

Über die im Pflanzengewebe nach Verletzungen auftretende Wundwärme.

Von **Harry Tiessen.**

(Mit Tafel I, II.)

A. Einführung.

In den „Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig“ befindet sich im Jahre 1896 IV. Bd. S. 384—89 ein kurzer Bericht W. Pfeffers über Untersuchungen von H. M. Richards aus dem botanischen Institute zu Leipzig, welche sich mit der Steigerung der Atmung und mit der Wärme-
produktion nach Verletzung von Pflanzengeweben beschäftigen. Die Originalarbeiten selbst sind in den „Annals of Botany“ erschienen: 1896 „The respiration of Wounded Plants“; 1897: „The Evolution of Heat by Wounded Plants.“

In der ersten Arbeit stützt Richards durch zahlreiche Experimente die bereits von Boehm 1887 und Stieh 1891 konstatierte Tatsache, daß nach Verletzung von Pflanzen die Kohlensäureabgabe, folglich, wie er schlechthin annimmt, die Atmung wesentlich gesteigert wird. In der zweiten Arbeit weist er nach, daß Verletzungen im Pflanzengewebe mit erhöhter Lebenstätigkeit eine Temperaturzunahme hervorrufen. Die Arbeit begnügt sich mit einer Feststellung des Effektes und erklärt ihn lediglich aus erhöhter Atmung.

Da es möglich ist, diese Versuche unter größeren Vorsichtsmaßregeln und beim Fortschritt der Hilfsmittel mit einer verfeinerten Apparatur auszuführen, beauftragte mich Herr Professor Dr. Mez, über diese Erscheinung zu arbeiten.

Für das liebenswürdige und fördernde Interesse, das Herr Professor Dr. C. Mez meiner Arbeit stets entgegenbrachte, bin ich ihm zu großem Danke verpflichtet.

B. I. Die Erscheinung der Wundwärme.

a) Versuchsanordnung und Resultate von Richards.

Im Jahre 1887 ist zum erstenmale von Boehm¹⁾ der Nachweis geliefert worden, daß Verletzungen von Pflanzen eine erhöhte Atmung zur Folge haben, und daß dieselbe lediglich durch den Wundreiz und nicht etwa durch erleichterte Sauerstoffzufuhr bedingt wird. Später ist diese Frage von Stich²⁾ und in der vorher genannten Arbeit von Richards untersucht, welche beide die Richtigkeit der Boehmschen Versuche und ihrer Deutung bestätigen. Alle drei Autoren sind sich darüber einig, daß durch Verletzungen die Pflanze in einen Zustand erhöhter Lebenstätigkeit versetzt wird. Auf die Möglichkeit, daß mit der Steigerung der Lebensfunktionen auch die Wärmeproduktion, und zwar vorwiegend in der Nähe der Verletzungsstelle, zunimmt, hat zum erstenmale Pfeffer³⁾ in seinen „Studien zur Energetik der Pflanzen“ hingewiesen. Dieser Gedanke liegt der Richardsschen Arbeit (97) zugrunde, in welcher er tatsächlich eine Wärmeentwicklung im Pflanzengewebe nach Verletzungen feststellt.

Es gelingt ihm dies auf zwei Wegen. Die eine Methode, die in roher Weise den Effekt veranschaulicht, besteht darin, daß er zwei Glasglocken, die mit einer gegen äußere Einflüsse schützenden Baumwollschicht umgeben sind, mit Kartoffeln (5—600 gr) anfüllt; nachdem Temperaturgleichheit eingetreten ist, werden die Kartoffeln in der einen Glasglocke in 2 bis 6 Stücke zerschnitten. Die sukzessiven Ablesungen der Thermometer beider Glocken ergeben dann eine Temperaturerhöhung in dem Gefäß mit den verletzten Kartoffeln. Für Absorption der produzierten Kohlensäure durch Kalilauge war ebenso gesorgt wie für Zufuhr frischen Sauerstoffes. Es ist klar, daß diese Versuchsanordnung, mit welcher auch nur die geringere Anzahl von Experimenten ausgeführt wurde, keinen Anspruch auf präzise Resultate erheben kann. Immerhin konnte Richards die Temperaturzunahme in Kurven aufzeichnen, und es ergab sich, daß ihr Maximum, welches bei den verschiedenen Objekten zwischen 1° und 3,5° C. schwankt, nach zirka 24 Stunden eintritt. Danach fällt die Kurve in 2 bis 3 Tagen bis zur Nullage ab. Die Höhe der produzierten Wärme (1—3°) ist bei Verwendung von 20 bis 30 Objekten zu gleicher Zeit nicht auffallend.

Die zweite Möglichkeit zur Demonstration des Temperaturanstiegs nach Verletzungen ist durch die Verwendung von Thermonadeln ge-

¹⁾ Bot. Zeitung 1887 S. 686, Bot. Zentralblatt 1892 Bd. 2 S. 900 ff.

²⁾ Flora 1891. ³⁾ Abhandl. der Kgl. Sächs. Ges. der Wiss. Leipzig, Bd. XVIII S. 201, Fußnote 2.

geben. Die Vorzüge dieser Methode bestehen darin, daß es möglich ist, an einzelnen Objekten subtile Temperaturveränderungen nachzuweisen. Noch bedeutender ist der bei Anwendung dieser Methode sich ergebende Vorteil, daß das untersuchte Objekt, für sich allein beobachtet, all den Fehlerquellen entzogen ist, die mit der Anhäufung von zersetzlicher Masse gegeben sind. Insbesondere sei darauf hingewiesen, daß bei solcher Anhäufung mit lebhafter Kohlensäure- und Wärmeproduktion verbundene, durch Mikroorganismen hervorgerufene Zersetzungserscheinungen möglich und keineswegs selten sind. Daß das elektrische Meßverfahren bereits 1838 zum erstenmale von A. van Beek und C. A. Bergsma¹⁾ und später öfters zu ähnlichen Zwecken eingeschlagen wurde, darf als bekannt vorausgesetzt werden. Richards benutzte für seine Untersuchungen Thermonadeln der Verbindung: Eisen—Neusilber, deren zusammengelötete Spitzen in löffelartiger Form zu einer Breite von 6 mm ausgeklopft wurden, da sich spitze Thermoelemente leicht aus dem Gewebe befreien. Die freien Enden der Thermonadeln waren durch Klemmschrauben mit den Kupferdrähten des Galvanometers verbunden. Das verwendete Strommeßinstrument war ein Nadelgalvanometer mit Spiegel und Fernrohrablesung. Die Untersuchungen an den Objekten selbst wurden in einer wasserdampfgesättigten Atmosphäre ausgeführt, doch ist in der Arbeit nichts Näheres über die Größe oder die Beschaffenheit des gegen die Umgebung abgeschlossenen Untersuchungsraumes gesagt. In die Objekte hinein wurde sodann ein Schnitt gemacht und „in die Basis des so entstandenen Schnittpaltes die Thermonadel eingeführt“. Mit diesen Hilfsmitteln erhielt Richards Temperaturkurven, die nach etwa 24 Stunden ihr Maximum aufwiesen und im Verlauf von zwei Tagen abfielen.

Auf eine eingehende kritische Besprechung der vorherbeschriebenen Methode und ihrer Einzelheiten kommt Verfasser nach Angabe seiner eigenen Versuchsanordnung und der mit ihr erzielten Resultate später zurück.

b) Eigene Methode; die mit ihr ausgeführten Versuche und deren Ergebnis.

Elektrische Apparatur.

Sämtliche Versuche über Wundwärme wurden in dem mit nur einer isolierten Tür versehenen, sonst von massiven Mauern umgebenen Dunkelraum des botanischen Instituts zu Königsberg i. Pr. ausgeführt. Dieser Raum, dessen Größe (1,40 · 3,35 · 4,0 m) und Einrichtung in

¹⁾ Observations thermo-électriques sur l'élévation de la temp. d. fleurs. Utrecht.

jeder Hinsicht für die Experimente genügte, wurde gewählt, um die Untersuchungen in einer Umgebung auszuführen, deren Temperatur möglichst konstant blieb. In der Tat änderte sich die Temperatur in dem maximalen Falle eines Experimentes von 50 Stunden Dauer um $0,8^{\circ}$ (fallend), eine Änderung, die wegen der noch besonders angebrachten starken Wärmeisolation der Apparatur belanglos war. Aneh die Lage des Dunkelraums in dem Flügel des Instituts, welcher verhältnismäßig wenig begangene Herbarräume enthält, begünstigte die Versuche insofern, als das Galvanometer nur selten schwachen Erschütterungen ausgesetzt war. Schließlich war dies der einzige Raum, der vor Isolation und schwankender Lichtintensität absolut geschützt war.

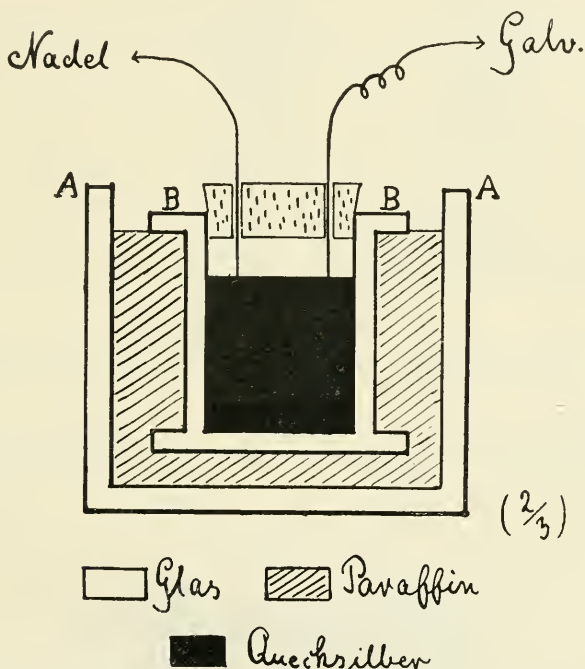
a) Galvanometer.

Als Strommeßinstrument wurde ein Drehspulgalvanometer von Siemens und Halske benutzt, das auf einer in die Wand eingelassenen Konsole stand. Da diese Galvanometer gegen störende magnetische Einflüsse praktisch völlig unempfindlich sind, können Nullpunktsverlagerungen nur eintreten, wenn der Aufhängefaden einer zu starken Torsion ausgesetzt oder das Galvanometer vorwiegend in einer Ausschlagsrichtung beansprucht wird. Das geschah bei den vorliegenden Messungen nicht, da die Skala nur in sehr geringer Ausdehnung bespielt wurde. Um die Empfindlichkeit zu vergrößern, wurde für die Dauer der Untersuchungen der innere Widerstand ausgeschaltet.

Dem Galvanometer gegenüber in einer Entfernung von 1 Meter stand auf einer zweiten Konsole der Apparat, welcher die Skala und den beleuchteten Spalt trug, dessen Bild durch eine Linse auf dem Galvanometerspiegel entworfen und von dort zur Skala reflektiert wurde. Vom Galvanometer führten über Isolierknöpfe zwei Kupferdrähte zu einem Hebelkontakt, der sich aber für meine Versuche als unbrauchbar erwies, da die Öffnungs- und Schließungsströme einen Ausschlag bis zu 5 Skt (Skalenteilen) hervorriefen. Da man ferner an den Kontaktstellen der Kupferdrähte mit den Messingklemmen des Galvanometers eine thermoempfindliche Verbindung hat, und schon die Annäherung der warmen Hand an eine dieser Kontaktstellen in dem geschlossenen Kreise, Kontakt-Galvanometer, einen nicht unbeträchtlichen Thermostrom hervorruft, mußte das Galvanometer gegen Wärmeeinflüsse geschützt werden. Es geschah dies dadurch, daß das ganze Galvanometer mit einer dicken Watteseicht umwickelt und dann mit einer Kiste überstülpt wurde, welche nur ein größeres Loch für das Lichtbündel und zwei kleinere für die Zuleitungsdrähte aufwies.

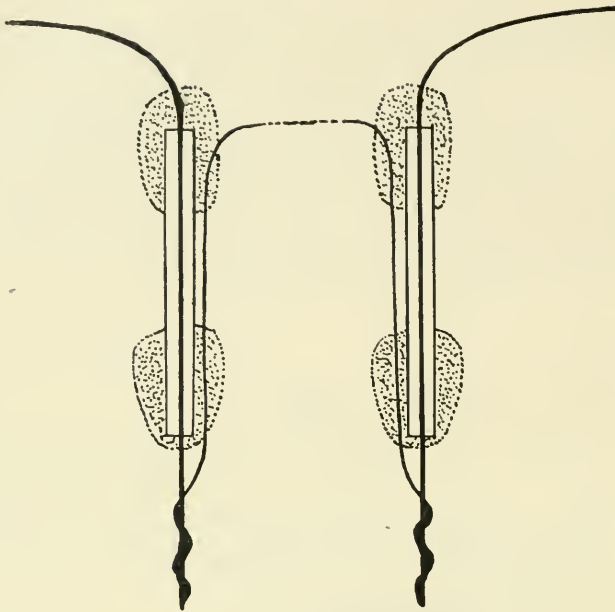
β) Der Hg-Kontakt und die Thermonadeln.

Da sich ein Metallhebelkontakt als unbrauchbar erwiesen hatte, andererseits beim Eintauchen der amalgamierten Kupferdrahtenden in reines Hg sich ein kaum meßbarer Ausschlag von nicht ganz 0,25 Skt zeigte, erschien die Anwendung eines Quecksilberkontaktes am geeignetsten. Da aber auch die Verbindung von Hg mit amalgamierten Drahtenden thermoempfindlich ist, mußte das Quecksilber möglichst vor Temperaturänderungen geschützt werden. Es wurden daher zwei Gefäße folgender Anordnung hergestellt:



Zwischen zwei Glasgefäßen A und B befindet sich als wärmeisolierende Schicht Paraffin und in dem innersten Glasgefäß Quecksilber. Das Glasgefäß B ist außerdem mit einem Kork verschlossen, der zwei Löcher für die zugeführten Drahtenden enthält.

Es wurde darauf die Eichung der Thermonadel Kupfer-Konstantan vorgenommen, die ich zu den Vorversuchen gebrauchen wollte. Da sich aber ihre Empfindlichkeit nur auf $0,0097^{\circ}$ pro Skt herausstellte, — das ist etwa $\frac{1}{100}^{\circ}$ — schien es angebrachter, eine Nadel von größerer Empfindlichkeit zu benutzen. Ich stellte mir daher eine Thermonadel aus Eisen und Konstantandraht zusammen, eine Verbindung, welche den größten thermoelektrischen Effekt aufweist.



Thermonadel : Eisen - Constantan ($\frac{1}{1}$)

⊙ Siegelack — Eisen — Constantan

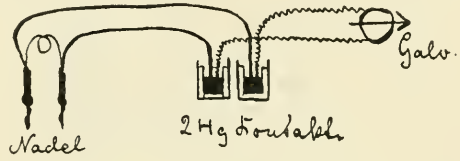
□ Glas

Vergrößerte Thermonadel.

Die Lötstellen, an welchen der 0,5 mm dicke Konstantandraht um den sehr wenig stärkeren Eisendraht herumgeführt war, wurden mit einer dünnen Schicht von Mastixfirnis überzogen, die öfters erneuert wurde. In dieser schraubenzicherartigen Verbindung saßen die Nadeln im Pflanzengewebe fest darin, ohne sich zu lockern oder gar herauszugleiten. Zur genügenden Isolierung wurde, wie es die Abbildung zeigt, der Eisendraht durch Glasröhrchen geführt, deren offene Enden mit einem breiten Ring aus Siegelack umgeben und verschlossen waren. Der starke Siegelacküberzug schützte die Drähte vor einer Berührung mit den warmen Händen. Darauf wurde eine Eichung dieser bedeutend empfindlicheren Nadel vorgenommen, die aber nach einer größeren Reihe von Beobachtungen zu unregelmäßigen Resultaten und einer diskontinuierlichen Empfindlichkeitskurve führten.

Die Ursache konnte einmal in ganz geringen Temperaturdifferenzen liegen; denn in der Eichungsschaltung: Nadel—Hg-Kontakt—Galvanometer hat man es praktisch mit drei thermoeffektiven Metallverbindungen zu tun:

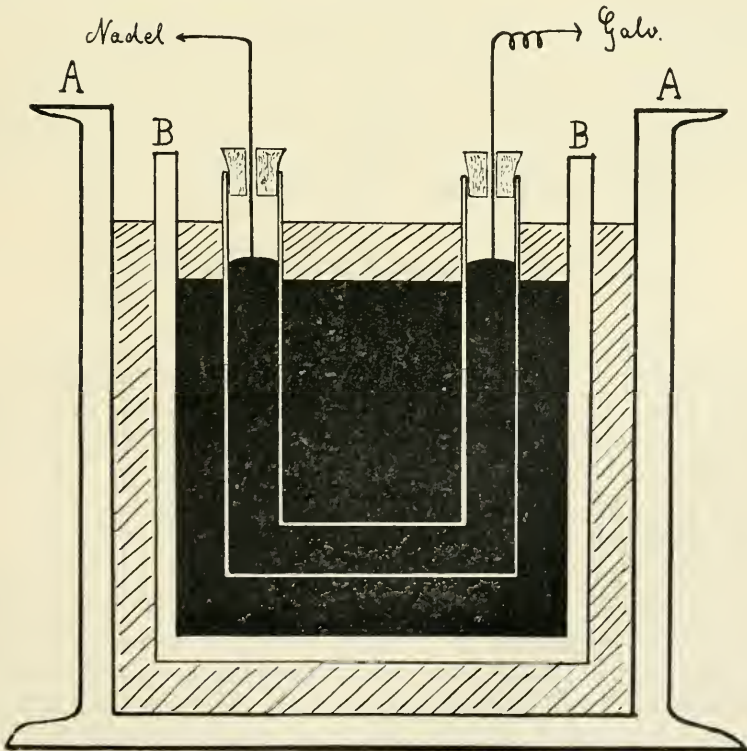
- 1) am Galvanometer Messingklemmen — Kupfer
- 2) an beiden Hg-Kontakten: Hg — Cu
- 3) am Thermoelement selbst.

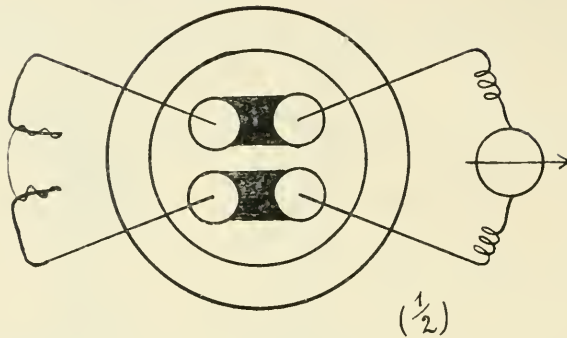


Sobald irgend eine dieser Verbindungen gegen eine andere auch nur um Zehntelgrade in der Temperatur verschoben ist, zeigt das Galvanometer durch störende Ausschläge diese Unstimmigkeit an.

Am nächsten lag daher die Möglichkeit, daß in der Verwendung zweier Hg-Kontakte in getrennten Gefäßen ein Temperaturfehler liegen könnte. Es mußte daher der Quecksilberschalter in einem einzigen Gefäß untergebracht werden, was in folgender Weise geschah.

Zwei U-Röhren waren, wie es die folgenden Figuren zeigen, parallel miteinander verschmolzen, ohne untereinander in Kommunikation zu stehen. Sie waren mit Hg gefüllt und wurden als Kontakt gebraucht, wie die Skizze es erläutert.





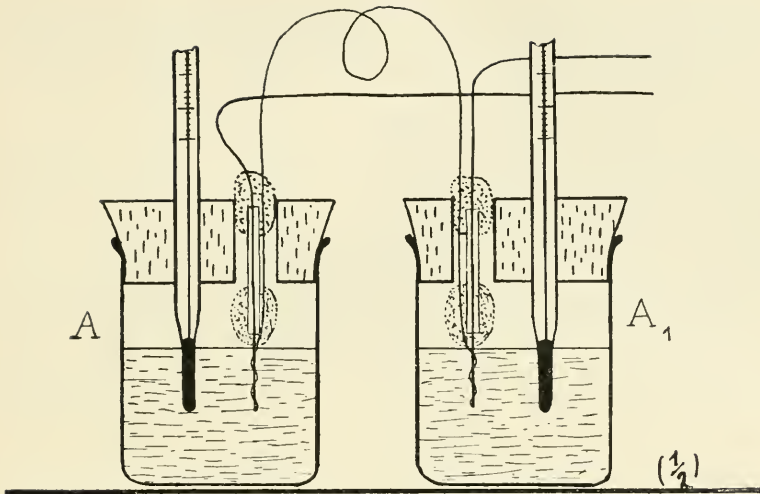
Diese zwei U-Röhren standen in einem mit Hg gefüllten Gefäß B, das seinerseits durch eine isolierende Paraffinschicht von dem Gefäß A getrennt war. Die Röhren waren mit durchlöchernten Gummistopfen verschlossen. Schließlich wurde das ganze große Gefäß A noch in Watte verpackt und in eine kleine Holzkiste getan, so daß für die Wärmeisolation die weitgehendsten Vorsichtsmaßregeln getroffen waren; da das Galvanometer ebenfalls in Watte gepackt war, konnten nunmehr Temperaturdifferenzen nicht auftreten.

Ferner konnte eine Fehlerquelle darin liegen, daß die Gefäße, in denen die Eichung der Nadeln vorgenommen wurde, zu groß und offen waren. Es treten infolgedessen schnelle Schwankungen in den Temperaturverhältnissen des Wassers ein, die von der Nadel und dem Galvanometer viel schneller registriert werden, als von den Thermometern und daher fehlerhafte Ablesungen veranlassen. Die Eichung wurde nunmehr folgendermaßen vorgenommen:

γ) Die Eichung der Thermonadeln (siehe folgende Abbildung).

Die Gefäße A und A₁ wurden bis zu $\frac{3}{4}$ ihres Volumens mit Wasser gefüllt und mit großen, dreifach durchlöchernten Korkstopfen verschlossen. Durch diese Löcher wurden dann die Thermometer und Thermonadeln gesteckt, während das dritte Loch für eine Pipette zur Zugabe erwärmten Wassers frei blieb. Wurden die Gefäße z. B. abends mit Wasser gefüllt, so war am nächsten Morgen nach Ausgleich sämtlicher Temperaturdifferenzen die Nullage eingetreten.

Darauf wurden in eines der Gefäße einige Tropfen erwärmten Wassers gegeben, die Flüssigkeit umgerührt und nach 1 bis 2 Minuten zuerst das Galvanometer und darauf beide Thermometer abgelesen. Zur Verwendung kamen zwei Celsius-thermometer mit Zehntelgrad-einteilung, so daß Hundertstel eines Grades bequem geschätzt werden konnten. Es wurde nur mit steigender Quecksilberkapillare beob-



achtet wegen des „Hakens“ der fallenden Kapillare. Nach den zwei-
tägigen Eichungsbeobachtungen hatte keine Nullpunktsverlagerung
stattgefunden.

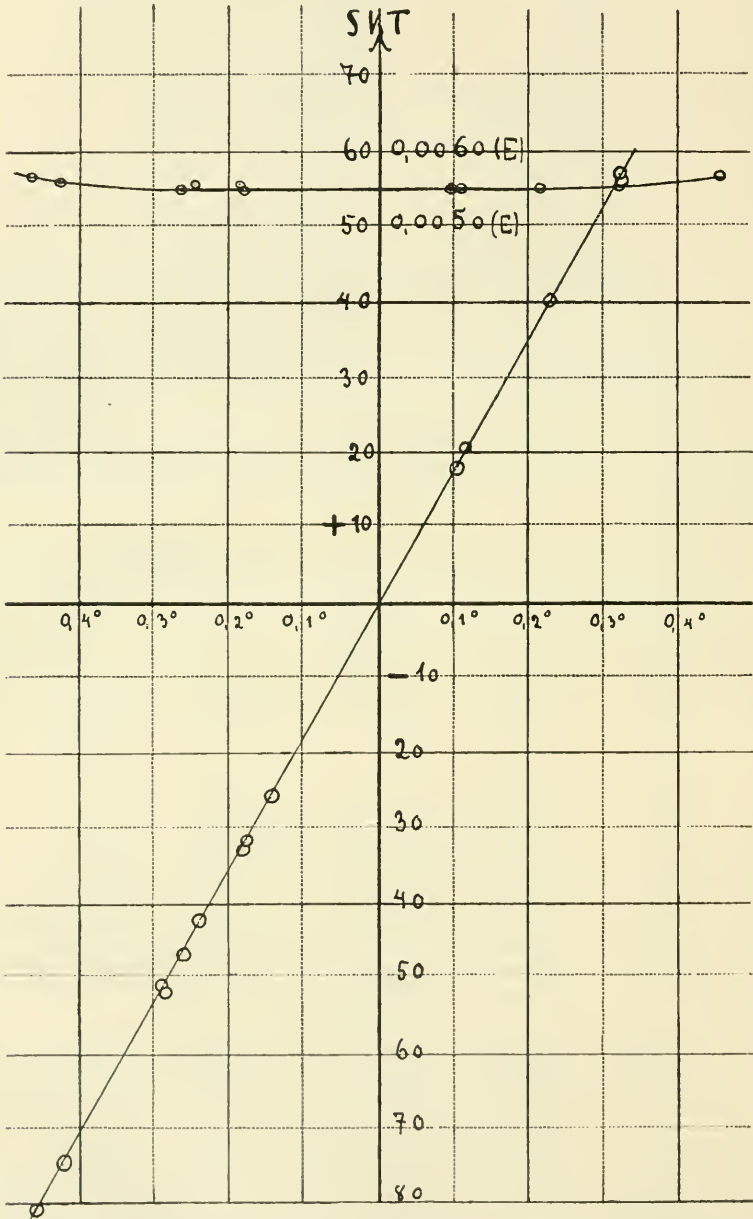
Resultate der Eichung vom 9. und 10. März 1911.

Corr. - 0,03 Therm. I.	Corr. - 0,02 Therm. II.	Korrigierter Unterschied beider	Galvano- meter	E pro SKT
9. März				
10,70	10,47	0,22	+ 40,—	0,0055
11,38	10,80	0,57	+ 98,—	0,0058
9,04	9,49	0,46	— 81,—	0,0057
9,51	9,79	0,29	— 50,5	0,0057
12,01	12,18	0,18	— 32,—	0,0056
10,75	10,98	0,24	— 42,5	0,0056
10,83	11,24	0,42	— 75,—	0,0056
11,14	11,31	0,18	— 33,—	0,0055
11,59	11,44	0,14	— 26,—	0,0054
10. März				
11,89	11,56	0,32	+ 57,—	0,0056
11,88	11,77	0,10	+ 18,—	0,0055
10,30	10,18	0,11	+ 20,05	0,0055
11,40	11,65	0,26	— 47,—	0,0055
11,69	11,96	0,28	— 52,—	0,0054

Aus dieser Tabelle ergibt sich als durchschnittliche Empfind-
lichkeit:

$$E = \underline{0,0055}^{\circ} \text{ pro } \underline{\text{Skt}} \text{ (Richards 0,07).}$$

Trägt man die Temperaturdifferenz als Abszisse und den Ausschlag des Galvanometers als Ordinate auf, so müßten die so gewonnenen Punkte auf einer geraden Linie liegen.



Trägt man ebenfalls die Temperaturdifferenz als Abszisse, aber die zu jeder Differenz gehörige Empfindlichkeit E als Ordinate auf,

so erhält man eine schwach gekrümmte Kurve, deren Scheitel einer geraden Linie sehr nahe kommt. Dieses ist in der Abbildung S. 62 veranschaulicht.

Die Resultate aus den Eichungen zeigen bis auf zwei eine gute Übereinstimmung. Da jedoch während der Ablesung des Thermometers und der Schätzung der Hundertstel Grade das bedeutend empfindlichere Thermoelement minimalste Schwankungen durch das Galvanometer registriert, wurde nach der Methode der kleinsten Quadrate eine Korrektion der Resultate durch Bestimmung der empirischen Konstante vorgenommen, um kleine Unstimmigkeiten zu beseitigen. In der Gleichung $y = ax$, welche die analytische Form für eine grade Linie darstellt, berechnet man die Konstante a aus der Gleichung:

$$a = \frac{\sum y_n x_n}{\sum x_n^2}$$

wo n die Anzahl der Beobachtungen und x und y die voneinander abhängigen beobachteten Werte bedeuten. Als y wurde wegen der größeren Genauigkeit der Galvanometerausgang genommen, als x die Differenz der Thermometer. Als rechnerische Resultate erhält man:

x	y	xy	x ²	Korr. Thermo- meter Differenz	Korr. Empfind- lichkeit E
22	40	880	484	0,222	0,0055
57	98	5586	3249	0,544	55
46	81	3726	2116	0,450	55
29	50	1450	841	0,281	56
18	32	576	324	0,180	56
24	42	1008	576	0,236	56
42	75	3150	1764	0,416	55
18	33	594	324	0,183	55
14	26	364	196	0,144	55
32	57	1828	1024	0,316	55
10	18	180	100	0,100	55
11	20	220	121	0,111	55
26	47	1222	676	0,266	56
28	52	1456	784	0,288	55

$$\sum xy = 22236 \quad \sum x^2 = 12579$$

$$a = \frac{\sum x_n y_n}{\sum x_n^2} = \frac{22236}{12579} = 1,8; \quad \underline{a = 1,8}$$

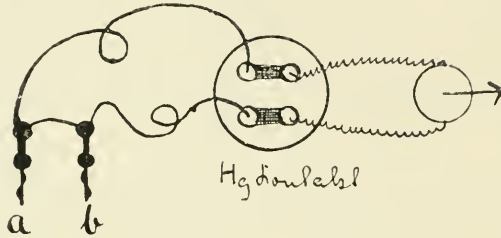
Aus den korrigierten Empfindlichkeitsmessungen für die Thermomadel Eisen-Konstantan ergibt sich ebenso wie aus den unkorrigierten:

$$\underline{E = 0,0055^\circ \text{ C pro Skalenteil}} \text{ oder}$$

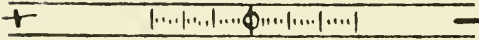
$$1 \text{ Skt} = \frac{55^\circ}{10000} = \frac{1^\circ \text{ C}}{182}$$

Schließlich möge hier noch die Schaltskizze folgen, die für die Experimente unentbehrlich ist:

I.



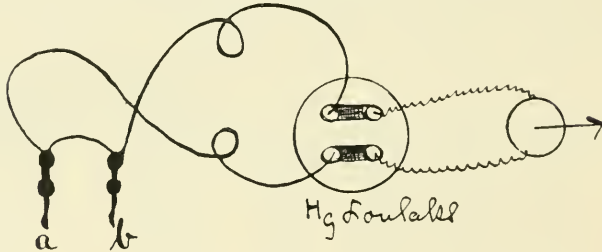
Skala



Lötstelle a kälter als b.

Lötstelle a wärmer als b.

II.



Skala



Lötstelle a wärmer als b.

Lötstelle a kälter als b.

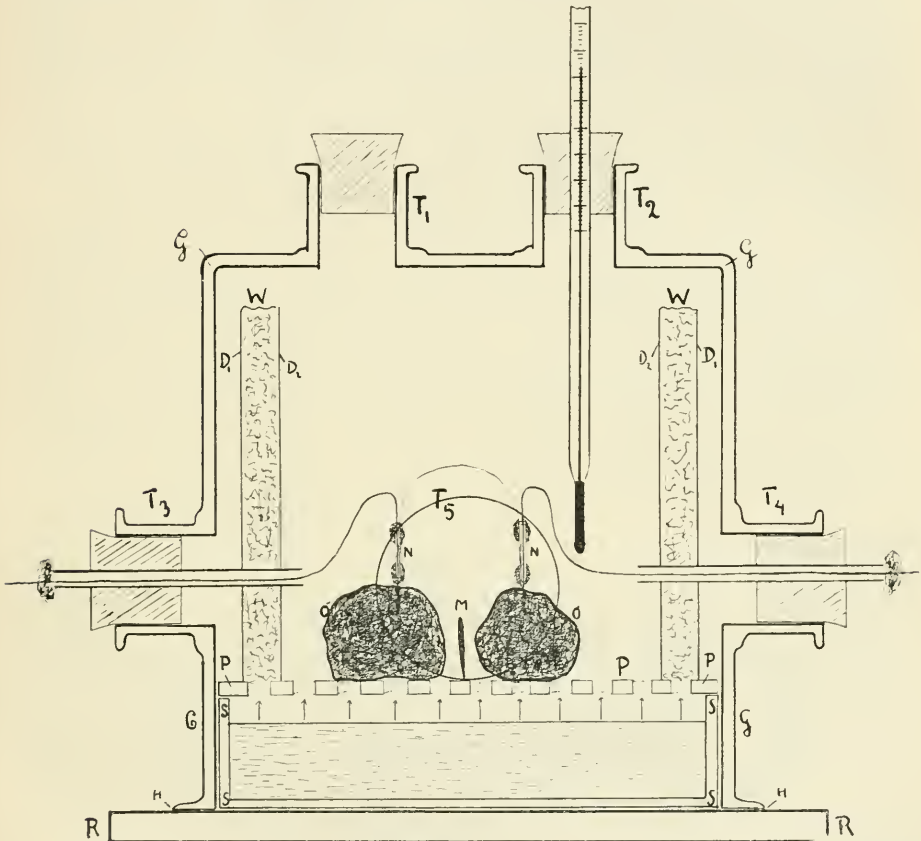
Eine zweite Thermonadel, die im Verlaufe der Untersuchung erforderlich wurde, stellte ich ebenfalls aus Eisen-Konstantan her. Die Eichung, welche in derselben Weise vorgenommen wurde, wie es vorher beschrieben ist, ergab eine Empfindlichkeit $E = 0,00547^\circ$, so daß auch diese zweite Nadel die Empfindlichkeit

$$E = 0,0055^\circ \text{ C. pro Skt besitzt.}$$

2) Einrichtung der Versuchsglasglocke.

Für die Untersuchungen selbst ist eine mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre unbedingt notwendig. Es müssen die Versuche daher in einem abgegrenzten Raum vorgenommen werden, dessen Luft man

auf den praktisch erreichbaren Grad von Sättigung mit Wasserdampf bringen kann. Zu diesem Zwecke wurde folgender Apparat nach Angabe des Verfassers aus Glas angefertigt:



Querschnitt durch die Versuchs-Glasglocke. $\frac{3}{10}$ der natürlichen Größe.

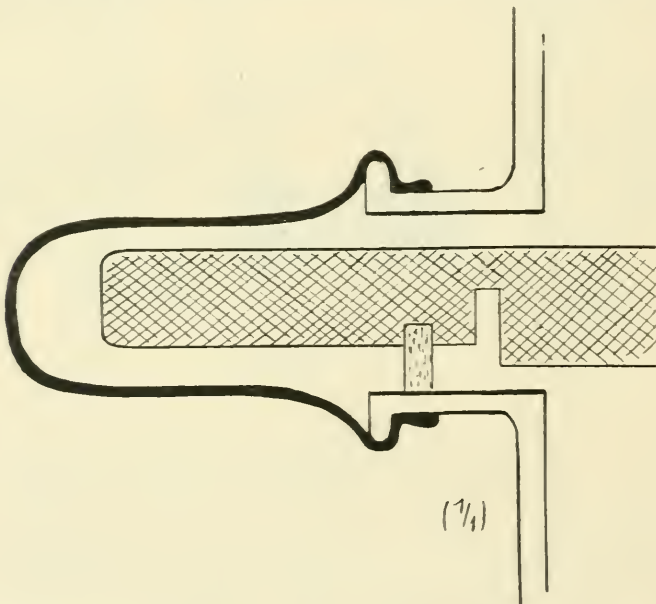
Auf einer angeschliffenen Glasplatte R ruht eine fünffach tubulierte Glasglocke G. Von diesen Tuben dienen die beiden oberen (T_1 T_2) zur Einführung von Thermometern. Die seitlichen Tuben (T_3 T_4) enthalten in zwei Glasröhren die Ableitungsdrähte der Thermocade, während der fünfte Tubus, welcher in der Figur außerhalb der Zeichnungsebene auf der Vorderseite der Glasglocke liegt, größer als die übrigen ist und zur Einführung des zum Schneiden dienenden Mikrotommessers M dient. Dieser Tubus ist hinsichtlich seiner Lage zum Untersuchungsobjekt O in der Figur durch den Kreis T_5 dargestellt.

Innerhalb der Glocke, auf der Glasscheibe R, befindet sich eine Schale S, welche das zur Verdunstung bestimmte Wasser enthält. Bedeckt wird diese Schale von einer mit 70 Löchern versehenen Glas-

platte P, auf welcher die Versuchsobjekte liegen. Es kann also durch die große Anzahl der Löcher eine unbehinderte Verdunstung stattfinden.

Bei den ersten Versuchen stellte es sich heraus, daß es nötig war, für eine schnellere Sättigung der Luft mit Wasserdampf zu sorgen. Es wurde daher die Glasglocke mit feuchtem Fließpapier ausgekleidet, später aber aus praktischen Gründen ein Wattehelm konstruiert. Zwischen zwei großmaschige Drahtgitter D_1 und D_2 war eine zirka 1,5 cm starke Watteschicht gelegt, die mit Wasser getränkt wurde. Dieser Wattehelm führte bis auf die Breite des Tubus T, um das ganze innere Lumen der Glocke.

Für einen luftdichten Abschluß der Glocke gegen die äußere Umgebung war hinlänglich gesorgt. Die Tuben 1 bis 4 waren mit Gummistopfen verschlossen und über den Tubus 5, wie es folgende Figur zeigt, eine Gummihäube in Gestalt eines großen Fingerlings übergezogen, in welcher der Stiel des Operationsmessers lag.



Der Glockenrand, welcher auf die Platte R aufsetzt, wurde mit Exsiccatorfett eingerieben. Nur an den beiden Stellen E, wo die Glasröhre mit dem Draht der Thermonadel die Gummistopfen der beiden Tuben T_3 und T_4 durchsetzt, blieben die Glasröhren bei einigen Versuchen unverschlossen, um für die nötige Sauerstoffzufuhr zu sorgen. Über die offenen Enden der 3 mm im Durchmesser starken Glasröhren war angefeuchtete Watte gelegt, um die event. einströmende Luft schon mit Feuchtigkeit zu beladen.

ε) Orientierende Versuche. (No. 1—5, 7, 8.)

Die ersten Versuche mußten bei den empfindlichen Hilfsmitteln lediglich dazu dienen, Fehlerquellen, die außerhalb der Apparatur liegen, aufzudecken, um die Bedingungen zu präzisieren, unter welchen der reine Wundwärmeeffekt durch die Nadeln registriert wird. Selbstverständlich müssen die Versuche in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre vorgenommen werden; denn sonst würde durch den infolge der Verletzung austretenden Zellsaft ein Verdunstungs-Wärmeverlust hervorgerufen, welcher den gesuchten Wärmeeffekt verschleiern würde.

Das Volumen der zu den Experimenten benutzten Glasglocke beträgt über der Glasplatte P 6840 cm³, wovon gegen 800 cm³ für den Wattehelm abgehen. Die restierenden 6000 cm³ müssen nach den Untersuchungen von Winkelmann über Gasdiffusion durcheinander im Verlauf weniger Stunden mit Wasserdampf gesättigt sein. Nun standen sämtliche Versuchsanordnungen vor dem Schneiden fertig geschaltet und abgedichtet 15—44 Stunden, um Temperaturausgleich und Nullage zu erzielen. In dieser Zeit ist natürlich auch eine Sättigung mit Wasserdampf erreicht, was sich schon äußerlich dadurch bemerkbar machte, daß die Glocke innen stark beschlagen und mit Wassertropfen behaftet war.

Schwankungen des Sättigungsgrades — also Fehlerquellen — können nur bei größeren Temperaturdifferenzen im Innern der Glocke auftreten. Sie betragen in der Tat 0,06° bis 0,47°, im Falle eines 50stündigen Versuchs 0,8° fallend —, rufen also keinen wesentlichen Fehler hervor; denn es wird sofort beim Sinken des Sättigungs-koeffizienten aus dem in der Schale vorhandenen Wasser wieder der Bedarf an Wasserdampf zur Sättigung bezogen. Die weiteren Fehlerquellen förderten die ersten Versuche zutage.

Versuch I (Kartoffel) dauerte 16 Stunden nach dem Schnitt und ergab eine Kurve, die sich durch einen unregelmäßigen Gang und zwei kurze nacheinander auftretende maximale Erhebungen auszeichnete. Während des ganzen Versuchs brannte sowohl die Gasflamme wie die Petroleumlampe, welche den Spalt beleuchtete; auch war der Beobachter fast ständig im Versuchsraum anwesend. Das mußte natürlich eine Temperaturerhöhung im ganzen Raum zur Folge haben, die von den Thermometern im Zimmer und im Glockeninnern zu 2,5° registriert wurden. Daß eine solche Temperaturerhöhung Unregelmäßigkeiten im Kurvengang hervorruft, geht schon daraus hervor, daß das in Watte verpackte Galvanometer nicht so schnell den Temperaturänderungen folgt, wie die Glasglocke und der Hg-Kontakt. Ferner bestätigten Versuch II—V diese Fehlerquelle.

Im Versuch II (Kartoffel) brannte nur am Anfang und am Schluß des 33stündigen Experimentes die Gasflamme. Die Kurve zeigt daher

zwischen der 2. und 30. Stunde einen ziemlich gleichmäßigen und ruhigen Gang, während zu Beginn und Schluß ganz erhebliche Unregelmäßigkeiten auftraten. Das wies auf eine zweite und bei weitem größere Fehlerquelle hin.

Bedeutend mehr nämlich als die Temperaturerhöhung des Raumes an sich ruft die Bestrahlung des Versuchsobjektes mit intensivem Licht starke Unregelmäßigkeiten im Kurvengang hervor, da die Thermnadeln die vom Gaslicht herrührenden Wärmestrahlen äußerst schnell registrieren. Die Nadel im geschnittenen Objekt tut dies in viel höherem Maße als die im ungeschnittenen; denn erstere bedeckt auf der einen Seite nur ein Zellschichtenkomplex von 3—8 mm Dicke, während die zweite allseitig von Gewebe umgeben ist. Will man also den reinen Wundwärmeeffekt durch die Nadeln messen, so ist es nötig, die Versuche in einem absolut dunklen Raum auszuführen. Jedes Licht — insonderheit eine schwankende Lichtintensität, wie es bei Versuchen in diffusem Tageslicht der Fall wäre — würden die Messungen illusorisch machen. Andererseits liegt in dem völligen Mangel an Licht keine Fehlerquelle. Hatten die ersten Versuche gezeigt, daß die Gasflamme nicht benutzt werden darf, so erwiesen die weiteren (III—V), daß auch die im Beleuchtungsapparat brennende Petroleumlampe zu entfernen nötig war. Daher wurde an ihrer Stelle eine größere elektrische Taschenlampe benutzt, die nur im Augenblick der Ablesung Spalt und Skala beleuchtete. Schließlich sei noch erwähnt, daß auch die längere Anwesenheit des Beobachters im Dunkelraum nicht ohne Einfluß auf die Apparatur bleibt, was ebenfalls nachgewiesen werden konnte.

Nachdem durch die ersten Versuche die Bedingungen für m. E. einwandfreie Experimente gegeben waren, konnte mit den systematischen Versuchen über Wundwärme begonnen werden. Als Versuchsobjekte dienten: Knollen von *Solanum tuberosum*, Früchte von *Pirus malus* und Wurzeln von *Daucus Carota*, *Raphanus sativus* und *Brassica rapa*.

ζ) Versuchsausführung.

Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, sei hier der Gang eines Experimentes angegeben. Es wurden zwei Exemplare eines Versuchsobjektes ausgewählt und zwei bis drei Tage zur Annahme gleicher Temperatur im Dunkelraum liegen gelassen. Nachdem die Schale S zu $\frac{4}{5}$ ihres Volumens mit Wasser von zirka 25° C. gefüllt und der Wattedhelm mit Wasser derselben Temperatur durchtränkt war, wurde mittels kleiner Holzstäbchen das Versuchsobjekt auf der durchlöcherten Glasplatte P befestigt, während das Vergleichsobjekt lose auf derselben lag. Die Befestigung des ersteren diente lediglich dazu, dem Objekt

im Augenblick des Schneidens eine feste Stütze zu gewähren. Über die Anordnung wurde von einer zweiten Person vorsichtig die Glasglocke mit dem Wattehelm gestülpt, während der Verfasser selbst die beiden Nadeln zirka 1 cm tief in die Objekte einführte. Hierauf wurde in den großen Tubus (T_5) das Operationsmesser gelegt und derselbe mit einer Gummihaube überzogen. Nachdem der Nullpunkt der Skala eingestellt und der Glockenrand H mit Exsiccatorfett eingeschmiert war, wurden die freien Enden der Thermo-nadeln in den Hg-Kontakt eingeführt. Darauf wurde die ganze Anordnung in den einzelnen Fällen 15—44 Stunden ruhig stehen gelassen, so daß ein gänzlicher Temperatúrausgleich und eine genügende Verdunstung stattfinden konnte. Die Nullage war in den meisten Fällen schon nach zwölf Stunden eingetreten, doch blieb die Anordnung stets länger stehen, um die Konstanz der Galvanometerstellung zu beobachten. Nachdem die Temperaturen im Innern der Glocke und im Zimmer abgelesen waren, wurde — beim Lichte der elektrischen Taschenlampe — ein Schnitt in variierender Nähe (2—8 mm) der Nadel geführt, und zwar so, daß ein Stück des Objektes glatt abgeschnitten wurde. Unmittelbar danach wurde die erste Ablesung, nach einer Minute die folgende, nach drei Minuten die dritte, nach fünf Minuten die vierte und weiter bis zur Überschreitung des Maximums alle fünf Minuten Ablesungen gemacht. Nach dem Maximum wurde alle 10—20 Minuten abgelesen und bei Dauerversuchen während des äußerst langsamen Abfallens alle 30—60 Minuten. War bei den Dauerversuchen wieder die Nullage eingetreten, so wurde noch einige Stunden gewartet, ob die Nullage konstant blieb, und dann erst der Versuch auseinandergenommen, um die Entfernung der Schnittflächen von der Nadel, die Größe der Schnittflächen und die Tiefe des Einstiches zu bestimmen. Bei längeren Versuchen wurden alle 6—8 Stunden die Temperaturen kontrolliert und am Schlusse die Versuchsobjekte mit Hilfe der Sudanreaktion einer Prüfung auf Korkbildung unterzogen.

7) Variierende Ruhelage.

Mit Versuch VI sollte die Reihe der Experimente über die Dauer und Größe der Wundwärme beginnen. Nachdem zuvor die gesamte Leitung geprüft und in Ordnung gefunden war, wurde der Versuch VI mit zwei Karotten angesetzt. Am nächsten Morgen stand das Galvanometer auf $-5,8$ und diese konstante Lage behielt es während des ganzen Tages und des folgenden Vormittages bei. Da diese Abweichung von der Nullage nach wiederholten Versuchen nicht auf Fehler der Anlage zurückzuführen war, lag bei der sehr hohen Empfindlichkeit der Thermo-elemente (1 Skt = $0,0055^\circ$!) die Vermutung nahe, diesen Temperaturunterschied in individuellen Differenzen der

Versuchsobjekte zu suchen. Zur Feststellung derartiger Differenzen, welche bei gleichen äußeren Bedingungen in verschiedenen inneren Zuständen zu suchen wären, wurden einmal Versuche mit zwei verschiedenen Objekten ausgeführt. Sodann wurden einzelne Objekte wie Kartoffeln und Äpfel halbiert und nach Neubildung einer Wundkorkschicht (2—3 Tage) beide Hälften als getrennte Objekte behandelt. Während bei den verschiedenen Objekten niemals absolute Nulllage eintrat und sich die Abweichungen von derselben zwischen 0,3 und 3,8 auf beiden Seiten bewegten (in zwei extremen Fällen 5,8 [VI] 6,6 [XX]), zeigte sich bei den halbierten Objekten stets die erwartete Nulllage. Diese Erscheinung ist, soweit Verfasser unterrichtet ist, von ihm in der vorliegenden Arbeit zum ersten mal beobachtet. Richards, dessen Nadel nur $\frac{1}{12}$ der hier angewandten Empfindlichkeit besaß, kannte diese Tatsache nicht, was aus seinen Worten hervorgeht: „die unter denselben Bedingungen gehaltenen Pflanzen variierten niemals in irgend einem bemerkbaren Maße an Temperatur in dem unverletzten Zustand.“ Dagegen hat Richards eine Temperaturdifferenz zwischen lebenden und toten Objekten konstatiert, welche durch die höhere Temperatur des lebenden Objektes hervorgerufen wurde. Es folgt die Tabelle der hierüber angestellten Untersuchungen.

1. Zwei verschiedene Objekte.

Objekt	Galvanometer
2 Kartoffeln (vorjährig)	— 2,8
2 Kartoffeln (diesjährig)	+ 1,0
2 Äpfel (vorjährig)	— 1,1
2 junge diesjährige Rettige	— 3,6
2 Karotten (vorjährig)	+ 1,0

2. Hälften eines und desselben Objektes.

Objekt	Galvanometer
2 Hälften einer vorjähr. Kartoffel	0,0
2 Hälften einer diesjähr. Kartoffel	0,0
2 Hälften einer diesjähr. Kartoffel	0,0
2 Hälften eines diesjähr. australischen Apfels	0,0

Die so ermittelten Resultate weisen also auf vorhandene innere Differenzen unter gleichen äußeren Bedingungen hin. Eine eingehende Untersuchung dieses Gegenstandes ist in der vorliegenden Arbeit nicht beabsichtigt. Doch würde eine solche, da sich die Beobachtungsmethode leicht verfeinern läßt, vielleicht interessante Aufschlüsse hinsichtlich der Abhängigkeit dieser Erscheinung von den einzelnen Lebensäußerungen der Pflanze zutage fördern.

9) Versuche über Größe und Dauer der Wundwärme an lebenden Objekten ¹⁾.

Versuch VI. Zwei Karotten.

Nach 44stündiger Beobachtung der konstanten Ruhelage — 5,8 wird auf der einen Seite der Nadel ein Schnitt in 5 mm Entfernung geführt. In den ersten 10 Minuten erfolgt ein rascher Anstieg bis zu 4,3 SKT, nach weiteren 10 Minuten bis 4,5; darauf für 30 Minuten ein Rückgang auf 4,0, sodann erneutes Steigen bis zum Maximum von 4,6. Während der nächsten 12 Stunden bleibt die Kurve auf einer durchschnittlichen Höhe von 4,5 bis 4,0, um während der folgenden 38 Stunden bei minimalen sekundären Schwankungen äußerst langsam bis auf 1,8 Skt abzufallen. Nach 50 Stunden wurde der Versuch abgebrochen, da sich eine zweite maximale Erhebung weder am Ende des ersten noch am Beginn oder im Verlaufe des zweiten Tages einstellte. Die mikroskopische Untersuchung mit Sudanglyzerin ergab eine beginnende Verkorkung am oberen Drittel des Einstichrandes. Während der 50 Stunden der Versuchsdauer geht die Temperatur in der Glocke um 0,8° herunter. Das verursacht, da es sich um fallende Temperatur handelt, keine Schwankung im Sättigungsgrad der Luft mit Wasserdampf.

Res. Entf.: 5 mm, Tf.: 10 mm, Max.: 4,6²⁾.

Versuch VII und VIII waren Nullpunktsuntersuchungen.

Versuch IX. Zwei Hälften einer diesjährigen Maltkartoffel.

Nachdem die Nullage eingetreten und deren Konstanz durch acht Stunden beobachtet war, wurde auf beiden Seiten der Nadel in einer Entfernung von je 5,5 mm geschnitten. Nach 30 Minuten ist eine Höhe der Kurve bei 6,2 erreicht, die sich nach einem kurzen Niedergang auf 6,0 zum Maximum von 7,9 erhebt, das nach 75 Minuten eintritt. Darauf erfolgt ein mit der Zeit nahezu proportionaler Abfall in 11³/₄ Stunden bis zur Nullage. Keine Korkbildung. Die Temperatur in der Glocke unterlag während des Versuchs einer belanglosen Schwankung von 0,06°.

Res. Entf.: je 5,5 mm, Tf.: 9 mm, Max.: 7,9.

Versuch X, XI, XII sind Kontrollversuche, die ausgeführt wurden, ohne daß der Sättigungsgrad der Luft mit Wasserdampf erreicht war. Die Kurven gehen nach einer kurzen Erhebung, die wohl auf

¹⁾ Die Kurven siehe im Anhang.

²⁾ Entf. = Entfernung der Nadel von der Schnittfläche, Tf. = Tiefe des Einstichs, Max. = Maximum.

mechanische Reibungswärme beim Schneiden zurückzuführen ist, alle infolge der auftretenden Verdunstungskälte unter den Nullpunkt herunter.

Versuch XIII. Zwei diesjährige Maltakartoffeln.

Die konstante Ruhelage tritt bei $-0,3$ ein. Zwanzig Stunden nach Ansetzung des Versuchs wurde in einer Entfernung von 5 mm nur auf der einen Seite der Nadel ein Schnitt ausgeführt. Nach einer sofortigen Erhebung auf zwei Skt tritt nach 45 Minuten das — nicht hohe — Maximum bei 3,5 ein, auf das ein langsamer Abfall folgt. Der Versuch wird nach $3\frac{3}{4}$ Stunden abgebrochen, da eine Dauerbeobachtung nicht beabsichtigt war. Keine Temperaturschwankung.

Res. Entf.: 5 mm, Tf.: 7 mm, Max.: 3,5.

Versuch XIV. Zwei Hälften eines diesjährigen australischen Apfels.

Da es sich um Hälften eines Objektes handelt, trat die erwartete Nullage ein. Vierzehn Stunden nach Ansetzung wurde auf beiden Seiten der Nadel in einer Entfernung von 3 und 4 mm geschnitten. Die Kurve steigt wieder sofort an und erreicht nach 20 Minuten ihr Maximum bei 10,0. Sodann folgt ein Abfall in drei Stunden bis zu 4 Skt. Diese Lage bleibt acht Stunden lang annähernd konstant. In weiteren 36 Stunden erfolgt ein allmählicher, der Zeit ziemlich proportionaler, am Schlusse etwas schnellerer Abfall zur Nullage. Während der 47stündigen Dauer des Versuchs tritt eine Gesamttemperaturschwankung im Innern der Glocke von $0,2^{\circ}$ ein, die belanglos ist. Eine zweite maximale Erhebung hat also nicht stattgefunden. Die Kurve zeichnet sich durch einen sehr gleichmäßigen Gang aus.

Res. Entf.: 3 und 4 mm, Tf.: 9 mm, Max.: 10,0.

Versuch XV. Zwei vorjährige Kartoffeln.

Die Ruhelage tritt bei 1,3 ein. Achtzehn Stunden nach Ansetzung des Versuchs wurde in einer Entfernung von 6 mm ein Schnitt geführt. Der augenblickliche Anstieg bis zu zwei Skt ist ebenso wie das nach 30 Minuten eintretende Maximum (2,3) gering, was wohl auf die Entfernung des Schnittes von der Nadel zurückzuführen sein dürfte. Um an einer Kurve die Höhendifferenz bei verschiedenen entfernten Schnitten demonstrieren zu können, wurde, sobald nach dem ersten Schnitt eine annähernd konstante Lage eingetreten war, auf der anderen Seite der Nadel in nur 2 mm Entfernung ein zweiter Schnitt geführt, der ein sofortiges hohes Aufsteigen zur Folge hatte. Genau

30 Minuten nach dem zweiten Schnitte tritt das Maximum der Kurve bei 7,7 ein. Die Kurve nimmt dann den typisch abfallenden Verlauf an, und der Versuch wurde, da keine Dauerbeobachtung beabsichtigt war, nach 4½ Stunden abgebrochen.

Res. Entf.: 6 u. 2 mm, Tf.: 1 cm, Max. 2,3 u. 7,7 mm.

Versuch XVI—XIX. Diese Versuche entsprechen im allgemeinen der Theorie aller vorhergehenden, zeigen jedoch in Einzelheiten einige Abweichungen, die auf ein technisches Mißlingen in der Ausführung des Schnittes zurückzuführen sind.

Versuch XVI mit einer Karotte zeigt, da das große Objekt durch den Tubus schwer zu schneiden war und ein sehr starker Druck ausgeübt wurde, eine Überhöhung des Aufstiegs, die auf Druckwärme zurückzuführen ist.

Bei Versuch XVII fiel die Nadel aus dem Objekt heraus, da zu nahe an der Nadel geschnitten war. Die Kurve zeigte bis dahin aber einen normalen Verlauf.

In Versuch XVIII zerbrach eine Thermonadel und bei Versuch XIX war nicht genügende Feuchtigkeit vorhanden.

Versuch XX. Zwei junge diesjährige Rettige.

Die Ruhelage trat bei — 6,6 ein. Nach 18 Stunden werden wie bei Versuch XV zwei Schnitte in verschiedener Entfernung ausgeführt. Der erste Schnitt in 3 mm Abstand bewirkt einen schnellen, die mechanische Reibungswärme darstellenden Anstieg bis zu sechs Skt und einen ebenso schleunigen Abfall bis zu einem Betrage, von welchem an sich die langsam aufsteigende Wundwärme bemerkbar macht. Nachdem das Maximum bei 3,8 erreicht ist, erfolgt ein neuer Schnitt auf der anderen Seite, aber in 6 mm Entfernung. Bei dem größeren Abstand dieser Verletzung fehlt der schnelle augenblickliche Anstieg. Nach 5½ Stunden wird der Versuch abgebrochen, da die Kurve den typischen Verlauf zeigt und eine Dauerbeobachtung erst später beabsichtigt war.

Res. Entf.: 3 u. 6 mm, Tf.: 8 mm, Max. 3,8 u. 5,5.

Versuch XXI. Zwei junge diesjährige Rettige.

Mit demselben Material, wie im vorhergehenden Experiment war ein Dauerversuch beabsichtigt. Ruhelage bei — 3,6. Nach 42 Stunden werden auf beiden Seiten der Nadel in einer Entfernung von je 7 mm Schnitte geführt. In 15 Minuten erfolgt der Anstieg bis zum Maximum von 6,7, in den beiden nächsten Stunden ein schnellerer, in weiteren 10 Stunden ein langsamer Abfall bis zur Nulllage. Korkbildung war

nicht eingetreten. Die Temperaturschwankung unter der Gloecke betrug $0,3^{\circ}$.

Res. Entf.: je 7 mm, Tf.: 10 mm, Max.: 6,7.

Versuch XXII mit Kartoffeln zeigt trotz zweiseitigen Schnittes nur einen langsamen und wenig hohen Anstieg. Da irgend etwas in Unordnung zu sein schien, wurde der Versuch nach $3\frac{1}{2}$ Stunden auseinandergenommen, und es stellte sich in der Tat heraus, daß in die Einschnittstellen der Thermo-nadeln Exsiccatorfett gekommen war. Das Gewebe war gänzlich geschwärzt und die Empfindlichkeit der Nadeln durch das sie umgebende Fett stark herabgesetzt.

Versuch XXIII. Zwei australische Äpfel.

Die Ruhelage trat bei $-3,8$ ein. 42 Stunden nach Ansetzen des Versuchs wurde auf beiden Seiten geschnitten. Bei diesem Versuche wurden zum erstenmal sofort nach dem Schneiden die Schnittflächen mit einem Wattebausch, der an einem Holzstäbchen befestigt war, abgewischt, um die erste nach dem Schnitt aus den Zellen austretende Flüssigkeit hinwegzunehmen. Der schnelle Kurvenanstieg erfolgt in derselben charakteristischen Weise wie bei dem ersten Apfelversuch (XIV). Die Größe der Schnittflächen, die Nähe derselben an der Nadel — vielleicht auch das erste Abtrocknen, was aber zu bezweifeln ist — bedingen das hohe Maximum, das bei 16,0 in 25 Minuten erreicht wird. Von dort ab fällt die Kurve in $2\frac{1}{2}$ Stunden bis auf 7,4 zurück, um allmählich in den konstanten Teil überzugehen.

Res. Entf.: 3 u. 4,5 mm, Tf.: 10 mm, Max.: 16,0.

Versuch XXIV. Zwei Mairüben (*Brassica rapa*).

Die Ruhelage trat bei $-2,0$ ein. Nach 28 Stunden wurde auf beiden Seiten geschnitten. In 20 Minuten erfolgt dann der Anstieg bis zum Maximum von 6,3; in den nächsten $1\frac{1}{2}$ Stunden ein schneller Abfall bis auf 2,2. In den folgenden 24 Stunden geht die Kurve nach einer minimalen sekundären Erhebung, die keinesfalls als zweites Maximum gedeutet werden kann, in die Nullage über. Korkbildung war nicht eingetreten. Die Temperaturschwankung während des ganzen Versuchs betrug nur $0,15^{\circ}$.

Res. Entf.: 4 u. 6 mm, Tf.: 12 mm, Max.: 6,3.

Bemerkung zu Versuch XXIV: Das Objekt dieses Versuches steht verwandtschaftlich den Objekten der Versuche XX und XXI sehr nahe. In der Tat zeigen diese drei Kurven eine große Ähnlichkeit untereinander, indem besonders der rasche Abfall vom Maximum bis zu einer bestimmten Höhe charakteristisch ist.

Versuch XXV. Zwei vorjährige Kartoffeln.

Die konstante Ruhelage trat bei $+1,8$ ein. Zwanzig Stunden nach Ansetzung des Versuches wird ein Schnitt in zirka 1 mm Entfernung geführt. Die Kurve erhebt sich sofort und erreicht nach einer Stunde das Maximum von 12,5 SKT. (Bei der Nähe des Schnittes an der Nadel nicht weiter auffällig.) Danach fällt die Kurve vier Stunden lang zuerst rascher bis auf sechs Skt ab, um in weiteren 42 Stunden nach einem sehr langsamen, der Zeit annähernd proportionalen Rückgang die Nullage zu erreichen. Während der zweitägigen Dauer des Experimentes beträgt die Temperaturschwankung im Glockeninnern nur $0,1^{\circ}$. Die Untersuchung mit Sudanglyzerin ergab eine Verkorkung in der oberen Hälfte des Einstichs.

Res. Entf.: zirka 1 mm, Tf.: 10 mm, Max.: 12,5.

Versuch XXVI. Zwei junge diesjährige Karotten.

Ruhelage bei $+2,7$. 36 Stunden nach Ansetzen des Versuches wird auf beiden Seiten geschnitten, und zwar ziemlich nahe in 2,5 und 3,5 mm Entfernung. Die Kurve steigt sogleich an und erreicht mit 15 Minuten ihr Maximum bei 6,1. Sie geht dann in 15 Minuten auf 3,9 zurück, um von hier an 36 Stunden hindurch ganz allmählich abzufallen. Da sich weder am Ende des ersten, noch im Verlauf des zweiten Tages eine zweite Erhebung bemerkbar macht, wird der Versuch nach 37 Stunden abgebrochen. Die Kurve zeigt einen übereinstimmenden Gang mit derjenigen des ersten Karottenversuches (VI). Daß in dieser Kurve nach erreichtem Maximum ein Rückgang eintritt, erklärt sich ohne weiteres aus der Nähe der Verwundungen an der Nadel. In Versuch VI war nur ein Schnitt in 5 mm Entfernung geführt. Die Temperaturschwankung betrug während des ganzen Versuches $0,7^{\circ}$.

Res. Entf.: 2,5 u. 3,5 mm, Tf.: 10 mm, Max.: 6,1.

Versuch XXVII. Kontrollversuch an zwei Kartoffeln.

Um an ein und demselben Versuche gleichzeitig die Fehlerquellen durch zu geringen Feuchtigkeitsgehalt der Luft nachzuweisen und die auftretende Verdunstungskälte zu demonstrieren, wurde folgendes Experiment angestellt: Auf der Glasplatte P wurden an freier Luft, also ohne Glocke, zwei Kartoffeln befestigt, die Nadeln hereingesteckt und die Leitung geschlossen. (Schaltskizze I S. 64.)

Nach einiger Zeit war eine Ruhelage eingetreten, aber es war keine konstante Ruhelage wie bei den vorhergehenden Versuchen; denn da die schützende Glocke die Anordnung nicht bedeckte, waren die Schwankungen größere und von kürzerer Periode; es ist dies eine Kontrollwirkung, die auf den ungehindert an die Thermoleitung her-

antretenden äußeren Einflüssen (Luftströmung, Temperaturänderung) basiert. Es wurde nun die zwischen $+3$ und -2 langsam schwankende Ruhelage beobachtet und beim Durchgang durch die Nullage (± 0) Schnitt I ausgeführt. Infolge der mechanischen Reibungswärme tritt eine sofortige Erhebung auf -6 ein. Der Zellsaft beginnt aus der Wunde auszutreten und infolgedessen macht sich Verdunstungskälte bemerkbar. Daher der rasche Niedergang des Galvanometers auf die „kalte Seite“ bis $+14$. Hierauf wird die Schnittfläche mit Watte abgetrocknet. Die Wundwärme breitet sich infolgedessen wieder aus, und das Galvanometer geht auf -2 . Allmählich tritt neuer Zellsaft aus der Wunde aus. Die Verdunstungskälte zeigt sich beim Niedergang des Galvanometers auf $+14$. Nach abermaligem Abwischen erscheint die Wundwärme wieder bei $-1,4$. Darauf wird beim Passieren der Nullage Schnitt II ausgeführt. Der sofortige Anstieg auf $-4,5$ ist reine Reibungswärme. Daß nun aber auf beiden Seiten Zellsaft aus den Wunden austritt, erkennt man an dem tiefen, Verdunstungskälte andeutenden Stande des Galvanometers bei $+30$. Nach Abwischen beider Schnittflächen breitet sich die Wundwärme wieder aus, da das Galvanometer auf -7 geht. Es wiederholt sich dasselbe Spiel wie nach Schnitt I, nur — bei zwei Wunden — in vergrößertem Maßstabe. Schließlich wird die Watte nicht mehr zur Aufnahme des Zellsaftes benutzt. Daher zeigt das Galvanometer nach 7 Minuten bei $+95$ Skt eine Verdunstungskälte von über $\frac{1}{2}^{\circ}$ C. an.

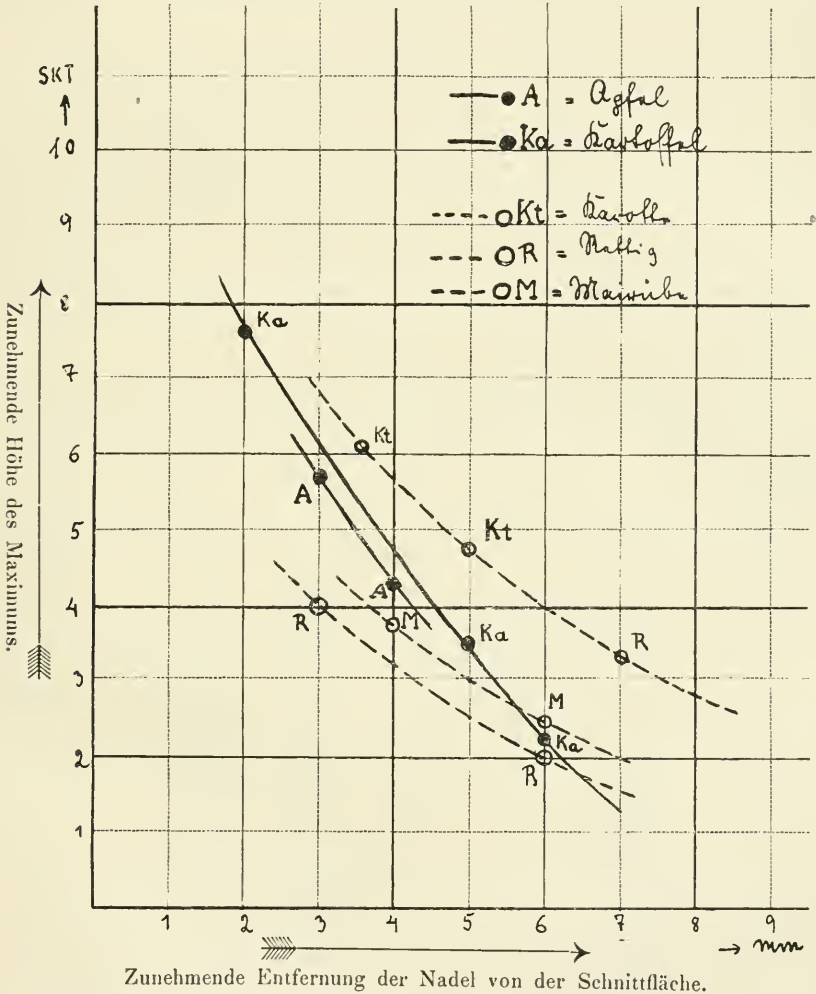
c) Theorie der Versuche über Höhe und Dauer der Wundwärme.

Ohne zunächst auf die Natur der Wundwärme einzugehen — das bildet ein später gesondert zu behandelndes Kapitel — ergeben die Versuche klare Beziehungen zwischen Verwundung und Kurvengang.

Es liegt in der Natur pathologischer Erscheinungen, daß mit der zunehmenden Größe verletzender Einwirkungen auf einen Organismus die Reaktion desselben wächst. Daß diese Erscheinung annähernd proportional mit der Verwundung zunimmt, wäre anzunehmen, und die Versuche beweisen in der Tat einen gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Verletzung und Reaktion. Die durch eine Verwundung hervorgerufene erhöhte Lebenstätigkeit wird selbstverständlich am größten in dem verletzten Zellenkomplex sein und von dort aus allmählich abnehmen. Darauf hat auch Richards in seiner Abhandlung hingewiesen, und da er bei der Kartoffel eine begrenzte Region für die Wundreizempfänglichkeit konstatierte, während er sie bei der Zwiebel über das ganze Objekt ausgebreitet fand, sind hier nähere Untersuchungen über die Grenze der Wundreizempfänglichkeit nicht ausgeführt. Auch ohne nähere Prüfung dieses Gegenstandes ist es

klar, daß verschiedenartige Objekte aus Gründen differenter histologischer Zusammensetzung verschieden auf Verletzungen reagieren. Diese Annahme wird durch die Versuche bewiesen.

Trägt man nämlich — wie in der folgenden graphischen Darstellung — als Abszissen die Entfernungen der Thermonadel von der



verletzten Fläche, als Ordinaten die zugehörigen Maxima auf, so ergeben sich für die verschiedenen Objekte schwach gekrümmte Kurven, die sämtlich eine mit der Entfernung von der Wunde gesetzmäßig abnehmende Empfindlichkeit für den Wundreiz darstellen. Die Grenze derselben ist für die verschiedenen Objekte verschieden. Sie wird bei Kartoffeln und Äpfeln eher erreicht als bei Karotten, Rettigen und Mairüben.

Die Erklärung dieser Erscheinung ist relativ einfach. Bei Kartoffeln und Äpfeln handelt es sich um ein parenchymatisches, mit wenig Interzellularräumen versehenes Gewebe, dessen Zellen mit Nähr- und Reservestoffen vollgepfropft sind. Diese bedingen, da es sich um schlechte Wärmeleiter handelt, eine lokale Anhäufung der Wundwärme, die sich in einem höheren Maximum und einer längeren Dauer zu erkennen gibt.

Bei Karotten, Mairüben und Rettigen dagegen, welche die Funktion einer Wurzel verrichten, sind die Zellen vorwiegend mit Zellsaft erfüllt. Es findet daher eine schnellere und weitere Ableitung der durch die Verletzung hervorgerufenen Wärme statt, da dieselbe durch Strömung der Flüssigkeit und durch Leitung (innere Strahlung) verbreitet wird. Das Maximum ist daher niedriger, die Empfindlichkeitsregion größer. Daß ferner die Reaktion auf Wunden mit der Größe derselben zunimmt, ist ohne weiteres klar und läßt sich ebenfalls graphisch durch gerade Linien darstellen, die vom Nullpunkt der Verletzung proportional mit dem Grade derselben ansteigen.

Die absolute Größe der Wundwärme ist sehr gering, aber sie erscheint nicht unnatürlich, wenn man bedenkt, daß alle nur möglichen Vorsichtsmaßregeln getroffen wurden, um störende Einflüsse zu vermeiden.

Aus der folgenden Tabelle sind die Werte am bequemsten ersichtlich:

Objekt	Maxim. in Sekt	0° C.
Kartoffeln (vorjähr.) . .	12,5	0,07 ⁰
= (vorjähr.) . .	7,7	0,04 ⁰
= (diesjähr.) . .	7,9	0,04 ⁰
=	3,5	0,02 ⁰
=	5,4	0,03 ⁰
Äpfel	10,0	0,06 ⁰
Äpfel	16,0	0,08 ⁰
Karotten	4,7	0,03 ⁰
Karotten	6,1	0,03 ⁰
Objekt	Maxim. in Sekt	0° C.
Rettig	6,0	0,03 ⁰
Rettig	6,7	0,04 ⁰
Rettig	5,5	0,03 ⁰
Mairübe	6,3	0,03 ⁰

Mittlere Höhe der Wundwärme 0.041° C.

Der absolute Betrag der Wundwärme schwankt zwischen $\frac{1}{12}$ und $\frac{1}{60}$ ° C. Er ist größer bei Apfel und Kartoffel als bei Rettigen, Karotten usw. Die Gründe für diese Erscheinung sind kurz vorher auseinandergesetzt worden.

Diesjährige Kartoffeln zeigen einen geringeren Temperaturanstieg als vorjährige, was wohl mit dem verschiedenen Ruhezustand beider zusammenhängen mag.

c) Vergleich beider Methoden.

Die so erlangten Resultate erfordern einen Vergleich mit denen, die Richards auf thermo-elektrischem Wege erhielt.

Übereinstimmend mit Richards fand Verfasser

1. die Tatsache, daß nach Verletzungen eine Temperaturerhöhung im verwundeten Objekt eintritt;

2. daß die Dauer derselben, welche bei verschiedenen Objekten variiert, sich auf mehrere Tage erstrecken kann.

Demgegenüber stehen aber verschiedene Differenzen, deren größte sich auf die maximale Erhebung der Kurve bezieht.

1. Richards findet den Eintritt des Maximums durchschnittlich 24 Stunden nach der Verletzung. Eine Ausnahme davon machen Zwiebeln und Gurken, deren Maxima schon nach 8 resp. 6 Stunden eintreten. In der vorliegenden Arbeit dagegen ist in sämtlichen Experimenten das Maximum stets $\frac{1}{4}$ bis $2\frac{1}{2}$ Stunden nach der Verwundung eingetreten, und es konnte in keinem Versuch um die Zeit des von Richards konstatierten Maximums auch nur die leiseste Tendenz zu einem erneuten Anstieg nachgewiesen werden.

Wie gegensätzlich die Beobachtungen in beiden Arbeiten hinsichtlich des Anfangs der Kurven sind, geht am besten daraus hervor, daß Richards unmittelbar nach dem Einstich der Nadel niemals eine Temperaturdifferenz zwischen dem verletzten und dem unverletzten Objekt feststellt, sondern erst nach zwei Stunden ein geringes Ansteigen bemerkt, zu einer Zeit, in welcher die Maxima der vorliegenden Arbeit bereits überschritten sind. Darauf wird später zurückzukommen sein.

2. Eine weitere Differenz beider Arbeiten bezieht sich auf die absolute Größe der Wundwärme.

Die maximalen Erhebungen bei Richards schwanken zwischen $0,14^{\circ}$ und $0,38^{\circ}$ bei einem Durchschnittswert von $0,26^{\circ}$ C. ($\frac{1}{4}^{\circ}$ C.), diejenigen der vorliegenden Versuche bewegen sich zwischen $0,02^{\circ}$ und $0,08^{\circ}$ bei einem Mittelwert von $0,04$ ($\frac{1}{25}^{\circ}$ C.).

Diese Abweichung von den Richardsschen Versuchen finden ihre Erklärung, wenn man die Methoden beider Arbeiten vergleicht. Richards gebraucht als Strommeßinstrument ein Nadelgalvanometer. Die Empfindlichkeit dieser Galvanometer gegen äußere magnetische und elektrische Felder (bewegte Eisenmassen, störende elektrische Ströme) ist speziell bei subtilen Messungen unliebsam bekannt. Die Einwirkung des erdmagnetischen Feldes in Form periodischer Ab-

lenkungen der Nadel nach Osten und Westen kann durch Beobachtung dieser Veränderungen aus den Ausschlägen eliminiert werden. Rodewald¹⁾, welcher mit einem derartigen Galvanometer äußerst präzise Messungen vornahm, gibt die große Reihe der zu beobachtenden Vorsichtsmaßregeln an. Richards, der diese Abhandlungen kannte, findet, daß bei seiner eigenen Arbeit „die äußerste Akkuratess von Rodewalds quantitativen Untersuchungen nicht so notwendig ist“ („the extreme accuracy of Rodewalds quantitative research was not so necessary“). Wenn man bedenkt, daß die Ausschläge bei Richards gegenüber denen von Rodewald nur klein sind, die Fehler bei kleinen Ausschlägen das wahre Resultat also bedeutend mehr verschleiern werden als bei großen, so wird man bezweifeln müssen, daß die Ausschläge fehlerfrei sind und in ihnen vielmehr nur eine Proportionalität mit der Wundwärme zu suchen haben.

Bei einem Drehspulgalvanometer dagegen, wie es in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, fallen sämtliche außerhalb der Versuchsanordnung liegende Fehlerquellen bei genügender Isolation gegen Temperaturveränderungen weg. Es erübrigt nunmehr, auf die möglichen Fehler innerhalb der Anordnung von Richards zurückzukommen. Die Verbindung der Drähte vom Galvanometer mit denen vom Thermolement ist bei Richards durch Klemmschrauben (!) (bindings-screws) hergestellt. Einmal können durch den Druck der Schrauben auf die Drähte Störungen hervorgerufen werden; ob zweitens die Isolation mit Kork allein gegen Temperaturveränderungen schützt, muß nach den Beobachtungen in dieser Arbeit in Zweifel gezogen werden.

Was die Bedingungen anbelangt, unter denen die Versuche ausgeführt werden, so hält Richards konstante Temperatur und Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit für notwendig und hinreichend. Erstere ist vollkommen erfüllt, über letztere aber nichts Näheres gesagt. Man muß annehmen, obwohl in der Arbeit selbst nichts darüber mitgeteilt ist, daß Richards die Versuchsobjekte unter einer Glasglocke oder ähnlichen Einrichtungen gehalten hat, um überhaupt in einem Raum mit dampfgesättigter Atmosphäre operieren zu können. Es ist bei der großen Schwierigkeit, einen abgeschlossenen Raum (z. B. die Glasglocke in vorliegender Arbeit) einwandfrei mit Wasserdampf zu sättigen, verwunderlich, daß Richards nirgends die Konstanz des Sättigungsgrades betont. Wenn er nämlich nach Schnittführung und Einstecken der Nadel die Glocke über die Anordnung deckt, so ist die Luft in derselben keinesfalls mit Wasserdampf gesättigt, da sie ja unmittelbar vorher mit der Luft des ganzen Raumes in Verbindung

¹⁾ Rodewald, Pringsh. Jahrbücher 87, 88, 89.

stand, vielmehr wird die Sättigung erst allmählich erfolgen. Mit dem genannten Momente beginnt Richards aber die für die Kurve geltende erste Beobachtung und behauptet dabei, daß unmittelbar nach Verletzung und Einführung der Nadel kein Ausschlag des Galvanometers erfolgt. (It was never found that there was any difference between the cut surfaces and the uninjured potatoe immediately after injury; it was not until the second observation was made usually some two hours after wounding! . . .) Dies ist bei der Empfindlichkeit der thermoelektrischen Methode absolut unverständlich, wenn man bedenkt, daß beim Schneiden und Einführen der Nadel die warmen Hände mit der ganzen Apparatur in Berührung kommen, daß der warme ausgeatmete Luftstrom des Experimentators die Anordnung notwendigerweise treffen muß, daß beim Schneiden mechanische Reibungswärme entsteht und daß vor allen Dingen das eingeführte Thermoelement sich bei der Durchdringung des Gewebes durch Reibung erwärmt. Den Beginn der Beobachtungen in eine Zeit zu verlegen, wo so viel irritierende Nebenwirkungen auftreten, kann der Darstellung reiner Wundwärmewirkung nur hinderlich sein. Das ist in vorliegender Arbeit dadurch gänzlich vermieden, daß zwischen Einführung der Nadel und Schnitt stets 15 bis 44 Stunden vergingen, um einen vollständigen Temperatúrausgleich herbeizuführen, und daß es möglich war, ohne im geringsten an der fix und fertig geschlossenen Anordnung etwas zu rühren, die Objekte unter der Glasglocke in bereits dampfgesättigter Atmosphäre zu schneiden. Nur auf diesem Wege kann man die Wirkung der Wundwärme isolieren.

Über den Einfluß des Lichtes auf die Experimente äußert sich Richards gar nicht. Wenn man auch annehmen kann, daß Inso-lation nicht stattgefunden hat, können doch nach den Erfahrungen über Wirkung künstlicher Belichtung in dieser Arbeit störende Einflüsse derselben in den Richardsschen Resultaten nicht von der Hand gewiesen werden.

Daß die Höhe der Richardsschen Werte für die Wundwärme das normale Maß bei weitem überschreitet, scheint aus folgendem Experiment (12a) hervorzugehen. Richards schneidet, preßt die Schnittflächen zusammen und bedeckt sie mit Ton (clay). Wie gewöhnlich stellt er unmittelbar nach der Verletzung keine Ablenkung der Galvanometernadel fest. Nach 24 Stunden entfernt er den Ton und macht dann Bestimmungen der vorhandenen Wundwärme. Diese fallen niedrig aus (0,07 bis 0,12), worin Richards die Folge einer zeitweise fehlenden Sauerstoffzufuhr sieht. Betrachtet man dagegen die Wundwärme als eine Reizerscheinung, die — wie später zu beweisen ist — bis zu einem gewissen Grade unabhängig von Sauerstoff ist, so kann man aus dem Versuch etwas anderes herauslesen.

Die in diesem Versuch bedeckten Schnittflächen sind nicht in dem Maße äußeren, den Gesamteffekt steigernden Einflüssen ausgesetzt, wie die „offen klaffenden“ (open gapes) Schnittflächen in allen anderen Experimenten. Daher ist die Temperatur niedriger, der reinen Wundwärme näher kommend, und der Schluß, daß die gemessene Temperatur in den anderen Experimenten zu hoch ist, erscheint gerechtfertigt.

Schließlich sei noch bemerkt, daß die Beobachtungen bei Richards (alle 3 bis 4 Stunden, nachts überhaupt nicht) in viel zu großen Pausen erfolgt sind, so daß ihm Einzelheiten der Erscheinung gänzlich verloren gehen mußten.

Aus alledem ist ersichtlich, daß man die unterscheidenden Momente beider Arbeiten auf die verschiedenen Arbeitsmethoden zurückzuführen hat. Beim Fortschritt der Hilfsmittel und von veränderten Gesichtspunkten aus dürfte in der vorliegenden Arbeit die präzisere Methode die korrektionsfähigen Fehler auf ein zurzeit nicht erkennbares Minimum herabgedrückt haben. Die Reduktion der absoluten Größe der Wundwärme erklärt sich leicht daraus.

Während es in den bis hier vorliegenden Untersuchungen darauf ankam, die Erscheinung der Wundwärme in ihren einzelnen Phasen zu beobachten, muß sich der nächste Abschnitt mit der Frage beschäftigen: Welcher Art sind die Vorgänge im pflanzlichen Organismus, die nach traumatischen Eingriffen ein Ansteigen der Temperatur im Zellverband hervorrufen?

B. II. Die Natur der Wundwärme.

a) Richards Erklärung als reine Atmungswärme anfechtbar, da auch seine Atmungsversuche nicht einwandfrei sind.

Richards hat zur Beantwortung dieser Frage so gut wie gar nichts getan. Am Schluß seiner Arbeit führt er in allgemein gehaltenen Sätzen aus, daß die beobachtete Erscheinung ein Wundfieber sei, das man auf erhöhte Lebenstätigkeit des geschädigten Organismus zurückführen müsse, ähnlich wie höhere Tiere auf Verwundungen reagieren. Wenn ein spezieller Grund für die Temperaturerhöhung gesucht werden solle, so ließe sich dieselbe lediglich als eine Folge erhöhter Atmung darstellen, da der Kurvenverlauf beider Erscheinungen (erhöhte Atmung und Temperaturerhöhung nach Verletzungen) große Ähnlichkeiten aufweise.

Dem muß gegenübergestellt werden, daß der Eintritt der Maxima in beiden Kurven nur für die Kartoffel annähernd koinzidiert; in allen anderen Fällen tritt das Atmungsmaximum erst bedeutend später ein (bei Zwiebeln z. B. Atmungsmaximum nach 72 Stunden, Wärmemaximum nach 24 Stunden). Auch in der Dauer unterscheiden sich beide Kurven, indem die Temperaturkurven kürzer als die Atmungskurven sind. Aus naheliegenden Gründen hat Verfasser die Arbeit von Richards aus dem Jahre 1896 (*The respiration of Wounded Plants*) genauer studiert und gefunden, daß sich in einzelnen Punkten gegen die experimentelle Anordnung Einwände erheben lassen. Es würde hier nicht näher auf eine kritische Betrachtung der Untersuchung eingegangen werden, wenn nicht die Verbindung derselben mit Fragen vorliegender Arbeit so innig wäre, und wenn nicht gerade aus neuerer Zeit eine Abhandlung über dasselbe Thema vorläge, welche die Frage der Atmungssteigerung nach Verletzungen durch Richards als nicht völlig gelöst ansieht.

N. A. Maximow¹⁾ betont in seinem Aufsatz: „Über den Einfluß der Verletzungen auf die Respirationsquotienten“, daß schon die Respirationsquotienten der unverletzten Organe bei Richards zu niedrig seien, und fährt an anderer Stelle fort: „Noch größere Zweifel werden aber in uns wach, wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf die geringen Mengen von CO₂ richten, mit denen Richards manipuliert hat.“ Maximow will die niedrigen Quotienten bei Richards darauf zurückführen, daß die Kartoffel wie alle fleischigen Organe befähigt ist, große Mengen von CO₂ anzusammeln und diese in einem abgeschlossenen Raum in der ersten Zeit zurückzuhalten. Verfolgt man aber aufmerksam die Versuchsmethode Richards, so kann man die niedrigen Werte leichter auf Fehlerquellen der Anordnung zurückführen.

Bekanntlich ist Wasser befähigt, bei ca. 20° C. (der von Richards benutzten Temperatur) 90% seines Eigengewichtes an CO₂ zu absorbieren. Ferner absorbiert Kautschuk nach den Arbeiten von E. Pflüger²⁾ außer anderen Gasen auch CO₂. Auf der anderen Seite kann Kautschuck aber auch durch Oxydationsvorgänge zur Bildung von CO₂ Veranlassung geben, besonders bei Berührung mit alkalischen Flüssigkeiten³⁾.

Bedenkt man nun, daß Richards bei seinen Untersuchungen die Objekte, sowohl geschnittene wie ungeschnittene, stets vor dem

1) Maximow, Ber. d. Deutschen Bot. Ges. 1903, S. 252—59.

2) E. Pflüger, Zeitschr. f. analyt. Chemie, S. 18, 302.

3) Literatur über diese Vorgänge bei Blochmann, Über den CO₂gehalt der atmosphärischen Luft. Ann. d. Chemie 237. Bd.

einzelnen Experiment gewaschen und „nur oberflächlich“ (only somewhat) getrocknet hat, und daß „die Versuchspflanzen während des Experimentes reichlich mit Feuchtigkeit versorgt wurden, ohne daß eine „beträchtliche Menge“ von Wasser in dem Behälter zurückblieb, so ist es nicht zu bezweifeln, daß ein Teil der geringen Menge von CO_2 , um die es sich ja handelt (mg!), von dem vorhandenen Wasser absorbiert und für die Analyse verloren gegangen ist. Ferner ist der Behälter (receiver of plants) bei Richards mit einem Kautschukstopfen verschlossen und besitzt im Innern zwecks Mischung der Luft einen ausdehnbaren Kautschukballon. Nach den obigen Ausführungen kann diese Verschlussart nicht dazu dienen, fehlerfreie Resultate zu erzielen.

Es kam im Vorstehenden wesentlich darauf an, zu zeigen, daß die Resultate über Atmungssteigerung nach Verletzungen bei den verschiedenen Autoren (Boehm 1887, Stieh 1891, Richards 1896, Smirnoff 1903, Maximow 1903) viel Divergierendes enthalten, und daß die Richardssehen Beobachtungen keineswegs einwandfrei sind. Daher hat auch sein Bestreben, die Temperaturerhöhung nach Verletzung nur auf erhöhte Atmung zurückzuführen, wenig für sich.

b) Versuche mit abgetöteten Objekten in dampfgesättigter Luft und Kohlensäure.

Nachdem in der vorliegenden Arbeit die Versuche mit lebenden Objekten untereinander übereinstimmende und befriedigende Resultate ergeben hatten, wurden in den nunmehr folgenden Experimenten zu Vergleichszwecken tote Organe benutzt.

Das Abtöten der verwendeten Objekte (Kartoffel, Apfel, Karotte, Rettig, Mairübe) geschah auf dreierlei Weise, durch Hitze, Kälte und Chloroform. Im ersten Fall wurden die Objekte entweder im Thermostat bei $+120^\circ$ oder in Wasser von $+90^\circ$ ein bis anderthalb Stunden gelassen, im zweiten Fall wurden sie 12 bis 18 Stunden einer durch Kältemischung erzeugten Temperatur von -15° bis -18° ausgesetzt und im dritten Fall 36 bis 54 Stunden durch ca. 50 cm^3 Chloroform getötet, wobei zum erleichterten Eindringen der Chloroformdämpfe in das Gewebe ein Stück der Epidermis weggenommen war. Im übrigen wurden die Objekte in gleicher Weise wie die lebenden behandelt, und es mag hervorgehoben werden, daß die Anordnung mit toten Organen ebenfalls 14 bis 20 Stunden vor der Verletzung zum völligen Temperatúrausgleich fertig geschlossen stand.

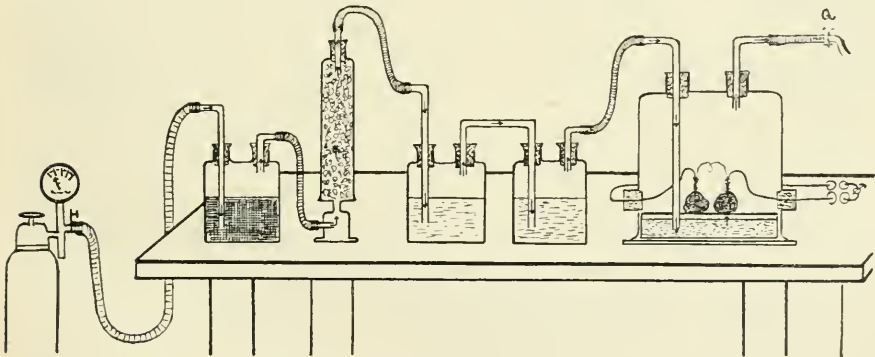
Man erwartete von diesen Experimenten gar keine oder nur im Anfang eine sehr kurze Reaktion auf die Verletzung, und es war daher umso überraschender, daß sich Kurven zwischen drei und achtstündiger Dauer ergaben. Da es einerseits feststand, daß diese Organe

getötet, d. h. sämtlicher Funktionen, die an lebendes Gewebe geknüpft sind, beraubt waren und es andererseits ausgeschlossen war, daß diese langen Kurven etwa aus rein mechanischer Reibungs- oder Druckwärme während des Schneidens herrühren konnten, wurden die Versuche mit abgetötetem Material weiter fortgesetzt. Um die Abhängigkeit dieser „toten Kurven“ (so mögen sie der Kürze halber gegenüber den Kurven der lebenden Objekte genannt werden) von vorhandenem Sauerstoff zu untersuchen, stellte man dieselben Versuche in sauerstofffreier Atmosphäre an und wählte zu diesem Zwecke reine Kohlensäure. Von einer Wasserstoffatmosphäre wurde wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit dieses Gases Abstand genommen.

Die Versuchsanordnung für eine CO_2 -Atmosphäre war folgende:

Die Kohlensäure aus der Bombe ging, um sie genügend mit Feuchtigkeit zu beladen, zuerst durch eine Wolfsche Flasche mit Kaliumpermanganat, darauf durch einen feuchten Bimssteinturm zu zwei weiteren Wolfschen Flaschen mit Wasser und aus diesem durch den Tubus I der Versuchsglasglocke hinunter in das Wasser der Schale S, von wo aus die CO_2 das Glockeninnere ausfüllte.

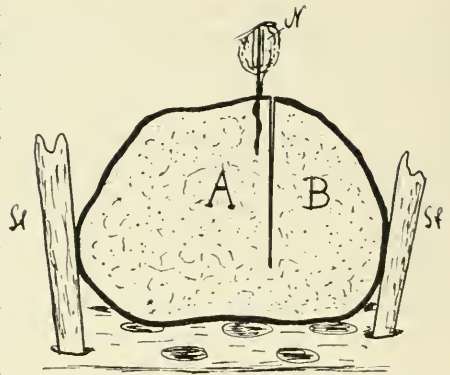
Bei den Experimenten selbst wurde zuerst die Glocke mit den Versuchsobjekten in derselben Weise hergerichtet wie in den lebenden



Versuchen. Darauf wurde durch den Tubus I ein langes Glasrohr eingeführt, das durch ein Loch in der Platte P ins Wasser der Schale S führte. Nachdem der Schlauch über das Rohr gezogen war, wurde 3—4 Stunden lang ein Kohlensäurestrom unter 1—2 Atmosphären Druck hindurchgetrieben. Durch Paraffinieren aller Stellen, an denen CO_2 hätte entweichen können, war für eine genügende Abdichtung gesorgt. Danach wurde der Quetschhahn Q geschlossen und die ganze Versuchsanordnung bis zum anderen Morgen stehen gelassen.

Aus den ersten Versuchen erwies sich durch Auftreten von Verdunstungskälte an der Schnittoberfläche, daß die Feuchtigkeit der Kohlensäure nicht den gewünschten Grad besaß (Versuch No. 37). Dem

konnte nur dadurch abgeholfen werden, daß man die durch Verletzung hervorgerufene Schnittfläche nicht mit der CO_2 -Atmosphäre in direkte Berührung brachte. Das geschah dadurch (s. nebenstehende Figur), daß der verletzende Schnitt nur zu $\frac{3}{4}$ in das Objekt hineingeführt und das Messer dann herausgezogen wurde. So legten sich dann die Teile A und B des Objektes



unter dem Druck der stützenden Stäbchen St zusammen, und die Schnittflächen waren vor Verdunstung geschützt. Der Effekt blieb derselbe. Das geht aus dem Vergleich mit den Kurven der toten Objekte in wasserdampfgesättigter Atmosphäre hervor, wo stets ein Stück des Objektes glatt abgeschnitten wurde (vgl. die Kurven im Anhang).

Es wurden mit toten Objekten im ganzen 14 Versuche ausgeführt, von denen jedoch vier nicht verwertet werden konnten. Bei zwei Versuchen in feuchter Luft waren Säuregärungen aufgetreten, was sich durch den hohen Stand des Galvanometers (36 Skt) und durch intensiv sauren Geruch bemerkbar machte; das lag daran, daß die betreffenden Organe nach der Abtötung 2—3 Tage gelegen hatten. Daher wurde bei den nächsten Versuchen darauf gesehen, daß die Objekte sofort benutzt wurden. Zwei weitere Versuche unter Kohlensäure mußten wegen der schon besprochenen Verdunstungskälte ausgeschlossen werden. Auf die Tatsache, daß auch in diesen Experimenten vor dem Schneiden keine Nullage, sondern eine von Fall zu Fall variierende konstante Ruhelage eintrat, wird bei der Theorie der Erscheinungen zurückgekommen werden.

Über die erhaltenen Resultate mit toten Objekten mag die folgende Tabelle eine Übersicht geben. (Alles Nähere siehe aus den Protokollen im Anhang.)

a) Versuche in wasserdampfgesättigter Atmosphäre.

Ver- suchs- No.	Tote Objekte	Art der Abtötung	Höhe d. Max.	Dauer der Kurve	Absolute Größe der Wärme
34.	Kartoffel	+ 90°	3,7	nach 5 Std. abgebr.	0,02
29.	Kartoffel	— 18°	2,4	3 Std.	0,01
28.	Mairübe	+ 120°	4,0	6 Std. 30 Min.	0,02
30.	Kartoffel	Chloroform	8,9	4½ Std.	0,05
32.	Kartoffel	Chloroform	4,0	7 Std.	0,02

b) Versuch in feuchter Kohlensäure.

Ver- suchs- No.	Tote Objekte	Art der Abtötung	Höhe d. Max.	Dauer der Kurve	Absolute Größe der Wärme
38.	Kartoffel	+ 90°	6,3	8 Std. 10 Min.	0,04
37.	Kartoffel	Chloroform	3,0	nicht beobachtet, da Demonstr. vers. f. Ver- dunstungskälte in CO ₂	0,02
40.	Kartoffel	— 15°	3,7	7 Std.	0,02
41.	Apfel	Chloroform	4,0	nach 5½ Std. abgebr.	0,02
42.	Karotten	+ 90°	5,0	4 Std.	0,03

Vergleicht man die „toten“ Kurven mit den „lebenden“, so ergibt sich folgendes:

Im Prinzip unterscheiden sich beide Kurvengänge nicht; denn bald nach der Verletzung tritt in beiden Fällen das Maximum auf, von dem ein bald schnellerer, bald langsamerer Abfall bis zur Nulllage erfolgt. In den Einzelheiten treten Abweichungen auf. Die „lebenden“ Kurven haben ein durchschnittlich zweimal so hohes Maximum und eine sechs bis zehnmal so lange Dauer wie die „toten“ Kurven. Das deutet zunächst darauf hin, daß man in der Wundwärme (lebender Organe) nicht eine einzelne, gesteigerte, wärme-producinge Funktion zu sehen hat, sondern einen Erscheinungskomplex, dessen einzelne Glieder, jedes für sich, zum Zustandekommen des resultierenden Effektes beitragen.

c) Theorie dieser Versuche.

Um den vorhandenen Tatsachen eine genügende theoretische Erklärung geben zu können, ist es nötig, Arbeiten aus der neuesten Zeit zu berücksichtigen, welche sich mit posttraumatischen und postmortalen Vorgängen im Stoffwechselgebiete befassen.

Auf Grund der Pfefferschen¹⁾ Annahme, daß man normale und intramolekulare Atmung auf einheitliche primäre Ursachen zurückführen muß, liegt nach Jost²⁾ die Möglichkeit vor, in der Atmung zwei Prozesse zu sehen, die nicht notwendig miteinander verknüpft zu sein brauchen: Spaltung und Oxydation. Danach müßte bei der Atmung zunächst unabhängig von Sauerstoff eine Zerspaltung organischer Substanz einsetzen, die Kohlensäure und einen weiteroxydablen Körper liefert. Dieser letztere würde dann bei Gegenwart von Sauerstoff oxydiert werden. Diese Auffassung wird durch zahlreiche neuere Arbeiten über das Auftreten von Enzymen bei der Atmung gestützt,

¹⁾ Pfeffer, Unters. Tübingen 1885. I, 636.

²⁾ Jost, Pflanzenphysiologie. 1908. 236.

Arbeiten, welche nachweisen wollen, daß der in Rede stehende Lebensprozeß nicht an das Protoplasma unmittelbar, sondern an aus diesem gebildete Enzyme geknüpft ist.

Infolge von Verletzungen tritt nun nachgewiesenermaßen eine gesteigerte CO_2 -Abgabe ein. Palladin¹⁾ unterscheidet in seiner Arbeit „Über den verschiedenen Ursprung der während der Atmung der Pflanzen ausgeschiedenen Kohlensäure“, drei Arten produzierter CO_2 :

1. Nucleokohlensäure, d. h. CO_2 , welche zum Teil durch im Preßsaft unlösliche, mit dem Protoplasma verbundene Enzyme hervorgerufen wird;

2. Reizkohlensäure, d. h. CO_2 , die scheinbar unmittelbar unter der Reizwirkung vom Plasma gebildet wird, und

3. Oxydasekohlensäure, durch Oxydase oder Katalase hervorgerufen.

Die Menge der erstgenannten Kohlensäure hängt von der Menge der Nucleoproteide ab. Diese letzteren nehmen aber nach Kovchoff²⁾ infolge traumatischer Eingriffe stark zu auf Grund einer gesteigerten enzymatischen Tätigkeit.

Das liefert zunächst den Beweis, daß Verletzungen stimulierend auf die Tätigkeit der Enzyme einwirken. Es braucht nicht weiter hervorgehoben zu werden, daß Hand in Hand damit eine, wenn auch nur geringe, Steigerung der Temperatur einhergehen wird. Daß bei diesen Prozessen Enzyme eine Hauptrolle spielen, die unabhängig von lebendem Protoplasma auf Bildung von CO_2 aus organischer Substanz hinarbeiten, ist von T. Krasnosselsky³⁾ nachgewiesen. Sie fand einmal, daß mit der Verletzung die Bildung von Atmungs-enzymen wuchs, zweitens, daß erfrorene, also abgetötete Zwiebeln, auf Grund enzymatischer Wirkung mindestens ebensoviel CO_2 produzierten, wie lebende, und drittens, daß diese postmortale Tätigkeit in sauerstofffreier Atmosphäre, nämlich in Wasserstoff, unverringert fort dauerte.

Zu im Prinzip identischen Resultaten ist auch Grafe⁴⁾ in seiner Abhandlung „Studien über Atmung und tote Oxydation“ gekommen. Bei seinen Versuchen mit Eupatoriumblättern in frischem und abgetötetem ($+110^\circ$, -16° , Aceton-Äther) Zustand fand er, daß sich in der Zelle auch nach dem Aufhören der plasmatischen Atmungs-tätigkeit Oxydationsvorgänge abspielten, die von Wiesner als „tote Oxydation“ bezeichnet wurden.

¹⁾ Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. XXIII. 1905. S. 240 ff.

²⁾ Kovchoff, Revue gén. de Botanique S. 459. Ber. d. Deutsch. Ges. XXI 1903. S. 165.

³⁾ T. Krasnosselsky, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. XXIII. 1905. S. 142.

⁴⁾ Grafe, Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien 1905. S. 183 ff.

Alle diese Punkte müssen berücksichtigt werden, um die im zweiten Teil dieser Arbeit erhaltenen Resultate zu rechtfertigen. Die Ergebnisse der Krasnosselskyschen Arbeit und die „toten Kurven“ bestätigen einander. Es kann nunmehr keinem Zweifel unterliegen, daß die „toten Kurven“ diejenige Wärmeproduktion darstellen, welche unter dem Einfluß der Verletzungen einer gesteigerten enzymatischen Tätigkeit zuzuschreiben ist. An dieser Stelle mag auch gesagt werden, daß es nicht weiter wunderbar erscheint, wenn die toten Organe bei den Versuchen vor dem Schneiden keine Nulllage, sondern eine konstante Ruhelage aufwiesen; die hohe Empfindlichkeit der Thermonadel zeigt eben einen individuellen variierenden Zustand der toten Oxydation an, die dann unter der Einwirkung der Verletzung gesteigert wird.

Zusammenfassend kann über die Natur der Wundwärme demnach folgendes gesagt werden:

Aus dem Vergleich der lebenden mit den toten Kurven ergibt sich, daß die nach Verletzungen auftretende Wärmeproduktion mindestens zwei, wenn nicht mehr Quellen entspringt. Einmal wird durch den traumatischen Reiz das Protoplasma in einen Zustand höherer Lebenstätigkeit versetzt. Dadurch wird die Enzyymbildung eine beschleunigte, ihre Wirkung eine vergrößerte. Im unmittelbaren Gefolge davon wird eine Temperatursteigerung in dem die Wunde umgebenden Zellkomplex entstehen. Zweitens wird durch den traumatischen Eingriff der Prozeß der auf nicht enzymatischem Wege vor sich gehenden CO_2 -Abspaltung eine Steigerung erfahren, mit der ebenfalls eine Temperaturerhöhung Hand in Hand geht. Drittens dürfte man eine praktisch nicht isolierbare Quelle, wenigstens anfänglich, in der Wärme zu suchen haben, die unmittelbar bei der Verletzung durch Reibung und Druck der einzelnen Zellen aneinander entsteht. (Siehe besonders Versuch XX im Anfang.) Ferner kann man nicht von der Hand weisen, daß bei der Energie rein stofflicher Umsetzungen und Neubildungen (Zerfall?) die nach Verletzungen stattfinden, ebenfalls Wärme frei werden kann. Die Richardssche Erklärung der Wundwärme kann demnach nicht mehr aufrecht erhalten werden.

Die Größe und Länge der lebenden Kurven gegenüber den toten geht klarerweise daraus hervor, daß, wie schon vorhin erwähnt, im lebenden Objekt die Tätigkeit der Enzyme eine bedeutend größere und intensivere ist, als im toten, und daß dem lebenden Objekt allein, wie die Fähigkeit der fortgesetzten Enzyymbildung, so auch diejenige einer CO_2 -Produktion auf nicht enzymatischen Wege gegeben ist.

C. Die Ergebnisse der Arbeit sind folgende:

1. Im Pflanzengewebe tritt nach Verletzungen ein Temperaturanstieg ein.
2. Diese Temperaturerhöhung, die mit der Größe der Verwundung zunimmt, ist unmittelbar an der Wunde am größten und fällt mit der Entfernung von der Wunde ab.
3. Die Dauer der Erscheinung schwankt zwischen $\frac{1}{2}$ und 3 Tagen; ihr absoluter Wert zwischen $0,02$ und $0,08^{\circ}$ bei einem Mittelwert von $0,04^{\circ}$ ($\frac{1}{25}^{\circ}$ C.).
4. Das Maximum der Wundwärme tritt durchschnittlich eine Stunde nach der Verletzung ein (extreme Werte: 15 Minuten, 3 Stunden).
5. Die Einzelheiten der Erscheinung der Wundwärme variieren typisch bei den verschiedenen Klassen der Versuchsobjekte.
6. Die nach Verletzungen produzierte Wärme ist nicht einheitlicher, sondern zusammengesetzter Natur.
7. und 8. Mehr außerhalb der Arbeit stehend wurde gefunden, daß zwei lebende Objekte gleicher Art unter absolut gleichen Bedingungen **nicht** gleiche Temperaturen annehmen, sondern daß sich individuelle Abweichungen zeigen. Hälften ein und desselben Objektes nehmen dagegen stets dieselbe Temperatur an (s. Tabelle Seite 70).

D. Anhang. Protokolle, 2 Kurventafeln.

Es folgen die Protokolle der in der Arbeit als beweiskräftig angesehenen Experimente. Alle anderen, bei denen es sich, wie aus dem Text hervorgeht, um Versuche orientierender Natur handelt, sind nicht aufgeführt. Bei den Protokollen der Versuche, die sich über mehrere Tage erstrecken, sind wegen des großen Zahlenmaterials die Beobachtungen, welche sich auf den konstant abfallenden Teil der Kurve beziehen, nicht sämtlich wiedergegeben worden, wenn z. B. sechs halbstündige Ablesungen hintereinander dieselbe Zahl ergeben. Es steht dann die betreffende Ablesung nur ein einziges Mal im Protokoll. Dasselbe bezieht sich auf die Kurvenpunkte.

Versuch No. 6.**Objekt: Karotte.**Datum: 6. 7. 8. 9. April Angesetzt: 4. April 6^h p. m.

Dauer: 50 Stunden Ruhelage: —5,8

Schnitt: 6. April 2⁴⁵ p. m.

Entfernung der Nadel von der Schnittfläche: 5 mm

Tiefe des Einstichs: 10 mm

Verwundung: mittelgroß

Bemerkungen: Verkorkung beginnt.

Temperatur im Glockeninnern	10,30 ⁰	10,00 ⁰	10,18 ⁰	9,71 ⁰	9,50 ⁰	9,50 ⁰
Zimmer- temperatur	11,0 ⁰	10,6 ⁰	10,8 ⁰	10,4 ⁰	10,4 ⁰	10,2 ⁰
Ablesung	Schnitt	7. Apr. 1,45 a. m.	7. 6,15 a. m.	7. 12,45 p. m.	8. 1,30 a. m.	8. 9,45 p. m.

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Skt	Zeit	Skt	Zeit	Skt
6. 2,55	4,3	7. a. m.		8. a. m.	
3,05	4,5	12,15	3,9	12,45	2,8
15	4,0	45	3,9	1,45	2,8
35	4,0	1,45	3,9	2,45	2,7
55	4,1	2,45	3,8	8,45	2,5
4,15	4,3	3,45	3,8	9,45	2,4
35	4,5	4,45	3,8	11,45	2,5
55	4,5	5,45	3,7	2,45	2,3
5,55	4,6	6,15	3,6	4,45	1,8
7,55	4,5	7,—	3,5		
8,55	4,2	8,—	3,6		
9,15	4,2	10,—	3,6		
55	4,2	11,—	3,7		
10,15	4,1	p. m.			
11,15	4,1	12,45	3,6		
45	4,0	1,45	3,5		
		2,45	3,5		
		3,15	3,5		
		3,45	3,4		
		4,15	3,2		
		4,45	3,0		
		5,45	3,2		
		7,45	3,2		
		9,45	3,2		
		10,45	3,1		
		11,45	3,0		

Abbruch des
Versuchs.

Versuch No. 9.**Objekt: Zwei Hälften einer diesjährigen Maltkartoffel.**

Datum: 25. 26. 27. April Angesetzt: 25. April 6 Uhr p. m.

Dauer: 13 Stunden Ruhelage: $\pm 0!$ Schnitt: 26. April 3,30^h p. m.

Entfernung der Nadel von der Schnittfläche: 5,5 mm

Tiefe des Einstichs: 9 mm

Verwundung: mittel bis groß.

Temperatur im Glockeninnern	14,95 ^o	14,89 ^o	14,90 ^o
Zimmer- temperatur	15,5 ^o	15,5 ^o	15,5 ^o
Ablesung	Schnitt	26. 9 ¹ / ₂ p. m.	27. 4 ^h a. m.

Markierte Kurvenpunkte.

	Zeit	Skt	Zeit	Skt	
26.	3,35	1	8,40	4,0	
	40	2,5	9,10	3,9	
	45	3,9	30	3,4	
	50	4,9	50	3,3	
	56	5,8	10,30	3,2	
	4,—	6,2	11,—	2,9	
	10	6,0	30	2,6	
	20	6,2	12,—	2,2	
	30	7,0			
	40	7,6	27.	30	2,0
	50	7,9		1,—	1,7
	5,—	7,9		30	1,4
	20	7,8		2,—	1,2
	40	7,1		30	1,0
50	6,8	3,—		0,8	
6,—	6,5	30		0,4	
10	6,2	4,—		0,2	
20	5,9	30		0,0	
30	5,7				
50	5,4				
7,—	5,2				
20	4,8				
30	4,7				
50	4,5				
8,—	4,3				
20	4,1				

Versuch 13 und 15¹⁾.**Objekt: Diesjährige und vorjährige Kartoffel.**

No. 13.	No. 15.
Datum: 4. 5. Mai	9. 10. Mai
Dauer: 3 Stunden	4 $\frac{1}{2}$ Stunden
Angesetzt: 4. Mai abends	8. Mai 3.30 ^h p. m.
Ruhelage: — 0,3	+ 1,3
Schnitt: 5. 3,25 ^h p. m.	9. Mai 9,15 ^h u. 10,45 ^h
Entfernung der Nadel: 5 mm	6 mm u. 2 mm
Tiefe des Einstichs: 7 mm	10 mm
Verwundung: mittel bis klein.	groß.

	No. 13.	No. 15.	
Temperatur im Glockeninnern	14,32 ^o	15,35 ^o	15,40 ^o
Zimmer-temperatur	15,0 ^o	16,0 ^o	16,0 ^o
Ablesung	Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt

Markierte Kurvenpunkte.

No. 13.		No. 15.		No. 15.	
Zeit	Skt	Zeit	Skt	Zeit	Skt
3,25	—	9,15	—	11,30	7,0
26	2,0	16	2,0	40	6,4
30	1,9	20	1,8	55	5,5
35	2,1	25	2,0	12,05	5,1
40	2,6	30	2,1	20	4,5
45	2,8	37	2,2	45	4,0
50	3,0	45	2,3	1,—	4,0
55	3,2	55	2,3	15	3,9
4,—	3,3	10,15	2,1	30	3,9
10	3,5	30	2,0	45	3,9
25	3,5	45	2,0		
40	3,5	2. Schnitt			abgebrochen.
55	3,3	10,46	6,5		
5,10	3,2	50	5,0		
45	3,1	55	5,6		
6,20	3,0	11,—	6,5		
7,—	3,0	5	7,1		
abgebrochen		10	7,5		
		15	7,7		
		20	7,5		
		25	7,2		

¹⁾ Versuch 14 siehe folgendes Protokoll.

Versuch No. 14.

Objekt: Zwei Hälften eines diesjährigen australischen Apfels.

Datum: 6. 7. 8. Mai Angesetzt: 5. Mai 7,30^h p. m.Dauer: 47 1/2 Stunden Ruhelage: $\pm 0!$ Schnitt: 6. Mai 9,20^h a. m.

Entfernung der Nadel: 3 mm u. 4 mm

Tiefe d. Einstichs: 9 mm

Verwundung: groß.

Temperatur im Glockeninnern	14,75 ⁰	14,79 ⁰	14,95 ⁰	14,95 ⁰	14,90 ⁰
Zimmer-temperatur	15,4 ⁰	15,4 ⁰	15,4 ⁰	15,4 ⁰	15,4 ⁰
Ableseung	Schnitt	6. 2,30 ^h p. m.	6. 8,50 ^h p. m.	7. 9,10 ^h a. m.	8. 8,50 ^h a. m.

Markierte Kurvenpunkte.

	Zeit	Skt	Zeit	Skt
6.	9,20	—	2,—	4,0
	21	5,2	20	4,0
	25	6,0	40	4,0
	30	8,5	3,—	4,0
	35	9,7	30	4,1
	40	10,0	4,—	4,0
	45	9,9	50	3,8
	50	9,5	5,50	3,7
	55	9,0	6,20	3,8
	10,—	8,5	50	3,8
	10	7,7	7,50	3,8
	20	6,8	8,50	3,9
	30	6,3		
	40	5,8		
11,—	50	5,5	a. m. 8,20	2,0
	20	5,2	p. m. 2,50	1,8
	40	5,0	p. m. 8,35	2,0
12,—	40	4,7		
	20	4,4		
	40	4,2		
	20	4,2	a. m. 8,35	± 0
1,—	4,2			

Versuch No. 20 und No. 21.**Objekt: In beiden Versuchen junge diesjährige Rettige.**

No. 20.		No. 21.	
Datum: 27. Mai		29. Mai	
Dauer: 5 ¹ / ₂ Stunden		11 ³ / ₄ Stunden	
Angesetzt: 26. Mai mittags		27. Mai 3 ^h p. m.	
Ruhelage: — 6,6		— 3,6	
Schnitt: 27. Mai 9 ^h a. m.		29. Mai 9 ^h a. m.	
Entfernung der Nadel: 3 mm u. 6 mm		je 7 mm	
Tiefe des Einstichs: 8 mm		10 mm	
Verwundung: mittelgroß		mittel	

	No. 20.	No. 21.	
Temperatur im Glockeninnern	15,4 ^o	16,3 ^o	16,6 ^o
Zimmer-temperatur	15,7 ^o	17,0 ^o	17,3 ^o
Ablesung	Schnitt	29. Schnitt	29. 8 ^h p. m.

Markierte Kurvenpunkte.

No. 20.		No. 21.	
Zeit	Skt	Zeit	Skt
9,—	—	9,—	—
1	6,0	1	2,5
5	2,3	2	1,8
10	2,2	5	3,2
15	2,6	10	5,6
20	2,8	15	6,7
30	3,2	20	6,5
40	3,7	25	6,2
50	3,8	35	5,7
10,—	3,8	40	4,6
2. Schnitt		50	3,8
10,05	3,9	10,—	3,0
10	4,5	10	2,4
15	5,1	30	1,7
25	5,5	50	1,3
30	5,4	11,—	1,2
40	5,2	30	1,1
11,—	4,2	1,30	1,1
15	3,8	2,30	1,1
30	3,3	3,30	1,1
12,—	3,1	5,35	0,7
2,20	1,9	7,05	0,1
abgebrochen		8,45	0,0

Versuch No. 23.**Objekt: Australische Äpfel.**Datum: 5. Juni Angesetzt: 3. Juni 3^h p. m.

Dauer: 4 Stunden Ruhelage: — 3,8

Schnitt: 9,30^h a. m.

Entfernung der Nadel: 3 mm u. 4, 5 mm

Tiefe des Einstichs: 10 mm

Verwundung: recht groß.

Temperatur im Glockeninnern: 18,0^oZimmertemperatur: 18,2^o.**Markierte Kurvenpunkte.**

Zeit	Skt
9,30	—
31	1,5
33	2,0
35	5,2
40	11,1
45	14,5
50	15,7
55	16,0
10,—	15,8
10	14,5
20	13,0
30	11,8
45	10,3
11,—	9,5
15	8,8
30	8,3
12,—	7,4
30	7,0
1,—	6,9
30	6,9

abgebrochen.

Versuch No. 24.

Objekt: Mairüben (*Brassica rapa*).

Datum: 7. 8. Juni Angesetzt: 6. Juni 10^{1/2}^h a. m.
Dauer: 26 Stunden 40 Minuten Ruhelage: — 2,0
Schnitt: 7. Juni 2,20^h p. m.

Entfernung der Nadel: 4 mm und 6 mm
Tiefe des Einstichs: 12 mm
Verwundung: recht groß

Temperatur im Glockeninnern	19,1 ^o	19,25 ^o	19,25 ^o
Zimmer-temperatur	20,0 ^o	20,0 ^o	20,0 ^o
Ablesung	Schnitt	8. 9 ^h a. m.	8. 5 ^h p. m.

Markierte Kurvenpunkte.

	Zeit	Skt
7.	2,20	—
	25	4,0
	30	5,2
	35	6,0
	40	6,3
	45	6,3
	50	6,2
	3,—	5,9
	10	5,2
	20	4,3
	30	3,8
	40	3,2
	50	2,7
	4,—	2,2
	10	1,9
	6,15	1,6
	7,—	2,0
8.	a. m. 8,20	3,0
	11,20	2,3
	12,20	1,9
	2,20	1,1
	5,—	0,0

Versuch No. 25.**Objekt: Vorjährige Kartoffel.**

Datum: 9. 10. 11. Juni Angesetzt: 8 Juni abends

Dauer: 47 Stunden Ruhelage: + 1,8

Schnitt: 9. Juni 9,45^h a. m.

Entfernung der Nadel: 1 mm (?)

Tiefe des Einstichs: 10 mm

Verwundung: groß.

Temperatur im Glockeninnern	11,4 ^o	11,4 ^o	11,5 ^o	11,4 ^o	11,4 ^o
Zimmer- temperatur	12,0 ^o	12,2 ^o	12,1 ^o	12,1 ^o	12,1 ^o
Ableseung	Schnitt	9. 5 ^{1/2} p. m.	10. 8,30 ^h a. m.	10. 5 ^h p. m.	11. 8,45 ^h a. m.

Markierte Kurvenpunkte.

	Zeit	Skt		Zeit	Skt
9.	9,45	—	10.	a. m. 7,—	3,6
	50	4,0		9,—	3,2
	10,—	6,9		12,—	3,0
	5	6,7		p. m. 6,—	2,0
	10	7,0		9,15	1,2
	15	7,6			
	20	8,4		11.	
	25	10,4		a. m.	
	40	11,9		8,10	0,2
	45	12,5		8,45	0,0
	50	12,5			
	11,—	12,3			
	30	10,6			
12,—	9,0				
30	7,6				
1,—	6,7				
3,—	6,0				
4,—	5,9				
5,—	5,8				
6,—	5,6				
8,45	5,0				
10,—	4,8				

Versuch No. 26.**Objekt: Junge diesjährige Karotten.**

Datum: 26. 27. Juni Angesetzt: 24. Juni abends
 Dauer: 36 Stunden 20 Minuten Ruhelage: + 2,7
 Schnitt: 26. Juni 9,10^h a. m.

Entfernung der Nadel: 2,5 mm und 3,5 mm
 Tiefe des Einstichs: 10 mm
 Verwundung: klein bis mittel

Temperatur im Glockeninnern	19,82 ⁰	20,45 ⁰	20,50 ⁰
Zimmer-temperatur	20,5 ⁰	20,9 ⁰	21,3 ⁰
Ablesung	Schnitt	27. früh	27. 9,30 ^h p. m.

Markierte Kurvenpunkte.

	Zeit	Skt
26.	9,10	—
	11	2,0
	15	3,7
	20	5,7
	25	6,1 ^a
	30	5,5
	35	4,6
	40	3,9
	10,10	3,8
	11,10	3,7
	12,10	3,5
	2,30	3,0
	6,30	3,2
	27.	a. m.
8,35		2,2
p. m.		
2,30		1,4
6,30		1,1
9,30		1,0
	abgebrochen	

Versuch No. 27.

Kontrollversuch an Kartoffeln.

Die Objekte liegen ohne die schützende Glasglocke auf der Platte P an freier Luft.

Datum: 13. Juni

Dauer: 35 Minuten

Ruhelage: schwankt langsam zwischen $+ 2,2$ und $- 3$. Beim Durchgang durch 0 wird

Schnitt: um 4^h p. m geschnitten.

Zimmertemperatur: 20,5^o.

Entfernung der Nadel: je 3,5 mm

Tiefe des Einstichs: 11 mm

Verwundung: groß.

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Skt	Zeit	Skt
4,—	0	4,13	$\overline{+}$ 0

1. Schnitt

4,01	— 6,0
2	$\overline{+}$ 0,0
3	$\overline{+}$ 3,0
4	$\overline{+}$ 9,0
5	$\overline{+}$ 14,0

Schnittflächen mit Watte abgewischt

6	— 1,0
7	— 2,0
7,5	$\overline{+}$ 0,0
8	$\overline{+}$ 4,0
9	$\overline{+}$ 10,0
10	$\overline{+}$ 14,0

Schnittflächen wieder mit Watte abgewischt

11	$\overline{+}$ 7,0
12	— 1,4
13	$\overline{+}$ 0

2. Schnitt

4,13,2	— 4,5
5	$\overline{+}$ 0,0
14	$\overline{+}$ 8,0
15	$\overline{+}$ 30,0

Schnittflächen abgewischt und zwischen Watte gelegt

16,5	$\overline{+}$ 0,0
17	— 7,0
18	— 2,5
5	$\overline{+}$ 0,0
26	$\overline{+}$ 36

Watte erneut

27	$\overline{+}$ 8
28	— 7,6

Watte endgültig entfernt

4,35 ^h	$\overline{+}$ 95
-------------------	-------------------

abgebrochen.

Versuch No. 28.

Objekt: Diesjährige Rettige im Thermostaten bei $+ 120^{\circ}$ abgetötet in wasserdampfgesättigter Atmosphäre.

Datum: 16. Juni Angesetzt: 15. Juni mittags
 Dauer: 6 Stunden 20 Minuten Ruhelage: — 1,8
 Schnitt: 16. Juni 10,40^h a. m.

Temperatur im Glockeninnern: 16,85⁰
 Zimmertemperatur: 15,21⁰

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Skt	Zeit	Skt
10,40	—	11,30	2,6
45	3,1	12,10	2,0
46	2,8	1,—	1,8
48	3,2	2,30	1,2
55	4,0	3,20	0,7
11,—	3,8	4,—	0,5
5	3,5	5,—	+ 0,0
15	3,1		

Versuch No. 29.

Objekt: Vorjährige Kartoffeln bei $- 18^{\circ}$ abgetötet in wasserdampfgesättigter Atmosphäre.

Datum: 18. Juni. Angesetzt: 17. Juni nachmittags
 Dauer: 3 Stunden Ruhelage: $+ 3,8$
 Schnitt: 18. Juni 9,15^h a. m.

Temperatur im Glockeninnern: 16,3⁰
 Zimmertemperatur: 15,20⁰

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Skt	Zeit	Skt	Zeit	Skt
9,15	1. Schnitt	9,45	2. Schnitt		
nach: 1 Min.	0,5	nach: 1 Min.	1,9	nach: 2 Std.	0,4
2 "	0,7	3 "	2,1	30 Min.	0,0
3 "	0,9	5 "	2,4		
7,5 "	1,6	10 "	2,4	Dauer: 2 Std. 30 Min.	
12 "	1,8	15 "	2,4	+ 30 "	
15 "	1,7	20 "	2,2	Dauer: 3 Std.	
20 "	1,5	30 "	2,1		
30 "	1,5	50 "	1,4		
		1 Stunde	1,2		
		20 Min.	0,7		
		40 "	0,6		

Versuch No. 30.

Objekt: Durch CHCl_3 abgetötete Kartoffeln in dampfgesättigter Atmosphäre.

Datum: 21. Juni Angesetzt: 19. Juni abends

Dauer: $4\frac{1}{2}$ Stunden Ruhelage: + 1,4

Schnitt: 21. Juni 9,16^h a. m.

Temperatur im Glockeninnern: 16,2^o

Zimmertemperatur: 15,2^o.

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Skt	Zeit	Skt
9,16	Schnitt	nach: 25 Min.	8,7
nach: 1 Min.	0,4	30 =	8,3
2 =	0,7	40 =	7,0
3 =	1,3	50 =	5,3
5 =	2,5	1 Stunde	4,2
7 =	4,2	20 Min.	2,9
8 =	5,1	50 =	1,6
10 =	6,4	2 Stunden	1,2
15 =	8,6	3 =	0,6
17 =	8,7	4 =	0,2
20 =	8,9	4,30 =	0,0
22 =	8,8		

Versuch No. 32.

Objekt: Durch CHCl_3 abgetötete Kartoffeln in dampfgesättigter Atmosphäre.

Datum: 24. Juni Angesetzt: 23. Juni 9,30^h a. m.

Dauer: 7 Stunden Ruhelage: + 1,3

Schnitt: 24. Juni 9,10^h a. m.

Temperatur im Glockeninnern: 17,63^o

Zimmertemperatur: ?

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Skt	Zeit	Skt
9,10	Schnitt	nach: 30 Min.	3,4
nach: 1 Min.	1,8	40 =	3,2
2 =	2,2	50 =	3,1
4 =	3,0	1 Stunde	3,0
5 =	3,3	2 =	2,5
7 =	3,8	3 $\frac{1}{2}$ =	1,9
8 =	4,0	5 =	1,5
9 =	4,0	7 =	0,0
10 =	3,8		
15 =	3,2		
25 =	3,		

Versuch No. 34.

Objekt: In Wasser von 90° abgetötete Kartoffeln in wasserdampf-
gesättigter Atmosphäre.

Datum: 30. Juni

Angesetzt: 29. Juni p. m. 4 Uhr

Dauer: nach 5 Stunden abgebrochen

Nullage: — 1,2

Schnitt: 30. Juni 9,30^h a. m.

Temperatur im Glockeninnern: $20,0^{\circ}$

Zimmertemperatur: $20,5^{\circ}$

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Skt	Zeit	Skt
9,30	Schnitt	10,—	3,6
31	2,0	10	3,7
32	2,3	25	3,4
35	2,8	11,—	2,7
40	3,0	12,—	2,5
45	3,2	2,30	1,9
50	3,4		
55	3,5		abgebrochen.

Versuch No. 37.

Objekt: Durch CHCl_3 abgetötete vorjährige Kartoffeln in
reiner CO_2 .

Datum: 7. Juli

Dauer: nicht beobachtet, da Demonstrationsversuch

Angesetzt: inklusive dreistündigen CO_2 -Stroms 6. Juli 12 Uhr.

Ruhelage: + 2

Schnitt: 7. Juli 9^h a. m.

Temperatur: $20,0^{\circ}$.

Markierte Kurvenpunkte.

	Zeit	Skt	Zeit	Skt
Bemerkung: Der wahrscheinliche Kurvenverlauf ist in der Tabelle durch eine punktierte Linie angedeutet.	9,—	— Schnitt	10,1	+ 0
	2	2,0	5	— 1,6
	5	2,0	10	2,5
	10	2,3	20	3,0
	15	2,7	30	2,4
	20	2,7	45	0,7
	25	2,4	11,—	+ 0,4
	35	1,3		
	45	0,2		
	10,—	+ 1,3		

Die austretende Flüssigkeit
wird durch Watte weg-
genommen.

Versuch No. 38

Objekt: In Wasser von -9° abgekühlte frische Kartoffeln in reiner CO_2 .

Datum: 6. Juli
 Dauer: 6 Stunden 10 Minuten
 Anwesenheit: 6 Juli 4¹⁵ p. m.

Sammt: 6 Juli 6¹⁵ p. m.
 Einlage: — 2
 Temperatur: $10,5^{\circ}$

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Tem.	Zeit	Tem.
0,00	Sammt	12 —	1,0
01	1,0	11 —	1,0
02	1,0	10 —	1,0
03 —	1,5	9 —	1,0
04	1,5	8 —	1,0
05	1,5		
06	1,5		
07	1,5		
08	1,5		
09 —	1,5		
10	1,5		
11 —	1,5		

Versuch No. 39

Objekt: Bei -11° abgekühlte Kartoffeln in reiner CO_2 .

Datum: 10. Juli
 Dauer: 7 Stunden
 Anwesenheit: 7. Juli abends

Einlage: — 6,5
 Sammt: 10. Juli 6¹⁵ p. m.
 Temperatur: $10,5^{\circ}$

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	Tem.	Zeit	Tem.
0,00	Sammt	11 —	1,5
01	1,5	10 —	1,5
02	1,5	9 —	1,5
03	1,5	8 —	1,5
04	1,5	7 —	1,5
05	1,5	6 —	1,5
06	1,5	5 —	1,5
07	1,5	4 —	1,5
08 —	1,5		
09	1,5		
10	1,5		
11 —	1,5		

Versuch Nr. 41.

Objekt: Durch CHCl_3 abgenommene Äpfel in reiner CO_2 .

Datum: 27. Juli

Reifezeit: — 24

Dauer: nach 7½ Stunden abgenommen

Schritt: 12. Juli 1898 u. m.

Angelesen: 18. Juli nachmittags

Temperatur: 18,5°

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	St.	Zeit	St.
8.45	Schnitt	11. —	1,8
9. —	1	12. —	2,2
10. —	2	13. —	2,5
11. —	3,5	14. —	2,8
12. —	4,5	15. —	3,2
13. —	5,5		abgeworfen
14. —	6,5		
15. —	7,5		

Versuch Nr. 42.

Objekt: In Wasser von — 20° gefrorene junge Karotten in reiner CO_2 .

Datum: 11. Juli

Reifezeit: — 24

Dauer: 4 Stunden

Schritt: 12. Juli 1898 u. m.

Angelesen: 11. Juli nachmittags

Temperatur: 18,5°

Markierte Kurvenpunkte.

Zeit	St.	Zeit	St.
7. —	Schnitt	10. —	2,5
8. —	1,5	11. —	2,8
9. —	2,5	12. —	3,2
10. —	3,5	13. —	3,5
11. —	4,5	14. —	3,8
12. —	5,5	15. —	4,2
13. —	6,5		
14. —	7,5		
15. —	8,5		
16. —	9,5		
17. —	10,5		
18. —	11,5		
19. —	12,5		
20. —	13,5		

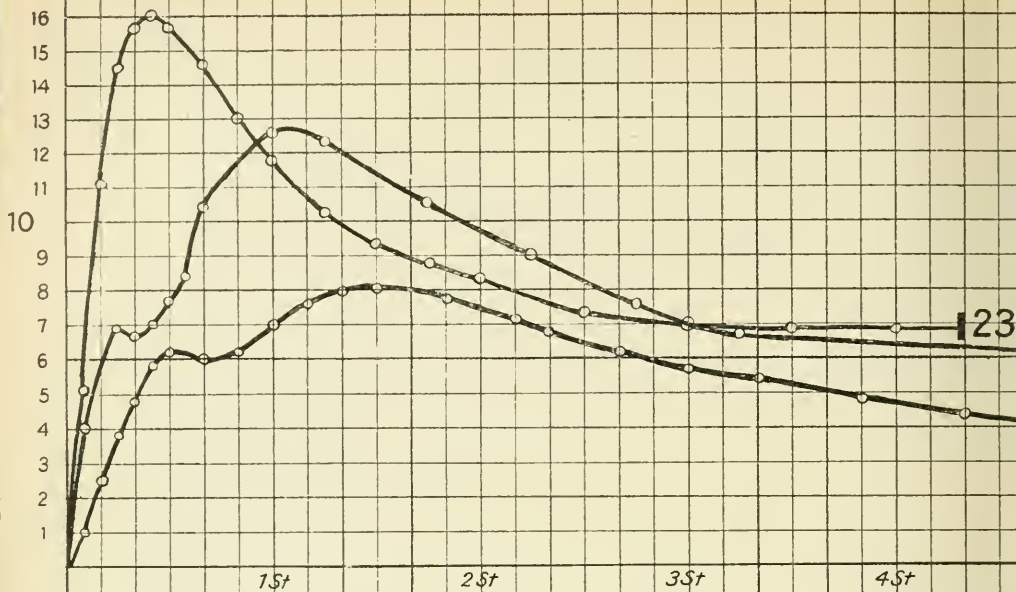
Erklärung zu den beiden Kurventafeln.

Aus Gründen technischer Schwierigkeiten bei der Reproduktion mußte davon Abstand genommen werden, alle Kurven in entsprechender Länge der Arbeit beizufügen.

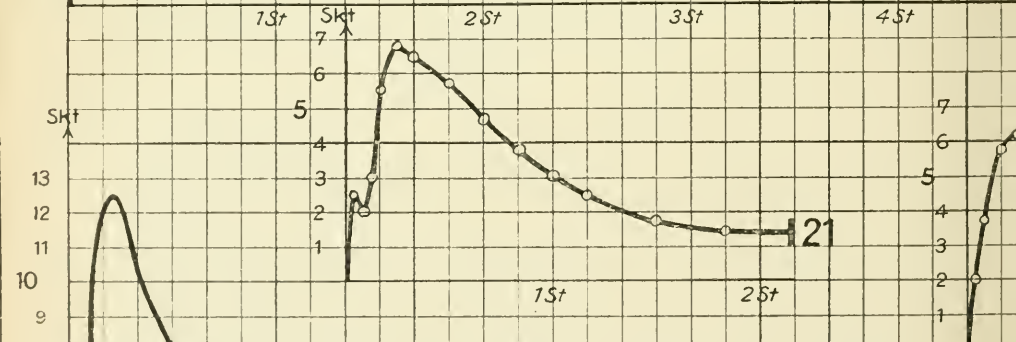
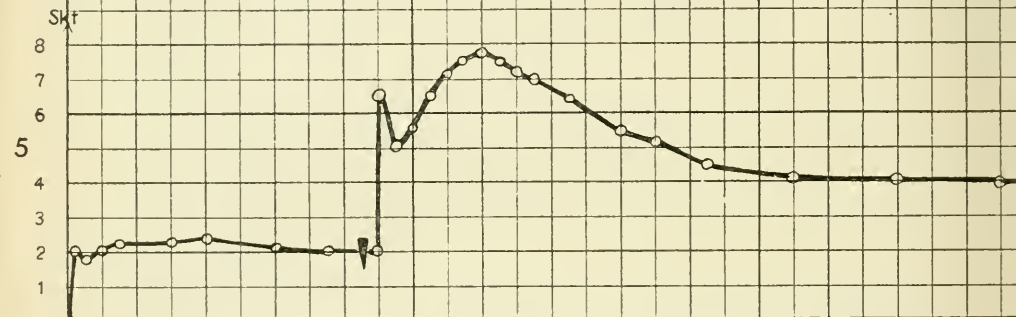
Da nun die für die Arbeit charakteristischen Vorgänge sich in den ersten Stunden der Experimente einstellten, schien es geboten, wenigstens die Anfänge einer Anzahl von Kurven (9, 15, 21, 23, 25, 26) zu reproduzieren. Die betreffenden Kurven in der Tafel I, welche die einzelnen Versuchsnummern tragen, sind abgebrochen, sobald dieselben in einen stationären Zustand übergehen. Durch Kurve 27 wird der Kontrollversuch (s. S. 100) repräsentiert.

Um über Dauer und Verlauf eines ganzen Experimentes eine Anschauung geben zu können, ist in der Tafel I unten der Abszissenmaßstab des in seiner ganzen Länge dargestellten Versuchs 25 auf $\frac{1}{5}$ des für die übrigen Kurven angewendeten Maßstabes verkleinert. Dadurch, daß der Ordinatenmaßstab aus Gründen besserer Übersichtlichkeit unverändert geblieben ist, sieht der Kurvenabfall steiler aus, als es der Wirklichkeit entspricht. Der Anfang derselben Kurve ist in der Tafel links oben dargestellt, so daß man aus dem Vergleich bei den Reproduktionen entnehmen kann, welche Länge der Kurve 25 im oberen Maßstab entspräche und wie langsam der Abfall erfolgt.

In Tafel II sind 5 Kurven der Versuche mit abgetöteten Objekten wiedergegeben (32, 34, 37, 41, 42), die durch den Text ihre genügende Erklärung finden.

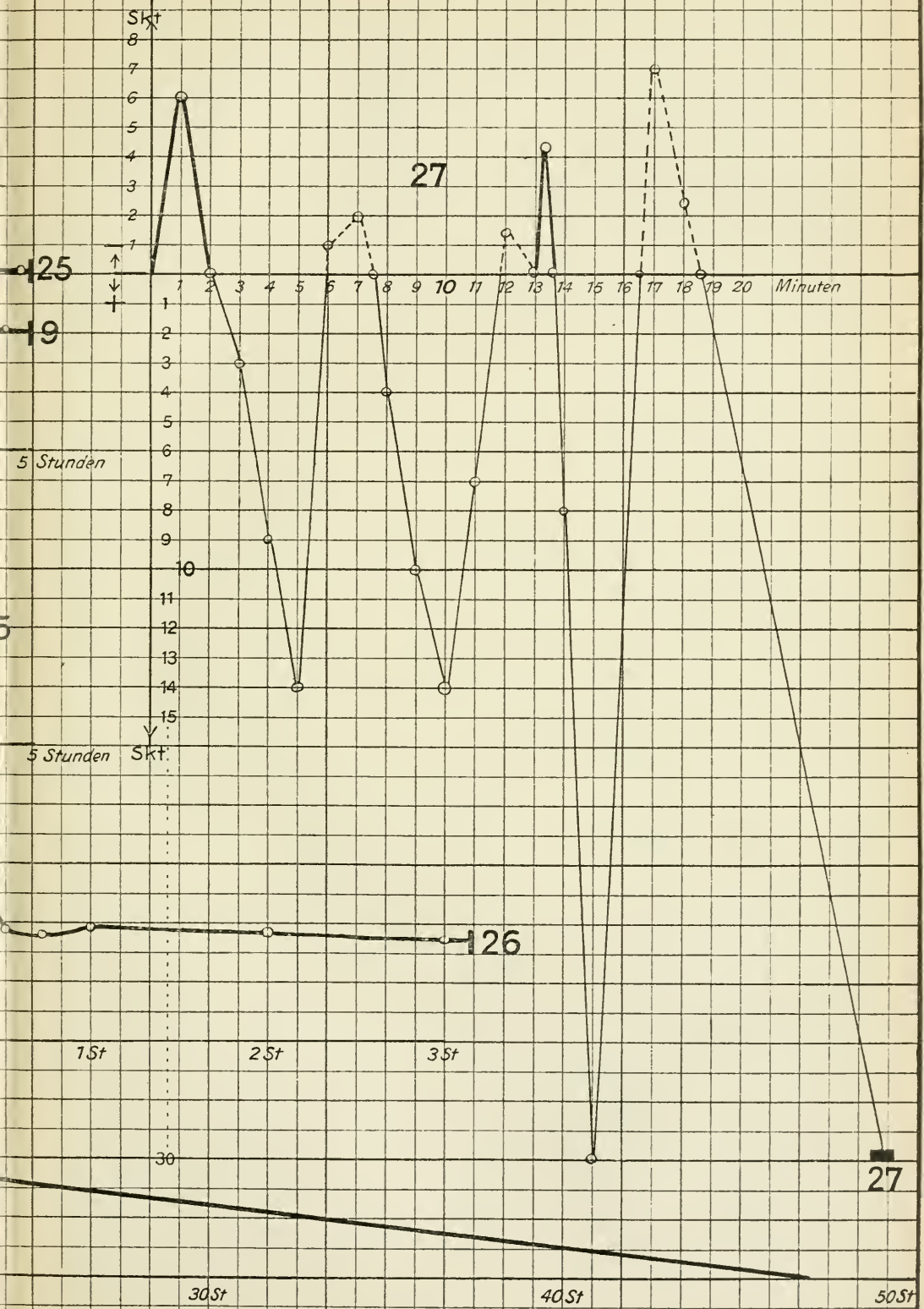


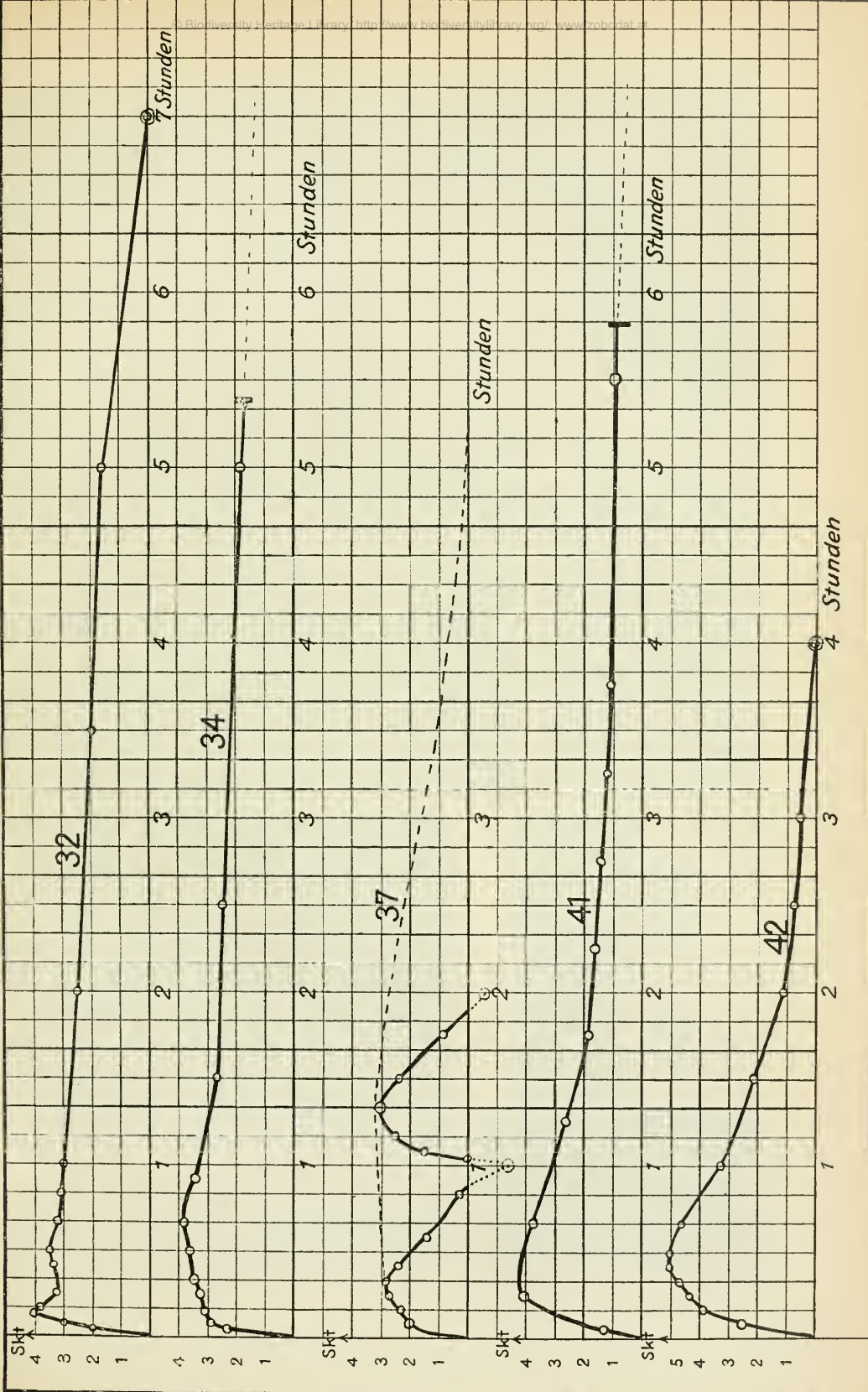
23



21

7
6
5
4
3
2
1





ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Biologie der Pflanzen](#)

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [11_1](#)

Autor(en)/Author(s): Tiessen Harry

Artikel/Article: [Über die im Pflanzengewebe nach Verletzungen auftretende Wundwärme 53-106](#)