erwärmung ohne Störung bei + 38° C. die Wärmestarre veranlasste, und somit der Versuch, ebenso wie noch einige andere, die in gleicher Weise angestellt wurden, ein günstiges Resultat lieferte; so war er doch noch nicht als in jeder Hinsicht befriedigend zu betrachten. Vor Allem konnte vielleicht, was auch für die früheren Versuche gelten würde, der Einwurf gemacht werden, dass etwa die Ermüdung durch das Aufgehngtsein das Thier veranlasst haben könnte, dem schädlichen Einfluss durch die Flucht sich nicht zu entziehen. Es musste also ein Apparat, der bequeme Hockstellung gestattet, benutzt werden, wozu indessen der für das enthirnte Thier genügende (Versuch IV und folgende) nicht ausreichte. Es wurden daher die Versuche am unversehrten Frosche mit Anwendung von

b) totaler Erwärmung

in folgender Weise angestellt:

Ein Glasbecken, dessen Boden mit Moos bedeckt war, wurde mit Wasser von der Temperatur des Thieres angefüllt; die Verbindung mit der Wärmequelle war durch die erwähnte, unten in das Becken einmündende, gekrümmte Glasröhre, welche in eine Kugel auslief, hergestellt; eine das Becken umgebende Wand von Pappe, an welcher für das Auge des Beob-

achtenden, sowohl nach dem Thiere als auch nach dem Thermometer zu Oeffnungen angebracht waren, diente dazu, das Thier gegen Störungen, besonders gegen Lichtreize, abzuschliessen.

Versuch XII.

Temperatur der Luft + 23,5° C., des Frosches + 23° C. Als das Thier vollkommen ruhig war, begann, bei äusserster Ruhe der Umgebung, die allmälige Temperaturerhöhung, und verlief der Versuch, ohne dass eine Störung, eine Bewegung des Thieres stattfand. Obwohl es demselben jeden Augenblick frei stand, von der Stelle, auf der es sass, wegzuspringen, blieb es doch während der ganzen Dauer des Versuches (95 Minuten) ruhig sitzen. Als bei + 39° C. die Erwärmung beendet wurde, war völlige Wärmestarre vorhanden. Auf die Secunde kam also ungefähr $\frac{1}{350}^{\circ}$.

Versuch XIII.

Temperatur der Luft + 22° C., des Frosches + 23,5° C.

Es wurde der vorige Versuch genau wiederholt; das Thier blieb bis + 38,5° C. vollkommen ruhig, wo es mit dem nicht genug eingetauchten Vorderkörper eine Bewegung machte. Da indessen der eingetauchte Theil sich als wärmestarr erwies, konnte der Versuch immerhin zu den nicht ganz misslungenen gezählt werden.

Versuch XIV,

wiederum in der Weise der vorhergehenden angestellt, ergab, nachdem bei einer Anfangstemperatur von + 21° C. die Erwärmung begonnen und in Zeit von 86 Min. + 37,8° C. erreicht hatte, ohne dass irgend welche Bewegung des Thieres stattfand, gänzliche Wärmestarre. Auf die Secunde kam also hier etwa $\frac{1}{300}^{\circ}$ C. Der folgende

Versuch XV

ergab dasselbe Resultat bei + 38° C., sowie noch andere Versuche, in gleicher Weise vorgenommen, von so ähnlichem Erfolge waren, dass ihre specielle Aufzählung und Beschreibung unterbleiben kann.

Von einer gewissen Temperatur an scheint das Thier gleich dem Erfrierenden in einen schlafähnlichen Zustand zu fallen, der dann, wenn er einmal eingetreten, eine etwas schnellere Temperaturerhöhung gestattet. Dieselbe kann übrigens immer etwas schneller als in den letzten Versuchen, wo durchschnittlich $\frac{1}{325}^{\circ}$ auf die Secunde kam, geschehen; doch misslingen sämtliche Versuche, in welchen die Grenze von $\frac{1}{300}^{\circ}$ für die Secunde überschritten wurde (s. Versuch V).

Es folgen nun Versuche, die mit

II. Erniedrigung der Temperatur

angestellt wurden, und zwar zuerst

A. an enthirnten Thieren,

und von diesen wieder zunächst mit

a) localer Reizung.

Ein Frosch wurde nach der Enthirnung, die durch einen Schnitt dicht hinter den Augen bewirkt wurde, trotz des früher erwähnten Uebelstandes, der Gleichmässigkeit wegen zunächst wieder an einem Haken so aufgehängt, dass der Schenkel in einen, mit Wasser von der Temperatur des Thieres gefüllten, kleinen Platintiegel tauchte; dieser stand in einer Kältemischung von Schnee und Kochsalz, und konnte von Zeit zu Zeit aus derselben herausgenommen werden, eine Einrichtung, welche freilich eine so genaue Regelung der Temperaturabnahme, wie sie bei der Temperaturzunahme stattfand, nicht zuließ. In diesem Umstande mochte denn auch wohl der Grund liegen, dass in

Versuch XVI,

der an einem Frosch von + 5° C. vorgenommen wurde, sowie noch bei einigen anderen, an Thieren von ziemlich derselben Temperatur angestellten, in Folge zu schneller Abkühlung Muskelbewegungen wahrgenommen wurden, bis endlich

Versuch XVII

gelang, obwohl er auf gleiche Weise angestellt wurde. Die Temperatur wurde von + 4° C. in einer Zeit von 50 Min. auf — 3,5° C. herabgebracht, welche genügte, um den Schenkel vollkommen hart zu machen, ohne vorher Zuckung zu bewirken. Zu den ferneren brauchbaren gehört auch

Versuch XVIII,

in welchem das Bein eines Frosches von + 5° C., in Zeit von 45 Min. bis auf — 4° C. abgekühlt, bei dieser Temperatur völlig starr, durch und durch gefroren war; also auf die Secunde $\frac{1}{300}^{\circ}$.

b) Versuche mit totaler Reizung.

Diese Versuche an dem fast ganz, nämlich bis zum Kopfe, eingetauchten Thiere machten es wünschenswerth, eine Flüssigkeit anzuwenden, die, ohne nachtheilig auf die Froschhaut zu wirken, dem Gefrieren nicht ausgesetzt gewesen wäre; denn das Gefrieren erschwerte die Beobachtung und könnte leicht eine etwaige Zuckung verhindern. Da es indessen nicht gelang, eine passende Mischung herzustellen, musste eben verdoppelte Aufmerksamkeit den Mangel ersetzen. Dass jetzt statt des kleinen Platintiegels ein grösseres Gefäss benutzt werden musste, ist selbstverständlich; übrigens zeigte das ganz unbewegte Wasser noch weit unter Null keine Spur von Eisbildung, welche immer erst

ganz zuletzt eintrat. Von den gelungenen Versuchen mögen hier nur zwei ihren Platz finden:

Versuch XIX.

Temperatur der Luft + 3° C., des Frosches + 4° C.

Das enthirnte Thier war, in Wasser von gleicher Temperatur gesetzt, nach 40 Min. bei — 5° C. erfroren, und im

Versuch XX

blieb ein solches von + 3,5° C. bis zu seiner bei — 6° C. vollkommene Kältestarre vollkommen ruhig.

Was im Anschluss an Versuch II bemerkt wurde, gilt übrigens auch für diesen und die folgenden Versuche. Ich kann somit z. B. nicht behaupten, dass in Versuch XX die Starre wirklich erst bei — 6° C., oder etwa schon bei — 4° C. eingetreten; es wurde diese bedeutendere Abkühlung oft eben nur der Sicherheit halber vorgenommen, wo wahrscheinlich schon — 3 bis — 4° C. genügt hätten, um Starre herbeizuführen. Uebrigens gilt, was oben, die allmälige Erwärmung betreffend, von + 37° C. gesagt wurde, auch für die allmälige Abkühlung bis — 3° C., indem nach Erreichung dieser Temperatur ein Reflex nicht mehr wahrgenommen wurde. Es folgen schliesslich die

B. Versuche an unversehrten Thieren, wieder zunächst bei

a) localem Reize.

Bei den Versuchen mit dem unversehrten Frosche konnte natürlich ein Apparat wie der vorige nicht genügen. Bei der Erneuerung der Kältemischung, sowie bei dem, zur Verhütung zu schneller Temperaturabnahme, sich nöthig machenden zeitweiligen Entfernen des Gefässes aus der Kältemischung, war zuweilen eine Erschütterung oder ein Geräusch nicht zu vermeiden, was ein unverletztes Thier ohne Zweifel zu einer Fluchtbewegung veranlasst haben würde. Es musste also, um alle Störung zu vermeiden, eine ungefrierbare Flüssigkeit, die mit dem Thiere, zur Verhinderung der Hautreizung, nicht in directe Berührung kommen durfte, gleichmässig zu- und abfliessen, das Mischen des Schnees mit Kochsalz abseits geschehen können. Diesen Ansprüchen genügte folgende Combination: Ein weites Glas stand in einem nur mit Schnee oder Eis gefüllten Glasbecken; in diesem Glase fand ein zweites mit sehr dünnen Wänden Platz, welches um soviel enger

war als ersteres, dass zwischen seinen Wänden und denen des andern Glases Raum genug blieb für die abgekühlte Flüssigkeit. In dem innersten Glase befand sich, theils die Leitung zu begünstigen, theils das völlige Anfrieren des Thieres zu verhindern, auf dem Boden etwa fingerhoch Quecksilber, welches ausserdem auch den Zweck erfüllte, das Glas, selbst wenn das äussere völlig gefüllt war, feststehend zu erhalten; das Gehobenwerden jenes inneren Glases durch die Flüssigkeit hätte sonst zu Störungen Anlass geben können. In einiger Entfernung war erhöht ein sehr grosser Glastrichter angebracht, dessen Verbindung mit dem oben erwähnten äusseren Glase durch eine nicht zu weite, an einer Stelle durch einen kurzen Kautschukschlauch unterbrochene Glasröhre vermittelt wurde; an diesem Kautschukschlauche war eine Klemmschraube angebracht, mittelst derer der Zufluss in das Glas dem Abfluss aus demselben, der durch eine ebenfalls mit einer Klemmschraube versehene Hebevorrichtung hergestellt war, genau entsprechend regulirt werden konnte. Die Abkühlung der Flüssigkeit (Wasser mit Alcohol) geschah durch eine in dünnen Blechgefässen befindliche Kältemischung (Schnee und Kochsalz) in dem Trichter und konnte durch das zeitweilige Vertauschen der gebrauchten mit neu gefüllten Gefässen ohne Mühe und Störung unterhalten werden.

Versuch XXI.

Temperatur des Frosches + 4° C., der Luft + 3° C.

Das Thier sass in dem innersten Glase der eben beschriebenen Vorrichtung auf dem Quecksilber, Wasser von + 4° C. bedeckte die Schenkel desselben; über den Kopf war eine Kautschukkappe gestülpt. Die Temperaturerniedrigung ging äusserst langsam vor sich, da der Apparat nur eine solche gestattete (etwa $\frac{1}{700}^{\circ}$ auf die Secunde) und verhielt sich während der ganzen Dauer des Versuches, der von 10 Uhr 35 Min. bis 12 Uhr 20 Min. währte, das Thier vollkommen ruhig. Bei - 5° C. wurde die Abkühlung beendigt, und ergab die Untersuchung die völlige Erfrierung der hinteren Extremitäten.

Versuch XXII.

Temperatur des Frosches + 5° C., der Luft + 3° C.

Obwohl bei diesem Versuche die Abkühlung etwas schneller ($\frac{1}{450}^{\circ}$) vor sich ging, was dadurch ermöglicht wurde, dass ohne sonstige Aenderung des Apparates in das oben nur mit Schnee oder Eis gefüllte Glasbecken jetzt auch etwas NaCl gemischt wurde, blieb doch auch jetzt das Thier bis zur Beendigung des Versuches durchaus ruhig. Die Schluss-temperatur betrug - 6° C. Die Schenkel erwiesen sich als gänzlich erfroren.

Versuch XXIII.

Wiederholung des vorigen Versuches. Temperatur der Thieres + 4° C. Die Abkühlung fand in nahezu gleichem Verhältnisse wie zuvor statt; bis — 4° C. trat keine Störung ein, als plötzlich bei dieser Temperatur das Thier einen Fluchtversuch machte, den jedoch die bereits vollständig erfrorenen Schenkel hinderten. Was die Ursache der Unruhe war, konnte mit Bestimmtheit nicht ermittelt werden, da weder ein zu schnelles Abnehmen der Temperatur, noch eine Erschütterung, noch ein Geräusch wahrgenommen worden war. Es muss angenommen werden, dass das Thier eine jener willkürlichen Bewegungen gemacht habe, durch welche das unversehrte Thier leider häufig schon weit vorgeschrittene Versuche vereitelte.

Versuch XXIV

hingegen ergab wieder als günstiges Resultat nach einer Abkühlung von + 3° C. auf — 6° C., wozu 35 Min. (also in der Secunde $\frac{1}{400}^{\circ}$) nöthig waren, die Kältestarre der Schenkel ohne irgend welche vorhergegangene Bewegung des Thieres.

b) totale Reizung:**Versuch XXV**

wurde in der gleichen Weise, wie die eben beschriebenen, vorgenommen, mit dem einzigen Unterschiede, dass jetzt das Thier fast ganz eingetaucht war. Die Anfangstemperatur war + 5° C., und geschah die Abkühlung mit der Allmähigkeit der früheren Versuche bis — 5° C., wo der Versuch unterbrochen und völlige Kältestarre gefunden wurde.

Versuch XXVI.

Auch hier, wo die Abkühlung von + 2° C. begann, und bis — 6° C. fortgesetzt wurde, trat während der Dauer von 55 Min. keine Störung ein. Bei — 6° C. war das Thier hart gefroren.

Versuch XXVII

ergab nach einer Temperaturenniedrigung von + 4° C. auf — 7° C., welche in einem Zeitraume von 83 Min. (also ungefähr $\frac{1}{450}^{\circ}$) stattfand, gänzliche Kältestarre, und lieferten endlich noch einige andere Versuche ähnliche Resultate.

Was die Temperatur betrifft, bei der überhaupt die schmerzhafteste Wärmeempfindung beim Frosche beginnt, d. h. jene niedrigste über der des Frosches liegende Temperatur, welche Reflexbewegung bewirkt und daher etwa die obere thermische Reflexschwelle genannt werden kann, so scheint dieselbe, wie die zur Feststellung derselben mittelst schnellen Eintauchens des Schenkels in Wasser von verschiedenen Wärmegraden vorgenommenen Versuche zeigten, bei einer Temperatur des Thieres von + 22° C., der mittleren

für die erwähnten Versuche, zwischen $+ 36$ und $+ 38^{\circ}$ C. zu liegen (vergl. Versuch I—XV).

Dass übrigens bei einem Thiere, dessen Temperatur sich in dem Maasse nach der Umgebung richtet, wie dies bei dem Kaltblüter der Fall ist, auch die obere Reflexschwelle erheblich schwankt, darf nicht bezweifelt werden, wie auch umgekehrt die untere thermische Reflexschwelle, d. h. die höchste unter der Froschwärme liegende Temperatur, bei welcher Reflexbewegung eintritt, die sich bei einer Temperatur von $+ 3^{\circ}$ C. des Thieres, der mittleren für die mit Abkühlung im Winter vorgenommenen Versuche, als durchschnittlich beim Gefrierpunct des Wassers liegend herausstellte (vgl. Versuch XVI—XXVII), bei einer höheren Temperatur des Thieres wohl auch höher liegen wird.

Bedeutend schwieriger als die Bestimmung der Reflexschwelle ist diejenige der Unterschiedsschwelle, und lieferten die daraufhin angestellten Versuche nur dürftige Resultate. Denn wenn, wie in einigen der oben geschilderten (V, XV) und noch anderen Versuchen es nicht gelingen wollte, einen Erfolg mit rascherer Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur als höchstens auf die Secunde durchschnittlich $\frac{1}{200}^{\circ}$ zu ermöglichen, so ist natürlich daraus für die Unterschiedsschwelle kein Schluss zu ziehen, da eben nur vom Durchschnitt die Rede sein, sicherlich aber nicht bestimmt werden kann, wie sich die verschiedenen kleinen Gradtheile in Wirklichkeit auf die grosse Secundenzahl der Zeitangaben vertheilen. — Die angestellten Versuche ergaben mit Bestimmtheit nur, dass bei einer Eigenwärme des Thieres von etwa $+ 20^{\circ}$ C. bei Erhöhung oder Erniedrigung um $\frac{1}{3}^{\circ}$ meist noch Reflexbewegung beobachtet wurde. Bei abgekühlten Thieren mit einer Eigenwärme von etwa $+ 3^{\circ}$ C., der mittleren bei den Versuchen der zweiten Abtheilung, schien die Unterschiedsschwelle noch weniger zu betragen, wie denn überhaupt die im Winter angestellten Versuche eine bedeutendere thermische Reflexerregbarkeit des Frosches zeigten, als die im Sommer vorgenommenen, während das Thier im Sommer gegen Geräusche u. dgl. empfindlicher als im Winter zu sein schien, so dass die im Sommer angestellten Versuche immerhin eine grössere Vorsicht erforderten, als die des Winters. Für die grössere Reflexerregbarkeit des abgekühlten Thieres spricht besonders auch die durch viele Versuche constatirte Thatsache, dass bei den im Sommer angestellten Versuchen die obere Reflexschwelle ($+ 37^{\circ}$ C.)

so bedeutend weiter von der mittleren Temperatur des Thieres ($+ 22^{\circ}$ C.) entfernt war, als die untere (Nullpunct) von der Temperatur der Thiere ($+ 3^{\circ}$ C.) bei den im Winter angestellten. Ferner erklärt wohl diese im Winter gesteigerte Reflexerregbarkeit des Frosches für thermische Reize auch die in der ersten Abtheilung sich zeigende und, vor Anstellung der Versuche der zweiten Abtheilung, dem Beobachter auffällige Erscheinung, dass die bei allmäliger Steigerung des Reizes die Wärmestarre bewirkende mittlere Temperatur ($+ 37^{\circ}$ C. bei mittlerer des Thieres von $+ 22^{\circ}$ C.) gerade die durch die Versuche mit plötzlichem Eintauchen gefundene Reflexschwelle des Frosches, d. h. die Temperatur war, bei der im Mittel Reflexbewegung eintrat, während auf der anderen Seite dieses sich abweichend verhielt, indem die untere Reflexschwelle (0° bei mittlerer Temperatur des Thieres von $+ 3^{\circ}$ C.) von der bei langsamer Abkühlung die Kältestarre bewirkenden Temperatur ($- 4$ bis $- 6^{\circ}$ C.) um mehrere Grade entfernt lag. Hierher dürfte endlich auch noch gehören der Unterschied des Verhältnisses zwischen dem im Sommer benutzten enthirnten Thiere zu dem zu derselben Zeit benutzten unversehrten und dem im Winter gebrauchten enthirnten zu dem zu dieser Zeit angewandten. Denn während der Unterschied der Erregbarkeit zwischen den ersteren beiden sich fast auf Null reducirte, so dass bei demselben Grade höchstens bei einem früheren Metronomschlage das enthirnte Thier reagirte, antwortete von den im Winter untersuchten Thieren das enthirnte stets schon $1-3^{\circ}$ früher als das unversehrte. Besonders deutlich sah man bei diesen letzten Versuchen die gesteigerte Reflexerregbarkeit des enthirnten Thieres, bei dem die hemmende Willensthätigkeit ausgeschlossen war; denn während dieses z. B. bei der Aufhängung auf den in einem kleinen Gefässe beigebrachten thermischen Reiz fast immer sofort reagirte, antwortete das unversehrte auf denselben, oft sogar auf einen stärkeren Reiz erst später, so dass es fast schien, als ob es dem unangenehmen Gefühl des Mangels einer Stütze, nachdem es eine solche an dem Gefäss gefunden, die schmerzhaft empfindung des Reizes vorziehen und letztern so lange als möglich ertragen wolle. — Der Umstand, dass bei allmäliger Erwärmung und Abkühlung die Starre schon bei $+ 37^{\circ}$ C. und etwa $- 4^{\circ}$ C. eintritt, während die Temperatur, durch welche bei momentanem Eintauchen die Unempfindlichkeit bewirkt wird, jedenfalls über

+70° und unter —10° C. liegen muss (über diese Grenzen hinaus wurden die darauf bezüglichen Versuche nicht ausgedehnt), zeigt, wie die Intensität eines bedeutenderen Reizes durch die Länge der Einwirkung eines geringeren ersetzt werden kann.

Was die Nachwirkung betrifft, so ist die der Wärmestarre von der der Kältestarre insofern verschieden, als die letztere nach einiger Zeit weicht, so dass für das erfroren gewesene Glied in den meisten Fällen, und in sehr vielen Fällen auch für das bis zum Kopfe erfrorene Thier, an dem weder Respiration noch Herzschlag mehr wahrzunehmen gewesen, keine nachtheiligen Folgen zurückbleiben, wenn nur das Glied oder das Thier mit annähernd gleicher oder noch grösserer Langsamkeit, wie es abgekühlt wurde, zu seiner früheren Temperatur zurückkehren kann, während die wirkliche Wärmestarre das Thier für immer tödtet, bez. das eingetauchte Glied unbrauchbar und unempfindlich macht, so dass schliesslich Fäulniss eintritt; die Kältestarre hat diese nachtheilige Wirkung nur in Fällen, wo die Wiedererwärmung, das Aufthauen, zu schnell vor sich ging. Hingegen weicht die durch wenige Minuten langes Eintauchen eines Frosches in Wasser von +37° C. hervorgerufene, jedoch nicht mit Wärmestarre verbundene, Reflexlosigkeit schon nach kurzer Zeit wieder der normalen Erregbarkeit, wie einige in dieser Weise angestellte Versuche deutlich darthaten, welche nach 5 Minuten langem Eintauchen des Thieres in Wasser von +37° C. so vollkommene Reflexlosigkeit ergaben, dass weder ein Druck mit der Pincette, noch eine an den Schenkel gebrachte Flamme, noch aufgetröpfelte Essigsäure, noch endlich ein elektrischer Reiz beantwortet wurden, wogegen diese Reize, nach Verlauf von 20—25 Minuten wieder applicirt, lebhafte Antworten hervorriefen. Ähnliches ist übrigens bereits von Anderen (Claude Bernard) beobachtet worden.

Die oben aufgezählten Versuche geben auf die Frage, ob bei Einwirkung eines thermischen Reizes auf die Empfindungsnerven eine schmerzhaft empfindung und durch sie hervorgerufene Reflexbewegung zu vermeiden sei, wenn die Veränderung der Reizgrösse nur allmählig genug geschieht, eine entschieden bejahende Antwort; und es geht aus denselben hervor, dass das von Pflüger erweiterte du Bois'sche Gesetz: die im Nerven vor sich gehende Molecularveränderung muss mit einer gewissen Geschwindigkeit stattfinden, um eine Erregung zu Stande kommen zu lassen, in

einer ungeahnten Ausdehnung auch für die sensiblen Nerven seine Gültigkeit hat. — Auch für die Lehre von der Muskelthätigkeit werden diese Versuche wichtig sein, denn sie zeigen, von wie grossem Einfluss die Zeitdauer der Erwärmung oder Abkühlung auf die Leistungsfähigkeit des Muskels ist.

Zum Schlusse sei noch einiger analoger nebenbei und nicht in sehr eingehender Weise, am Menschen angestellter Versuche kurze Erwähnung gethan:

Ich tauchte zwei Finger in ein mit Quecksilber gefülltes Glas, welches in einem grösseren Becken stand, während Prof. Preyer hinter einer Deckung sowohl Erwärmungs- als auch Ablühlungsmittel (kochendes Wasser und Eis) zur Hand hatte, um sie, ohne dass ich im Stande war, etwas von dem, was er vornahm, zu bemerken, anzuwenden. Bei dem ersten Versuche gelang es in Zeit von 7 Minuten die Temperatur von + 35,8 auf + 37,1° C. zu erhöhen, ohne meinem Gefühl eine Aenderung derselben bemerkbar werden zu lassen; sowie jedoch die Temperatur auf einmal von 37,1 auf 38,3° stieg, hatte ich die Wärmeempfindung; die allmälige Steigerung betrug auch hier $\frac{1}{300}^{\circ}$ auf die Secunde. Ein anderer Versuch bei dem Prof. Preyer die Temperaturänderung mir überliess, um an sich selbst zu beobachten, ergab in 4 Minuten eine Steigerung von 34,1 bis 35,6°, ohne dass dieselbe wahrgenommen wurde. Ein fernerer Versuch gestattete eine Abkühlung in 15 Minuten um 4° C., ohne dass dieselbe zum Bewusstsein kam.

Andere mit anderen Beobachtern angestellte Versuche ergaben ähnliche Resultate, und bei einigen gelang sogar vollkommene Täuschung, so dass Abkühlung gewährt wurde, wo Erwärmung stattgefunden hatte und umgekehrt.

Sehr interessant wäre es, die oben an Kaltblütern gefundenen Resultate mit denjenigen zu vergleichen, welche mit thermischem Reize an Warmblütern angestellte Versuche liefern würden, Versuche, die freilich bei der grösseren Unruhe und Beweglichkeit der Warmblüter sehr häufig durch willkürliche Bewegungen unterbrochen werden und deshalb mit bedeutenderen Schwierigkeiten als die am Frosche boten, verknüpft sein dürften, wenn man nicht etwa winterschlafende Säugethiere zur Verfügung hätte.

Jena, am 26. Juli 1872.