

ENERGIEMESSUNGEN BEI ASPERGILLUS NIGER
MIT HILFE EINES AUTOMATISCHEN MIKRO-
KOMPENSATIONS-CALORIMETERS

von

L. ALGERA.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite.
Abschnitt I. Einleitung	48
Abschnitt II. Die Methode der Wärmemessung ...	62
1. Literatur	62
2. Eigne Methode	81
A. Das Kulturgefäß	82
B. Die Temperaturregulation	85
a. Das Wasserbad	85
b. Die isolierende Wirkung der Dewar-Flasche	89
C. Die Vorrichtung zur automatischen Kompen- sation der entwickelten Wärme.....	91
a. Allgemeine Anordnung	91
b. Der Niederfrequenzverstärker und die Em- pfindlichkeit der Apparatur	94
c. Die Quecksilberpumpe.....	101
D. Die Vorrichtung zur Bestimmung und Regi- strierung der Menge der entwickelten Wärme	104
E. Die Eichung des Calorimeters und die Genauig- keit der Wärmemessung	106
F. Die Empfindlichkeit des Calorimeters	120
G. Der Einflusz der Luftventilation im Kultur- gefäß auf den Betrag der gemessenen Wärme	120

H. Die Verwendung von Alkohol als Verdampfungsflüssigkeit	124
I. Vorteile und Verwendungsmöglichkeiten des Calorimeters	128
Abschnitt III. Besprechung eines Versuches mit <i>Aspergillus niger</i>	131
1. Methodisches	131
2. Die Ergebnisse	134
3. Besprechung der Ergebnisse	146
Zusammenfassung	158
Literaturverzeichnis	160

ABSCHNITT I. EINLEITUNG.

Während des Lebens der Organismen spielt sich in ihnen eine grosze Zahl von Prozessen zu gleicher Zeit ab. Ein Teil der aufgenommenen Nährstoffe wird in lebende Substanz umgewandelt und der übrige Teil bei der Dissimilation abgebaut. Dies alles hat die Bildung von chemischen, osmotischen, elektrischen usw. Potentialen zur Folge, welche allerlei Bewegungen wie Stofftransport, Protoplasmaströmung usw. veranlassen.

Alle diese Prozesse sind mit Wärmeentwicklung verknüpft. Die gesamte Menge dieser Wärme, die also verschiedenen Ursprungs ist, ist sehr wohl meszbar, aber es ist ausserordentlich schwer festzustellen, in welchem Maße die einzelnen Lebensprozesse sich an jener Wärmeproduktion beteiligen.

Die für alle diese Leistungen erforderliche Energie wird der chemischen Energie der aufgenommenen Nahrungsstoffe entnommen. Hierauf haben bereits Rubner (36) und Pfeffer (30) hingewiesen. Pfeffer macht zu gleicher Zeit darauf aufmerksam, dass viele autotrophe Organismen ihre Energie hauptsächlich dem Sonnenlicht entnehmen. Währ-

rend der Zusammenhang zwischen der durch die Nahrung gelieferten chemischen Energie und der dadurch bewirkten Zunahme des chemischen Potentials beim Aufbau der lebenden Substanz recht eng ist, ist ein solcher Zusammenhang nach Pfeffer bei der Bildung der übrigen Potentiale in der Regel nicht merkbar. So ist es zur Herstellung eines osmotischen Potentials gleichgültig, ob der Stoff, der das osmotische Potential schafft, z.B. Glukose, unter sehr geringem Energieverlust aus Stärke oder unter starker Energieaufnahme bei der Kohlensäureassimilation entstanden ist.

Nathansohn (25, S. 418—420) macht aber darauf aufmerksam dasz dies nicht ganz richtig ist. Die Energiemenge, die bei der Bildung von Glukose aus Stärke frei wird, hängt nämlich ab von den Bedingungen, unter denen der Vorgang verläuft. Wenn dieser Prozesz in einer unendlich groszen Wassermenge stattfindet, wobei sich die gebildete Glukose durch Rühren gleichmässig über diese Wassermenge verteilt, dann wird eine gewisse Energiemenge frei, die unter diesen Umständen als Wärme zum Vorschein kommt. Erfolgt der Prozesz derart, dasz die Stärke sich innerhalb einer halbdurchlässigen Membran befindet, so schafft die gebildete Glukose ein osmotisches Potential. Der bei dieser Reaktion auftretende Energieverlust ist kleiner als im vorigen Fall und wohl um so viel kleiner als der Energie des gebildeten Potentials entspricht.

Wir haben also gesehen, dasz auf Kosten der chemischen Energie der Nahrung in irgend einer Weise chemische und physikalisch-chemische Potentiale gebildet und erhalten werden und dasz dies alles mit Wärmeentwicklung verknüpft ist.

Oppenheimer (27) teilt diese Wärme in primäre und sekundäre ein, je nachdem sie direkt bei chemischen Reaktionen oder indirekt durch Arbeitsleistung entstanden ist.

Bei der Synthese der lebenden Substanz spielen gekoppelte

Reaktionen eine wichtige Rolle. Von diesen Reaktionen verläuft die eine mit Energieverbrauch zur Erhöhung des chemischen Potentials; die damit gekoppelte andere Reaktion macht die dafür nötige Energie frei. Weil diese Reaktionen nie völlig reversibel sind, wird der irreversibele Anteil als Wärme abgegeben. Ebenso entwickelt sich Wärme bei den oxydativen Prozessen, welche die freie Energie zur Bildung und Erhaltung der übrigen genannten Potentiale liefern, weil auch diese Prozesse irreversibel sind. Die auf solche Weise entwickelte Wärme, ist direkt bei chemischen Reaktionen entstanden und deshalb von Oppenheimer als primäre Wärme bezeichnet.

Der Organismus gibt aber auch Wärme ab, die aus Arbeit entstanden ist und deshalb sekundäre Wärme genannt wird. Wir können sie uns z.B. beim Ausgleich eines Konzentrationsunterschieds oder bei der Protoplasmaströmung entstanden denken. Sowohl die wandernden Moleküle oder Ionen als die bewegten Plasmateilchen erfahren dabei den Widerstand ihrer Umgebung. Die hierbei geleistete Reibungsarbeit setzt sich ganz in Wärme um.

Aus Obigem geht hervor, dasz die vom Organismus abgegebene Wärme sehr verschiedener Herkunft ist und dasz es ausserordentlich schwer oder gar unmöglich sein wird, experimentell festzustellen, in welchem Maße jeder der Prozesse an der Wärmeabgabe mitwirkt.

Weiter geht daraus hervor, dasz bei einem nicht wachsenden Organismus (also ein Organismus in stationärem Zustand) die Energie der aufgenommenen Nahrung ganz in Wärme umgewandelt wird, weil keine Energie für die Erhöhung der chemischen, osmotischen, elektrischen usw. Potentiale erforderlich ist. Dasz dies in der Tat so ist, hat sich aus zahlreichen Untersuchungen ergeben, wovon wir nur diejenige von Rubner bei Tieren (36); bei Hefen (40) und bei Bakterien (39) und diejenigen von Rodewald bei Früchten und Knollen (32, 33, 34) nennen.

Bei wachsenden Organismen musz aber die Gesamtmenge der entwickelten Wärme kleiner sein als es der Energieabnahme der Nahrung entspricht. Der Unterschied zwischen beiden ist gleich der Energie der Zunahme der schon früher genannten chemischen, osmotischen usw. Potentiale. Wir dürfen jedoch die zum Wachstum erforderliche Energie nicht diesem Unterschied gleich setzen, weil, wie oben schon gesagt wurde, die synthetischen Prozesse mit der Bildung von primärer Wärme verknüpft sind. Ebenso erfordern andere mit dem Wachstum zusammenhängende Vorgänge wie z.B. Stofftransport, eine Energie, die ganz in sekundäre Wärme umgesetzt wird.

Ebenso wie in nicht wachsenden Organismen erfolgen auch in wachsenden, Prozesse, die mit dem Wachstum nichts zu tun haben und andern Funktionen dienen oder für den Organismus keinen Nutzen haben. Alle hierfür verwandte Energie wird schlieszlich in Wärme verwandelt. Die während des Wachstums aufgenommene Nahrung hat also nicht lediglich zur Bildung von neuem Gewebe gedient und das von früheren Forschern aufgestellte Verhältnis

Energie des gebildeten Gewebes

Energieverlust der Nahrung

ist also auch nicht der richtige Ausdruck für das energetische Rendement der Wachstumsvorgänge.

Dies haben schon Kellner und Köhler (16) und Fingerling, Köhler und Reinhardt (9) erkannt, die bei der Aufstellung des energetischen Wachstumsrendements bei Säugetieren, den Energieverlust der Nahrung verminderten um den Betrag der infolge von Rubners Oberflächengesetz für andere als Wachstumsvorgänge erforderlich war (der sogenannte Grundumsatz). Diese Energie dient der Erhaltung der gebildeten Potentiale und wir können sie deshalb auch als Erhaltungsenergie bezeichnen. Das genannte Gesetz besagt, dasz der Stoff- oder Kraftwechsel von zwei verschieden groszen Tieren, die sich

unter denselben Bedingungen befinden, der Grösze ihrer Körperoberflächen proportional ist. Kennt man die Grösze des Energieumsatzes pro Oberflächeneinheit, so ist die Erhaltungsenergie des Tieres aus seiner Körperoberfläche zu berechnen.

Mit Rücksicht auf diese Tatsache haben Terroine und Wurmser (44) das Wachstumsrendement:

Energie des gebildeten Gewebes

Energieverlust der Nahrung—Erhaltungsenergie bei *Aspergillus niger* bestimmt. Sie nennen dies das reelle energetische Rendement, während das früher aufgestellte Verhältnis als brutto energetisches Rendement bezeichnet wird. Die Erhaltungsenergie wird aus mehreren Gründen nicht durch das Oberflächengesetz bestimmt, sondern mit Hilfe der schon von Duclaux (7) aufgestellten Formel: $C = p (a + \frac{1}{2} b t)$. Hier bedeutet C den gesamten Glukoseverbrauch; p das Gewicht des gebildeten Myzels; a die Glukosemenge, welche bei der Bildung von einem Gramm Myzel verschwindet; b die Glukosemenge, welche für die Erhaltung von einem Gramm Myzel während einer Stunde nötig ist und t das Alter des Myzels in Stunden.

Die beiden Unbekannten a und b wurden gefunden durch Variieren der Wachstumsgeschwindigkeit. Dann ist zur Bildung der gleichen Menge Myzel, eine verschieden lange Zeit erforderlich. Die Unbekannte b kann dann errechnet werden aus: $b = 2 \frac{C_2 - C_1}{p (t_2 - t_1)}$.

Diese indirekte Methode wurde angewandt, weil, wie Terroine und Wurmser bemerken, eine direkte Bestimmung nicht möglich ist; denn es ist unbekannt, welcher Teil des Energieverbrauchs für Wachstumszwecke und welcher Teil für die Erhaltung verbraucht wird.

Zur Erlangung der genannten Variation der Wachstumsgeschwindigkeit wurde der Schimmel in den einen Versuchs-

reihe bei einem $p_H = 5$ und in der anderen Reihe bei einem $p_H = 1.2$ gezüchtet.

Diese Methode ist aber nur dann brauchbar, wenn in beiden Reihen die Unbekannte b denselben Wert hat. Es scheint mir aber nicht sehr wahrscheinlich, dasz der niedrige p_H , welcher eine grosze Verzögerung der Wachstums geschwindigkeit hervorruft, die Intensität des Erhaltungs stoffwechsels (b ist ja der Erhaltungsstoffwechsel pro Gramm Myzel pro Stunde) gar nicht beeinflusst.

Hierauf wird aber am Schlusz dieser Arbeit näher eingegangen werden wo zugleich angegeben wird auf welche Weise eine direkte Messung der Erhaltungsenergie, wenn auch nur annäherungsweise, möglich ist.

Terroine und Wurmser bestimmten das reelle energetische Wachstumsrendement mit der Absicht, festzustellen, ob der Betrag der Syntheseenergie, sei es bei demselben Individuum, sei es bei Individuen verschiedener Arten, vielleicht auch grosze Unterschiede aufweist, je nach der Natur der Reaktionen, welche zur Bildung von Geweben und Reservestoffen führen, Reaktionen, die offenbar abhängig sind von der Art der gebotenen Nahrung.

Diese Frage bekommt Inhalt, wenn wir das reelle energetische Wachstumsrendement bei Heterotrophien und Autotrophien miteinander vergleichen. Kellner und Köhler (16) fanden bei einem Stiere den Wert 58.9 % bei Stärke fütterung; diese Nahrung hatte bei einem Schweine in den Versuchen von Fingerling, Köhler und Reinhardt (9) ein Rendement von 84 %. Terroine und Wurmser (44) fanden bei *Aspergillus niger* mit 3 % Glukose gezüchtet, 73 und 72 %.

Die Autotrophien unterscheiden sich scharf von den Heterotrophien. Henri (11) berechnete den Wert ihres Rendements aus Angaben von verschiedenen Forschern und fand für nitrifizierende Bakterien 4.5 %; für Schwefel bakterien 10 % und für Azotobacter 6.5 %.

Dürfen wir hieraus den allgemeinen Schluss ziehen, dasz das energetische Rendement kleiner sein wird, je mehr Reaktionen erforderlich sind für die Umwandlung der gebotenen Nahrung in Körpersubstanz? Oppenheimer (27) macht darauf aufmerksam, dasz das chemische Potential bei der Umwandlung von Glukose in Glykogen nur mit 5—10 cal. pro Gramm Glukose zunimmt. Für den Aufbau von Proteinen aus Aminosäuren ist überhaupt keine meszbare Energie nötig; bei Fettsynthesen ist sie minimal. Dies macht das hohe Rendement bei den Heterotrophen sehr begreiflich. Bei den autotrophen Bakterien liegt die Sache ganz anders. Die zur Aufbau der Zellen benötigten Stoffe müssen durch die Bakterien selbst mit Hilfe gekoppelter Reaktionen aus Kohlensäure und Wasser aufgebaut werden. Diese grosze Potentialerhöhung erfordert viel Energie und das wird die Ursache des niedrigen Rendements sein.

Betrachten wir nun etwas näher die Frage, in welcher Weise die Energie der aufgenommenen Nahrung die Syntheseprozesse möglich macht. Diese Frage ist sehr verschiedenen beantwortet worden.

Duclaux (7) meinte dasz gar nicht bewiesen wäre, dasz die Energie, die nötig ist für die Synthese der Körpersubstanzen der Hefe, der Gärung entnommen wird. Es ist sogar wahrscheinlicher, dasz sie von anderen anaeroben Reaktionen herrührt, die gleichfalls zur Bildung von Alkohol führen. Der Zusammenhang zwischen der Synthese und den spontanen Reaktionen, welche jene Reaktionen ermöglichen entgeht uns aber ganz.

Meyerhof (22) denkt sich die Entstehung von Glykogen aus Milchsäure im Muskelgewebe durch die gleichzeitig stattfindende Verbrennung eines anderen Teiles der Milchsäure. Diese Verbrennung liefert die für den chemischen Potentialzuwachs erforderliche Energie. Weil in beiden Reaktionen offenbar nicht dieselben Moleküle reagieren, musz die Energieübertragung zwischen zwei stofflich un-

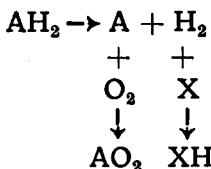
abhängigen Reaktionen stattfinden. Wie dies möglich ist, wird nicht angegeben.

Etwas deutlicher wird die Darstellung bei Oppenheimer (26, 27) und Wieland (47), die sich die Synthese mittels gekoppelter Reaktionen denken. Hierbei liefert die eine der stofflich miteinander verbundenen Reaktionen die Energie, womit die andere ablaufen kann.

Von Euler und af Ugglas (8) machen aber einen Versuch, die Weise der Energieübertragung anzugeben. Sie denken sich diese mit Hilfe eines Katalysators. Daraus geht hervor dasz eine Übertragung nur dann möglich ist, wenn beide Reaktionen durch denselben Katalysator beeinfluszt werden.

Viel klarer ist Kluyvers Darstellung (18). Die Synthese ist aus einer groszen Zahl von Teilreaktionen (Oxydoreduktion) zusammengesetzt, die alle für sich freiwillig verlaufen d.h. verlaufen unter Abnahme der freien Energie. Bei diesen Teilreaktionen ist die Aktivierung und Übertragung der H-Atome von groszer Wichtigkeit. Auf den ersten Blick scheint es unbegreiflich, dasz, obwohl alle Teilreaktionen unter Abnahme der freien Energie verlaufen, doch energiereichere Stoffe entstehen. Die Erklärung hierfür geht aus dem Schema: $AH + B \rightarrow A + BH$ hervor. Obwohl diese Reaktion stets unter Abnahme der freien Energie stattfindet, kann doch der Energiegehalt von BH in Bezug auf B bedeutend erhöht sein, weil zu gleicher Zeit die Energieabnahme von AH bis A auftritt, derart, dasz die gesamte Energie von A und BH kleiner ist als diejenige von AH und B.

Wurmser (48) denkt sich die Bildung von Stoffen mit höherem chemischem Potential aus Stoffen mit niedrigerem im wesentlichen ebenso. Er hält die Oxydoreduktionen nicht nur durch H-Übertragung, sondern auch durch Sauerstoffübertragung für möglich. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, dasz der freie Sauerstoff eingreift z.B.



Die Affinität des freien Sauerstoffes für A verbreicht die Bindung zwischen dieser Atomgruppe und dem Wasserstoff. Letzterer kann dazu dienen, das Molekül X zu reduzieren und also dessen chemisches Potential zu erhöhen.

Nun entsteht die Frage, ob es möglich ist, die bei den Syntheseprozessen auftretenden Reaktionen näher zu präzisieren. Liefert die Atmung, welche als Energiequelle von so groszer Wichtigkeit für den Organismus ist, auch die zur Hebung des chemischen Potentials benötigte Energie?

In der Absicht, die Bedeutung der beim Atmungsvorgang in Freiheit gesetzten Energie zu verfolgen, hat Moliard (24) den Energieumsatz bei *Sterigmatocystis nigra* (= *Aspergillus niger*) gemessen. Er kam dabei zu dem Ergebnis dasz die Atmungsenergie gar nicht in chemische Energie des Myzels umgesetzt wird.

Der Schimmel wurde gezüchtet auf einer Czapek-Lösung, worin ungefähr 7 Gramm Saccharose gelöst wurde.

Bestimmt wurden:

Q = Verbrennungswärme der Nährösung vor dem Versuch,

q = Verbrennungswärme der Nährösung nach dem Versuch,

M = Verbrennungswärme des getrockneten Myzels,

R = Die in Calorien umgerechnete Atmungsenergie.

Die Gröszen Q , q und M wurden mit Hilfe einer Verbrennungsbombe gemessen. R wurde aus der entwickelten Kohlensäuremenge berechnet.

Die aus der Nährösung verschwundene chemische Energie ($Q - q$) ist zum Teil als chemische Energie ins Myzel übergegangen (M) und zum andern Teil während des Versuches als Wärme (W) an die Umgebung abgegeben. Also: $Q - q = M + W$ oder $W = Q - q - M$.

Spielt die Atmung keine Rolle bei den Synthesereaktionen,

so finden wir gar nichts von der Atmungsenergie in Form eines Energiepotentials in der Grösze M wieder und sie mussz gänzlich in Wärme umgewandelt sein. Eine andere Möglichkeit gibt es nicht. Dann ist obenstehende Gleichung wie folgt zu schreiben:

$$Q - q = M + R \text{ oder } R = Q - q - M.$$

Nehmen wir jedoch an, dasz die zur Hebung des chemischen Potentials erforderliche Energie der Atmung entnommen wird, so wird ein Teil der Atmungsenergie in chemische Energie des Myzels verwandelt. Die Grösze R ist dann aus zwei Teilen zusammengestellt: Ein Teil, der während des Versuches als Wärme abgegeben wird, und ein Teil, der sich als chemische Energie im Myzel befindet. Diese letzte Energiemenge wird also nicht nur bei R sondern auch bei M verantwortet, also zweimal in Rechnung gestellt. Hieraus geht hervor, dasz in einer Formel, worin die Grösze $Q - q$ mit $M + R$ verglichen wird,

$$Q - q < M + R \text{ und } R > Q - q - M \text{ oder } R - (Q - q - M) > 0 \text{ sein mussz.}$$

Molliard fand für die genannten Gröszen folgende Werte (in Grammcalorien ausgedrückt):

$$Q = 28700 \text{ cal.}; q = 3540 \text{ cal.}; M = 13900 \text{ cal. und } R = 11710 \text{ cal.}$$

$$\text{Hieraus folgt dasz } R - (Q - q - M) = 450 \text{ cal. ist.}$$

Ist dieser Unterschied nun reell oder ist er den Fehlerquellen zuzuschreiben?

Das Glied $(Q - q - M)$ ist aus drei Gröszen zusammengesetzt. Die Bestimmung jeder dieser Gröszen ist mit Fehlern verknüpft; Addition dieser Fehlern ist möglich und dann ist eine ziemlich grosze Ungenauigkeit zu erwarten.

Die Genauigkeit der Bestimmung von M wird, abgesehen von den Beobachtungsfehlern, ausserdem noch beeinfluszt durch den Umstand, dasz das Myzel vor der Verbrennung getrocknet wurde. Das Trocknen ist mit Energieaufnahme verknüpft und M wird also wahrscheinlich zu grosz gefunden.

den sein. Dies ist nach Moliard wohl der wichtigste Grund, weshalb R gröszer gefunden ist als $(Q - q - M)$. Hierfür kann noch eine andere Ursache maszgebend sein, aber darauf wird später näher eingegangen werden.

Für die Beantwortung der Frage, welche Moliard sich stellte, benutzt er auch die Versuche von Terroine und Wurmser (43, 44). Obgleich diese mit ihren Versuchen etwas anders beabsichtigen, nämlich die Bestimmung des reellen energetischen Wachstumsrendements, messen auch sie die von Moliard mit den Buchstaben Q, q, M und R bezeichneten Gröszen. In ihren beiden Versuchen fanden sie für $R - (Q - q - M)$ aber einen negativen Wert.

Moliard zieht nun das Mittel aus den drei Versuchen (seinem eigenen und den beiden von Terroine und Wurmser) und schlieszt daraus dasz $R = Q - q - M$, d. h. dasz die Atmungsenergie gar nicht in chemische Energie des Myzels umgesetzt wird.

Oben ist schon gezeigt worden, dasz das Glied $(Q - q - M)$ gleich der während des Versuches durch den Organismus entwickelten Wärme ist. Für deren Bestimmung hat Moliard drei Gröszen gemessen. Wir sahen, dasz dies eine ziemlich grosze Ungenauigkeit herbeiführen kann. Zu einem Vergleich der Atmungsenergie mit $(Q - q - M)$ ist es viel besser, die abgegebene Wärme direkt zu bestimmen. Dann genügt die Bestimmung einer Grösze, während der durch das Trocknen des Myzels herbeigeführte Fehler ausgeschaltet wird.

Später wird sich zeigen, dasz die Zunahme des chemischen Potentials bei der Umwandlung der gebrauchten Nahrung (Glukose) in Körpersubstanz sehr gering ist. Ihr Betrag wird die Fehlergrenzen nicht weit überschreiten, obgleich die Fehler bei der angegebenen Methode geringer sind als bei Moliard und Terroine und Wurmser.

Wir erzielen ein sichereres Resultat dadurch, dasz wir nicht nur die gesamte Kohlensäure- und Wärmeproduktion

miteinander vergleichen, sondern beide auch während des ganzen Versuches unausgesetzt verfolgen. Dies geht aus Folgendem hervor:

Terroine und Wurmser (44) haben gefunden, dasz das Myzelgewicht von *Aspergillus niger*, auf einer Czapek-Lösung mit 3 % Glukose gezüchtet, der Versuchsdauer (von Beginn der Keimung der Sporen an gerechnet) proportional ist. Diese Proportionalität besagt, dasz während des ganzen Versuches pro Zeiteinheit stets gleich viel Myzel gebildet wird. Da dessen Gesamtmenge fortwährend zunimmt, musz das Verhältnis:

$$\frac{\text{pro Zeiteinheit gebildeter Körpersubstanz}}{\text{vorhandener Körpersubstanz}},$$

also auch das Verhältnis

$$\frac{\text{pro Zeiteinheit umgesetzte Synthese-Energie}}{\text{gesamte pro Zeiteinheit umgesetzte Energie}},$$

während des Wachstums immer kleiner werden. Der Anteil der Syntheseprozesse im gesamten Energieumsatz wird demzufolge prozentual immer kleiner. Nennen wir die in einer bestimmten Zeitperiode entwickelte Kohlensäuremenge (in Grammcalorien ausgedrückt) r und die in dieser Periode abgegebene Wärmemenge w , so ergibt sich aus

Obigem für das Verhältnis $\frac{r}{w}$ folgendes:

Die zur Erhaltung erforderliche Energie, welche dem Atmungsprozess entnommen wird, verwandelt sich gänzlich in Wärme wobei die abgegebene Wärme der entwickelten Kohlensäure entspricht. Spielen nun auch CO_2 abspaltende Atmungsprozesse eine Rolle bei der Synthese, so wird ein Teil der bei der Atmung frei gewordenen Energie zur Hebung des chemischen Potentials dienen. Die Atmungsenergie kann also nicht gänzlich in Wärme umgewandelt werden weil ein Teil in chemische Energie des Myzels verwandelt wird. Während der Entwicklung des Myzels musz also

weniger Wärme produziert werden als der Menge der abgegebenen Kohlensäure entspricht.

Nehmen wir nun an, dasz Reaktionen ohne Kohlensäureentwicklung die Synthese herbeiführen. Wegen der Irreversibilität geht auch hier ein Teil der Energie als Wärme verloren, aber dies ist eine Wärmeabgabe ohne CO_2 -Entwicklung. Im ganzen musz also mehr Wärme abgegeben werden als der produzierten Kohlensäure entspricht.

Je gröszer das Myzel wird, desto kleiner ist die Synthese-Energie in Bezug auf den Totalumsatz, sodasz der Unterschied zwischen Kohlensäure- und Wärmeproduktion während des Wachstums relativ stets kleiner wird. Beim Stillstand des Wachstums musz dieser Unterschied gleich Null werden.

Bei der ersten Möglichkeit wird das Verhältnis $\frac{r}{w}$ immer kleiner werden und sich 1 nähern; bei der zweiten Möglichkeit immer gröszer werden und sich ebenfalls 1 nähern.

Die fortwährende Bestimmung der Kohlensäure- und Wärmeproduktion hat zwei Vorteile vor der Aufstellung einer Energiebilanz, wobei nur die Totalwerte gemessen werden:

1. Falls die Kohlensäure- und Wärmeproduktion einen Unterschied aufweisen, wird dies in den ersten Stadien der Entwicklung relativ viel gröszer sein als es in den Endwerten der Bilanz der Fall ist. Der Unterschied ist hier in Bezug auf die Fehlergrenzen gröszer als bei der Bilanz, trotz der Tatsache, dasz die relativen Fehler zufolge der Kleinheit der absoluten Werte in den ersten Stadien gröszer sind als in der Bilanz.

2. Es wird nicht nur konstatiert, ob es einen Unterschied zwischen r und w gibt oder nicht sondern auch der Verlauf ihres gegenseitigen Verhältnisses $\frac{r}{w}$ wird verfolgt.

Auch dies gibt ein Mittel an die Hand, aus den Möglichkeiten eine Wahl zu treffen.

Die vorliegende Arbeit beabsichtigt die Messung des Energieumsatzes bei *Aspergillus niger* zur Prüfung der Richtigkeit des durch Molliard gezogenen Schlusses. Dieser lautet, dasz von der Atmungsenergie gar nichts in chemische Energie des Myzels verwandelt wird.

Dabei ist es an erster Stelle wünschenswert, nicht nur die gesamte Kohlensäureproduktion (R) und die gesamte Wärmeabgabe (W) zu messen, sondern auch beide Prozesse in den ersten Stadien der Entwicklung miteinander zu vergleichen.

- In zweiter Linie soll das Verhältnis $\frac{r}{w}$ während der ganzen Entwicklung des Schimmels verfolgt werden.

Letzteres erfordert eine wiederholte Messung der Kohlensäure- und Wärmeproduktion während einer Periode mehrerer Tage. Wo es sich vor allem im Anfang um sehr kleine absolute Werte handelt, musz die Genauigkeit der Methode sehr hohen Anforderungen genügen. Dies bot, was die Wärmemessung betrifft, grosze Schwierigkeiten. Es musz nicht nur eine sehr geringe Wärmeabgabe genau gemessen werden, sondern die lange Versuchsdauer macht ausserdem eine automatische Messung nötig.

Es zeigte sich, dasz eine Methode, welche diesen beiden Anforderungen genügt hätte, noch nicht ausgearbeitet war. Es war also nötig, ein Calorimeter zu konstruieren welches den gestellten Anforderungen genügte.

Im Folgenden wird dieses Calorimeter beschrieben, nachdem zuerst eine Übersicht über die bestehenden Methoden gegeben ist. Hierauf folgt dann die Besprechung eines Versuches, welcher mit dem beschriebenen Calorimeter gemacht wurde.

Dabei wurde nicht nur der Verlauf der Kohlensäure- und Wärmeabgabe bestimmt sondern auch die Verbrennungs-

wärme des gebildeten Myzels und der aufgenommenen Nahrung. Es konnte also auch eine vollständige Energiebilanz aufgestellt werden.

Weil die Methode dieser Bestimmungen, ebenso wie die der Kohlensäuremessung, in der gewöhnlichen Weise vor sich geht, bedürfte sie keine besondere Beschreibung.

Aus den erhaltenen Angaben konnte ebenfalls das energetische Wachstumsrendement berechnet werden.

ABSCHNITT II.

DIE METHODE DER WÄRMEMESSUNG.

1. Literatur.

Bei der Besprechung der schon in der Literatur beschriebenen Methoden, werden nicht nur diejenigen erwähnt werden, welche speziell für botanische Zwecke verwandt wurden, sondern auch die Apparate, welche für tierische Organismen gebaut wurden, die aber nach geringen Abänderungen ebenfalls für Pflanzen brauchbar sind.

Die ersten Versuche bei welchen eine Wärmeentwicklung an Pflanzen gezeigt wurde, datieren schon aus dem Jahre 1775. Hunter (14, 15) fand, dasz ein Thermometer, welches in den Stamm eines Baumes gesteckt wurde, eine höhere Temperatur zeigte als die der Umgebung. Aus dieser Tat sache schlosz er, dasz im Stämme Wärme entwickelt wurde.

Später ist von mehreren Forschern in verschiedener Weise gezeigt worden, dasz die Pflanze während ihrer Lebensprozesse Wärme an die Umgebung abgibt. Alle diese Versuche liefern jedoch nur einen ungenauen oder gar keinen Maßstab für die Menge jener Wärme. Bonnier (3, 4) war der erste, der versucht hat, diese Menge zu messen. Er bediente sich hierbei des Regnaultschen Thermo-calorimeters und ebenfalls des Berthelotschen Calorimeters. Letzteres, womit die meisten Versuche gemacht wurden, be-

steht aus einem mit Wasser gefüllten Metallgefäß. Es steht auf hölzernen Füszen in einem anderen Gefäß, dessen Innenwand versilbert ist. Beide Gefäße zusammen sind in einen doppelwandigen Zylinder eingesetzt. Zwischen den beiden Wänden findet sich Wasser, das als Wassermantel dient und das eigentliche Calorimetergefäß gegen die Temperaturschwankungen im Zimmer schützt. Die zu untersuchenden Objekte werden entweder direkt in das Calorimeterwasser gelegt, oder sie befinden sich in einem in das Wasser gesetzten Platingefäß. Letzterenfalls dauert es längere Zeit, bevor die entwickelte Wärme sich dem Calorimeterwasser mitgeteilt hat. Die Temperatur dieses Wassers wird mit Hilfe eines Thermometers jede Minute abgelesen. Sind bekannt: der von der Wärmeentwicklung verursachte Temperaturanstieg, der Wasserwert der Objekte und des Calorimeters mit Zubehör und weiter die Wärmemenge, welche zufolge des Temperaturanstiegs vom Calorimeter an die Umgebung abgegeben wird, so kann mit Hilfe dieser Angaben die von den Objekten erzeugte Wärme berechnet werden.

Das Thermocalorimeter von Regnault ist im wesentlichen ein Thermometer, dessen Quecksilberreservoir zu einem doppelwandigen Zylinder umgebildet ist. Die wärmeerzeugenden Objekte befinden sich im zylindrischen Hohlraum, welcher mittels eines Stöpsels luftdicht abgeschlossen werden kann, während das Quecksilber zwischen den beiden Wänden diesen Raum als Mantel umgibt. Das Reservoir befindet sich in einem Wassermantel, dessen Wasser auf konstanter Temperatur gehalten wird. Bei einer Wärmeentwicklung durch die Objekte erhöht sich die Temperatur des Quecksilbers. Dabei verschiebt sich die Quecksilberkuppe in einem mit dem Reservoir verbundenen Kapillarrohr mit Skala, an welcher die Temperatur abgelesen werden kann. Nachdem der Abkühlungskoeffizient und der Wasserwert des Reservoirs mit Inhalt bestimmt sind, kann mit Hilfe des Temperaturanstiegs die Menge der erzeugten Wärme berechnet werden.

Bei beiden Methoden ist nur eine kurze Versuchsdauer möglich, denn die Objekte haben, sowohl bei Anbringung in das Calorimeterwasser als in die Luft, allen vorrätigen Sauerstoff in kurzer Zeit verbraucht.

Aus ungefähr derselben Zeit datieren die Versuche von Rodewald (32, 33, 34). Er nimmt an, dasz die Wärmeentwicklung so gering ist, dasz deren calorimetrische Messung unmöglich sei. Der Wasserwert des benutzten Calorimeters würde so grosz sein, dasz der Temperaturanstieg unmeszbar klein wird. Daher ist es erforderlich, das Objekt selbst als calorimetrische Masse anzuwenden. Da die Abkühlung um so kleiner ist, je mehr die Oberfläche des Objektes im Verhältnis zu der Masse kleiner ist, sind Knollen und reifende Früchte als Objekte sehr geeignet.

Rodewalds Methode ist nun die folgende: In das zu untersuchende Objekt (ein Apfel oder eine Kohlrabiknolle) wurden die ungeraden Lötstellen eines Thermostromkreises hineingesteckt, während sich die geraden Lötstellen in der umgebenden Luft befanden. Darauf wird das Objekt in einen luftdicht abgeschlossenen Glaszyylinder gehängt, und dann werden beide in das Wasser eines Thermostaten versenkt, dessen Temperaturschwankungen sehr gering sind.

Die Lötstellen sind verbunden mit einem Spiegelgalvanometer, welches einen Lichtstreifen auf eine Skala wirft. Durch Vergleich mit einem Quecksilberthermometer ist festgestellt worden wieviel Skalenteile einem Grad Celsius entsprechen. Auf diese Weise ist die Temperaturdifferenz zwischen Objekt und Umgebung sehr genau zu bestimmen. Der folgende Gedankengang gibt an, wie die Menge der erzeugten Wärme aus der gefundenen Temperaturdifferenz zu berechnen ist:

Ein wärmeerzeugender Körper hat eine höhere Temperatur als die Umgebung. Die Temperatur steigt so lange, bis die infolge der Temperaturdifferenz abgegebene Wärmemenge der erzeugten Wärmemenge gleich geworden ist.

Je gröszer letztere ist, desto gröszer wird auch die Temperaturdifferenz in diesem Gleichgewichtzustand sein. Beide Gröszen sind einander proportional. Soll aber die Menge der produzierten Wärme aus dieser Differenz berechnet werden, so müssen mehrere Korrekturen erfolgen.

a. Bei gegebener Wärmeentwicklung wird die Temperaturerhöhung bestimmt durch die Geschwindigkeit womit das Objekt die Wärme an die Umgebung abgibt. Diese Geschwindigkeit ist abhängig von der Beschaffenheit und der Grösze der Oberfläche und ist also für alle Objekte verschieden und muss deshalb für jedes einzelne Objekt besonders bestimmt werden. Bezeichnen wir die Temperaturerniedrigung, welche das Objekt in der Zeiteinheit und bei der Einheit der Temperaturdifferenz infolge der Wärmeabgabe erfährt, mit c , dann ist bei einer Differenz τ die Erniedrigung in der Zeiteinheit gleich $c\tau$.

b. Der Temperaturanstieg wird ebenfalls verkleinert durch die Wasserverdunstung des Objektes. Werden in der Zeiteinheit w Gramm Wasser verdunstet und ist C die Verdampfungswärme und C die Wärmekapazität des Objekts dann beträgt die Temperaturerniedrigung pro Zeiteinheit $\frac{w}{C}$.

c. Die durch die Wärmeentwicklung verursachte Temperaturerhöhung ist weiter abhängig von Temperaturschwankungen in der Umgebung. Wir bezeichnen deren Betrag pro Zeiteinheit bei steigender Temperatur mit $+r$, bei fallender Temperatur mit $-r$.

Stellen wir alle diese Faktoren in Rechnung, so wird der wirkliche Temperaturanstieg s des Objektes gleich $c\tau + \frac{w}{C} \pm r$. Die pro Zeiteinheit erzeugte Wärme ist also

$$C(c\tau \pm r) + w$$

Diese Arbeitsmethode ist theoretisch richtig; aber die

Zahl der erforderlichen Bestimmungen ist sehr grosz. Sie erhöht die Ungenauigkeit, da jede Bestimmung mit Fehlern verknüpft ist. Ihre Grösze hat Rodewald abgeschätzt; er kam dabei zu dem Resultat, dasz der Fehler in der Wärmemessung höchstens gegen 6 % beträgt.

Eine grosze Verbesserung ist die Einführung des Dewargefäßes durch Rubner. Seine Methode der Wärmemessung ist wiederholt beschrieben worden (37, 38, 40). Das Calorimeter ist ein dreiwandiges Gefäß. Die Luft zwischen den Wänden ist entfernt, sodasz der Inhalt des Gefäßes von einem doppelten Vakuum umgeben ist, wodurch die Wärmeabgabe nach auszen auf einen geringen Betrag beschränkt wird. Das Gefäß wird fast ganz gefüllt mit der Kulturflüssigkeit, worin die zu untersuchenden Mikroorganismen gezüchtet werden. In dieser Flüssigkeit steckt ein Thermometer. Eine Anzahl (mindestens drei) von diesen Gefäßen wird in einen Thermostaten gestellt. Weil dessen Temperatur nicht genügend konstant ist, wird die Temperatur des mit Mikroorganismen versehenen Gefäßes verglichen mit derjenigen eines mit Sublimatlösung gefüllten Gefäßes, welches sich ebenfalls im Thermostaten befindet. Die Gefäße sind durch Schirme gegen eine gegenseitige Bestrahlung geschützt.

Durch die Wärmeproduktion der Mikroorganismen steigt die Temperatur der Kulturflüssigkeit, bis die durch Leitung und Strahlung an die Umgebung abgegebene Wärme der erzeugten Wärme gleich geworden ist. Die Grösze dieser Steigung ist der Wärmemenge proportional. Für die Berechnung der entwickelten Wärme musz also auszer dem Temperaturanstieg noch bekannt sein, welcher Wärmemenge z.B. 1° Temperaturanstieg entspricht. Letzteres ist mit Hilfe einer Eichung zu bestimmen. Dabei wird in die Kulturflüssigkeit ein Platindraht von bestimmtem Widerstand angebracht, mit einer konstanten Elektrizitätsquelle verbunden und die Stromstärke gemessen. Man kennt

dann die angewandte Wärmemenge und liest den Temperaturanstieg ab.

Bei einem bestimmten Calorimeter und mit verschieden groszen Wärmemengen fand Rubner folgendes (Tab. I.).

TABELLE I.

Wenn das Thermometer gestiegen ist um:	ist für 1° Erhöhung die Menge der erzeugten Wärme
0.46°	0.0455 Cal. p. 1 Std.
1.57°	0.0458 " " 1 "
2.005°	0.0450 " " 1 "
2.185°	0.0439 " " 1 "
2.471°	0.0454 " " 1 "
Mittel 0.0444 Cal. p. 1 Std.	

Es lässt sich nicht mit Gewissheit entscheiden, ob jede der in dieser Tabelle genannten und zu den verschiedenen starken Wärmequellen gehörigen Zahlen, sich auf nur einen Versuch bezieht oder den Mittelwert aus mehreren Versuchen angibt. Wahrscheinlich ist das erstgenannte der Fall. Weiter ist nicht recht klar, wie Rubner einen Betrag von 0.0444 Cal. als Mittelwert gefunden hat. Addition der Zahlen in der zweiten Spalte und Teilung der Summe durch 5, gibt einen Wert von 0.0451 Cal.

Wo für jede Wärmequelle nur ein Resultat erwähnt worden ist, kann aus den Eichproben nicht die Genauigkeit der Messung bei jeder der verschiedenen starken Wärmeproduktionen abgeleitet werden. Beim Vergleich der Zahlen aus der zweiten Spalte zeigt sich eine Variation von 4.2 %; die grösste Abweichung von dem von Rubner berechneten Mittelwert beträgt 3.2 %. Sollte das Mittel 0.0451 Cal. sein, so ist die Abweichung 2.7 %. Diese Genauigkeit bezieht sich auf Wärmequellen, welche laut obenstehender Tabelle pro Stunde 21 bis 112 gr. cal. erzeugen.

Wo 0.01° auf dem Thermometer noch abzulesen war, ist

eine Wärmeproduktion von 0.44 cal. pro Stunde noch erkennbar. Diese Empfindlichkeit konnte durch Versilberung der Glaswände des Calorimeters noch bis 0.064 cal. gesteigert werden.

Nach der Eichung des Calorimeters ist die Berechnung der von den Mikroorganismen erzeugten Wärme leicht durchzuführen. Bei konstanter Produktion ist sie gleich dem Produkte: Temperaturanstieg \times Eichwert \times Versuchsdauer. Bei nicht-konstanter Wärmeentwicklung musz der mittlere Temperaturanstieg berechnet werden. Der auf diese Weise gefundene Betrag musz noch vermehrt werden um die Wärme, welche die Temperaturerhöhung des Calorimeters bewirkt hat. Sie ist gleich dem Produkt: Temperaturanstieg am Ende des Versuches \times Wasserwert des Calorimeters mit Inhalt.

Zur Vermeidung der Wasserverdunstung, welche einen Teil der Wärme wegnehmen würde, wird das Calorimeter durch einen Ppropfen gut abgeschlossen oder die Kulturflüssigkeit mit ein wenig Öl übergossen.

Der Ausgangspunkt von Rubners Methode beruht auf der Erwägung, dasz sich infolge der Wärmeabgabe nach auszen, ein Temperaturlgleichgewicht zwischen der Kulturflüssigkeit und der Umgebung einstellt. Eine gute Isolation ist also nicht von prinzipieller Wichtigkeit. Wohl ist dieses der Fall bei den Versuchen von Peirce, Meyerhof und Hill. Hier wird die entwickelte Wärme dem Produkte von Temperaturanstieg und Wasserwert des Dewargefäßes mit Inhalt gleichgesetzt. Die nach auszen abgegebene Wärme wird als Korrektur hinzugefügt. Um die Korrektur klein zu halten, musz die Isolierung sehr gut sein. Aus dem Grunde ist es wichtig, dasz die Versuche nicht zu lange Zeit dauern, während dies bei Rubners Methode eher ein Vor- als Nachteil ist.

Die Versuche von Peirce (28, 29) sind nicht sehr genau. Die Temperaturschwankungen im Zimmer, worin das Dewar-

gefäß aufgestellt war, waren ziemlich grosz. Dieses erschwert eine genaue Messung des von den Organismen verursachten Temperaturanstiegs. Weiter gibt Peirce nicht an, wie er die durch Leitung und Strahlung nach auszen abgegebene Wärme berechnet.

Die Versuche von Meyerhof und Hill sind viel exakter. Beide bestimmen sehr genau den Temperaturanstieg, den Abkühlungskoeffizienten und den Wasserwert der von ihnen verwandten Dewargefäße.

Meyerhof (21) senkt das Dewargefäß in einen Wasserthermostaten welcher bis auf 0.01° bis 0.02° konstant erhalten wird. Auf diese Weise ist der störende Einflusz von Temperaturschwankungen der Umgebung aufgehoben. Der Temperaturanstieg wurde bestimmt mit einem Beckmannthermometer. Der Fehler der Temperaturablesung betrug ungefähr 1 %. Der Abkühlungskoeffizient betrug $2.9-3.0\%$; bei einer etwas abgeänderten Aufstellung $3.4-3.5\%$. Der Wasserwert des Dewargefäßes mit Inhalt wurde zweimal bestimmt. Mittels eines elektrischen Stromes wurde eine bekannte Wärmemenge erzeugt und der Temperaturanstieg gemessen. Beide Versuche hatten genau dasselbe Resultat. Dieses deutet darauf hin, dasz die Genauigkeit grosz ist, obwohl die Übereinstimmung auch zufällig sein kann.

Während bei Meyerhof die Umgebungstemperatur konstant gehalten werden musz um die von der Wärmequelle verursachte Temperaturerhöhung messen zu können, ist das bei Hill nicht nötig. Er wendet eine andere Methode an (12). Haben zwei Dewargefäße denselben Abkühlungskoeffizienten und enthält ein davon die wärmeerzeugenden Objekte, so ist ihr Temperaturunterschied ganz unabhängig von der Auszentemperatur, weil die Temperatur von beiden Gefäßen in gleicher Weise durch diejenige der Umgebung beeinfluszt wird.

Zur Bestimmung der Genauigkeit dieser Methode brachte Hill in dem einen Gefäß eine elektrische Wärmequelle von

bekannter Stärke an. Die Ergebnisse dieser Versuche waren wie folgt:

Versuchsnummer	2	3	4	5	6
Versuchsdauer in Stunden ...	9	9	9	10	10
Calorien pro Stunde (beobachtet)	38.6	37.2	39.2	55	48.9
Calorien pro Stunde (berechnet)	37.2	38.7	39.9	50.5	51.8

Bei einer Versuchsdauer von 9 oder 10 Stunden und einer Wärmeproduktion von \pm 40 oder 50 cal. pro Stunde, waren die Fehler also + 3.8 %; — 3.9 %; — 1.8 %; + 9 % und — 5.6 %.

Durch Kunstgriffe kann der Einfluss des Wärmeaustausches stark verkleinert werden.

Meyerhof (23) macht darauf aufmerksam, dasz die Korrekturen für Wärmeaustausch sich fast vollständig herausheben wenn die Anfangstemperatur so gewählt wird, dasz etwa nach der halben Versuchszeit die Innentemperatur die Umgebungstemperatur überschreitet.

Hill (13) verkleinert den Wärmeaustausch sehr stark in folgender Weise. In dem Dewargefäß ist eine dünne Schraubenspirale aus Kupfer angebracht worden, durch die mit konstanter Geschwindigkeit Wasser strömt. Dieses Wasser durchläuft erst eine Spirale, welche um die Auszenwand des Dewargefäßes gewickelt ist, so dasz die Wand ständig dieselbe Temperatur hat wie das einströmende Wasser. Während das Wasser das Gefäß durchläuft, nimmt es fast alle erzeugte Wärme auf. Der Betrag der aufgenommenen Wärme ist gleich dem Produkt: Menge des hindurchgestromten Wassers \times Temperaturdifferenz zwischen dem ein- und ausströmenden Wasser. Letzteres wird auf thermoelektrischen Wege gemessen und registriert. Die Korrektur für Wärmeabgabe nach auszen ist infolge der geringen Temperaturerhöhung sehr klein.

Zur Eichung des Apparates wurde ihm mittels eines

elektrischen Stromes eine bekannte Wärmemenge mitgeteilt. Die Produktion betrug $\pm 14-52$ cal. pro Minute ($=840-3120$ cal. pro Stunde). Als maximaler Unterschied zwischen berechneter und gemessener Wärme wurde ein Betrag von fast 6 % gefunden.

Ganz anders ist die Methode mit der Fräulein Doyer (6, 6a) die Wärmeentwicklung bei der Keimung von Weizenkörnern bestimmte. Das eigentliche Calorimeter besteht aus einem Zylinder, dessen Boden aus Kupfer und dessen Seitenwand aus Glimmer gearbeitet ist. Beide sind perforiert. Die Glimmerwand ist oben durch einen Kupferring eingefaszt, worauf als Verschluss des Zylinders ein Glas-Trichter ruht, dessen Abfluszrohr bis auf einige Zentimeter abgeschnitten ist. Der Trichter ist mit einer dicken Filzschicht bedeckt. In diesem Calorimeter befindet sich ein Stativ aus Ebonit, auf das die zu untersuchenden Keimpflanzen gelegt werden. Das Ganze ist eingebaut in einen weiteren Kupferzylinder, welcher in ein Wasserbad gesenkt ist, dessen Temperatur konstant gehalten wird. Durch das Calorimeter kann ein Luftstrom geleitet werden; die Temperaturerhöhung, welche die Luft dabei erleidet, ist ein Maßstab für die entwickelte Wärme. Die Luft, welche durch einen Aspirator angesaugt wird, geht zuerst durch das Wasser eines ins Wasserbad eingesenkten Glasrohres und sättigt sich dabei mit Wasserdampf. Dann durchläuft sie eine Spirale, die um den äusseren Kupferzylinder gewickelt ist. Die Luft, welche nun in diesen Zylinder eintritt, hat also dieselbe Temperatur wie das Wasserbad. Durch die Löcher im Kupferboden und in der Glimmerseitenwand erreicht die Luft den Hohlraum des Calorimeters. Sie streicht nun über die keimenden Körner, nimmt deren Temperatur an und verlässt dann das Calorimeter durch das Abfluszrohr des Trichters. Der Temperaturanstieg wird auf thermoelektrischem Wege gemessen. Dazu befindet sich die eine Lötstelle eines Thermostromkreises an der

Stelle, wo die Luft in den äuszeren Zylinder eintritt. Die andere Lötstelle ist angebracht in dem obersten Teil des Trichters, also an der Stelle, wo die erwärmte Luft das Calorimeter verlässt. In diesem Kreise befindet sich ein Spiegelgalvanometer, dessen Lichtzeiger bei einer Temperaturdifferenz zwischen ein- und austretender Luft, einen Ausschlag auf einer verteilten Skala hervorruft.

Durch Eichung ist auf folgende Weise festgestellt worden, wieviel Grammcalorien einem Skalenteil entsprechen. An dem zur Aufnahme der zu untersuchenden Objekte bestimmten Stativ wird ein langer, dünner Manganindraht angebracht. Die Enden dieses Drahtes, dessen Widerstand bekannt ist, werden verbunden mit den Polen einer Stromquelle. Der Strom, welcher den Draht durchläuft, wird gemessen. Es wurde mit vier verschiedenen starken Wärmequellen geeicht. Pro Stunde wurden 3 l Luft durch das Calorimeter gesaugt.

Es dauerte 3 bis 4 Stunden, bevor die Temperatur ihr Maximum erreichte, um dann bei gleichbleibender Wärmequelle konstant zu bleiben. Die Resultate dieser Eichproben sind zusammengestellt in Tabelle II.

TABELLE II.

Temperatur des Wasserbades.	Ausschlag des Lichtzeigers auf der verteilten Skala bei einer stündlichen Produktion von:			
	52 cal.	209 cal.	361 cal.	471 cal.
20°	3.65 cm	17.21 cm		40.38 cm
30°	4.40 „	16.56 „		40.88 „
40°	4.22 „		31.22 cm	

Aus der Tabelle geht hervor, dasz die Ausschläge ungefähr der Stärke der Wärmequelle proportional sind. Wo der Einfluss von Fehlern bei der stärksten Wärmequelle am geringsten ist, wird der Ausschlag 40.88 bei 471 cal.

pro Stunde als Ausgangswert angenommen, d. h. ein Ausschlag von 1 cm entspricht einer Wärmeentwicklung von ungefähr 11.5 cal. pro Stunde.

Da nun der calorische Wert eines Skalenteiles bekannt ist, so kann umgekehrt die Stärke einer unbekannten Wärmequelle aus dem Ausschlag des Lichtzeigers berechnet werden.

Prof. Dr. Zernike machte mich darauf aufmerksam, dasz mit der hier beschriebenen Methode zwei wichtige Schwierigkeiten verbunden sind. Zunächst diese:

Auf Seite 54 schreibt Frl. Doyer mit Recht, dasz es wenigstens sehr schwierig, wo nicht gar unmöglich ist, zu berechnen, welcher Teil der entwickelten Wärme längs des Kupfers nach dem Wasserbade abgeleitet wird und welcher Teil zur Erwärmung der durchströmenden Luft dient. Deshalb muszte durch Eichung festgestellt werden, welche Wärmeproduktion einem bestimmten Ausschlag des Lichtzeigers entspricht. Mit Hilfe dieser Eichproben konnten nun auch die beiden gesuchten Wärmemengen berechnet werden. Auf S. 53 zeigt sich, dasz eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Lötstellen von 1° , einen Ausschlag des Lichtzeigers von 24.8 cm zur Folge hat. Bei den Eichproben wurde gefunden, dasz eine Wärmequelle von 471 cal. pro Stunde den Lichtzeiger zu einem Ausschlag von 40.88 cm veranlaszt. Dieser Ausschlag entspricht also einer Temperaturerhöhung von $\frac{40.88^{\circ}}{24.8}$, d. h. die Luft, welche längs des

Manganindrahtes streicht, erhöht ihre Temperatur dabei um $\frac{40.88^{\circ}}{24.8}$. Um 1 l Luft um 1° zu erwärmen sind 0.312 cal. erforderlich. Für die Erwärmung der 3 l Luft, welche pro Stunde durchgesaugt werden und sich dabei um $\frac{40.88^{\circ}}{24.8}$ erwärmen, sind also $3 \times 0.312 \times \frac{40.88}{24.8} = 1.54$ cal. erforderlich. Im ganzen werden pro Stunde 471 cal. erzeugt, d. h. nur

1.54 Teil oder 0.33 % der produzierten Wärme wird
471 durch die durchströmende Luft mitgeführt. Das Übrige wird nach dem Wasserbad abgeleitet.

Die Zahl der Eichproben ist zu gering, um aus denselben ein gutes Bild der Genauigkeit zu erlangen. Bei den Versuchen mit 52 cal, wovon noch drei erwähnt werden, schwankt der Ausschlag von 3.65 bis 4.40 cm. Die Variation beträgt also 18 %.

Es ist nun auch klar, warum die langen Temperaturnachwirkungen, welche bei dem Dewargefäß, womit Fr. Doyer zuerst die Versuche machen wollte, das Experimentieren unmöglich machten, hier nicht auftraten. Dieses kommt weniger daher, dasz die Kapazität des beschriebenen Apparates kleiner ist als diejenige des Dewargefäßes, sondern weil die Temperaturdifferenzen durch Leitung nach dem Wasserbade schnell verschwinden.

Die zweite Schwierigkeit liegt in der Trägheit der Temperaturreinstellung. Erst nach 3 bis 4 Stunden ist das Gleichgewicht erreicht. Die Wärmemessung bleibt also 3 bis 4 Stunden hinter dem wirklichen Zustande zurück.

Von Hári (10) wurde ein elektrisches Kompensationscalorimeter beschrieben. Die ursprüngliche Aufstellung, welche von Bohr und Hasselbalch (2) herrührt, ist von Tangl und Hári (42) und von Hári und Aszódi verbessert worden. Folgendes bezieht sich auf das Calorimeter, wie es von den letztgenannten abgeändert wurde.

Im wesentlichen besteht das Calorimeter aus zwei hohlen Kupferzylindern, die in einiger Entfernung von einander aufgestellt sind. Sie sind einerseits durch einen Konstantan-draht, andererseits durch einen Kupferdraht miteinander verbunden und bilden auf diese Weise einen thermoelektrischen Stromkreis. In die Kupferdrahtleitung ist ein Galvanometer eingeschaltet, dessen Spiegel einen Lichtzeiger auf eine verteilte Skala wirft. Der rechtsseitige Zy-

linder dient zur Aufnahme des Versuchstieres; in dem linksseitigen befindet sich eine Widerstandsspirale. Wird durch das Tier Wärme erzeugt, so erwärmt sich die Lötstelle des betreffenden Zylinders. Es entsteht ein Thermostrom und der Lichtzeiger gibt einen Ausschlag auf der Skala. Sobald dies der Fall ist, schickt man durch den Draht im anderen Zylinder, dessen Widerstand bekannt ist, einen elektrischen Strom von der Stärke, dasz die beiden Zylinder so gut wie möglich gleiche Temperatur behalten. Dies trifft zu wenn der Lichtzeiger in der Nähe der Nullstellung bleibt. Um die Wärmeabgabe an die Umgebung auf ein Minimum zu beschränken, sind beide Zylinder von je einem Dewargefäß umgeben. Das Ganze ist in einen Thermostaten eingesenkt, wodurch störende Temperaturschwankungen der Umgebung ausgeschlossen sind.

Es zeigte sich aber, dasz die durch das Tier erzeugte Wärme nicht ohne weiteres der elektrisch entwickelten Wärme gleichgesetzt werden darf. Es waren mehrere Korrekturen erforderlich, und die richtige Wärmemenge wird ausgedrückt durch die Formel:

$$\gamma \cdot i^2 \cdot w \cdot 0,239 \cdot 60 (t_2 - t_1) + \alpha (g_2 - g_1) + \beta \int g \cdot dt$$

Der erste Glied dieser Formel ist die elektrisch erzeugte Wärmemenge multipliziert mit der Konstante γ . Da trotz grösster Achtsamkeit bei der Anfertigung die Zylinder, inbetreff ihrer Wärmeisolierung und Beschaffenheit der beiden Lötstellen nicht ganz gleich sind, so werden beide Lötstellen durch gleiche Wärmemengen ungleich stark erwärmt. Oder gleich starke Erwärmung der Lötstellen wird durch ungleich starke Wärmeentwicklung herbeigeführt. Die im Widerstandsdräht erzeugte Wärme muss mit einem bestimmten Faktor γ (der Kapazitätskorrektur) multipliziert werden, um die durch das Versuchstier entwickelte Wärmemenge zu finden. Um γ zu bestimmen, wurde in beiden Zylindern elektrisch Wärme entwickelt

und die Stromstärken so lange reguliert, bis der Thermo-
kreis während mehrerer Stunden stromlos blieb. Die in
jedem der beiden Zylinder entwickelte Wärme kann be-
rechnet werden, sodass γ aus $W_r = \gamma \cdot W_1$ zu berechnen
ist. Bei einer gröszeren Zahl von Versuchen ergab sich für γ
ein Mittelwert von 0.876.

Die zweite Korrektur, die Kompensationskorrektur,
 $\alpha (g_2 - g_1) + \beta \int_{t_1}^{t_2} g \cdot dt$ ist erforderlich, weil die Kom-
pensation infolge der inkonstanten Wärmeproduktion des
Versuchstieres nie vollständig sein kann. Das erste Glied
ist die Wärme, welche ausser der elektrisch erzeugten erfor-
dert wird, um den Lichtzeiger aus der Stellung g_1 in die
Stellung g_2 zu bringen. Das zweite Glied ist die Wärme-
menge, welche nötig ist, um den Lichtzeiger in jener Stellung
zu halten.

Ausser den hiergenannten Korrekturen muss noch die
Wärme hinzugefügt werden, welche durch die Atmungsluft
mitgeführt wird. Da die Temperatur des Calorimeters sich
während des Versuches erhöht, wird die durchgeführte
Luft erwärmt werden. Diese Luft ist nun nicht mehr ge-
sättigt und nimmt im Zylinder eine Menge Wasserdampf
auf. Durch beide wird Wärme entzogen. Schliesslich müssen
auch noch die Änderungen im Körpergewicht und in der
Körpertemperatur des Versuchstieres in Rechnung gestellt
werden.

Was die Genauigkeit der Wärmemessung mit dieser
Methode betrifft bemerkt Hári (10, S. 749) dasz die Be-
stimmung von γ so einfach ist, dasz man hier keinen Fehler
begehen kann. Dies scheint mir im Widerspruch zu stehen
mit den Angaben auf S. 747. Da wird als Illustration bei der
Besprechung der Bestimmung von γ ein Versuch erwähnt,
in welchem der Wert von γ 0.860 beträgt. Unmittelbar
darauf schreibt Hári, dasz sich bei einer gröszeren Zahl
von Versuchen für γ ein Mittelwert von 0.876 ergab.

Daraus geht hervor, dasz der Wert von γ mindestens um 0.016 oder 1.8 % vom Mittelwerte abweichen kann, d.h. dasz auch die Ungenauigkeit der individuellen Wärmemessungen mindestens 1.8 % beträgt.

Aus dem gegebenen Beispiel ist weiter zu schlieszen, dasz die Wärmeproduktion ungefähr 600—700 cal. pro Stunde betrug.

Die Wärme, welche durch die Kompensationskorrektur zu Tage tritt, beträgt selbst bei recht groszen Galvanometerausschlägen nicht mehr als 5 % der ganzen Wärmeproduktion. Ein Fehler in der Bestimmung dieser Korrektur von z.B. 10 %, was ja ganz ausgeschlossen ist, beeinfluszt das Endergebnis der calorimetrischen Bestimmung nur wenig.

Die Empfindlichkeit des Apparates geht hervor aus den Versuchen zur Bestimmung von β . Hierbei wurde gefunden, dasz ein Galvanometerausschlag von 1 mm erzeugt wurde durch eine Wärmeproduktion von 1.6 cal. pro Stunde. Die von Rubner erzielte Empfindlichkeit ist also bedeutend gröszer.

Schlieszlich sei noch das Calorimeter besprochen, womit R. Wagner (46) die Wärmeentwicklung kleiner Säugetiere bestimmte. Seine Methode ist im Prinzip der unten beschriebenen eignen Methode gleich, insofern die entwickelte Wärme durch Abkühlung kompensiert wird. Das Prinzip stammt von v. Kries, der die entwickelte Wärme durch Kühlwasser abführte. Dieses Prinzip ist von Wagner in folgender Weise ausgearbeitet.

Der Apparat besteht aus zwei Dewargefäszen, wovon das eine für die Aufnahme des Tieres dient und ausserdem eine Kühlspirale enthält. In beiden Gefäszen befindet sich ein abgeschlossenes und mit Luft gefülltes Reservoir. Beide Reservoir sind miteinander verbunden durch ein Rohr, das einen Petroleumtropfen enthält. Steigt die Temperatur im ersten Gefäsz infolge der Wärmeproduktion durch das Versuchstier, so verschiebt sich der Tropfen. Dann wird

kaltes Wasser aus einem dritten Dewargefäß durch die Kühlspirale geleitet. Die Geschwindigkeit der Durchströmung kann durch einen Hahn so reguliert werden, dasz der Tropfen in der Nullstellung bleibt. Auf diese Weise wird durch das Wasser ebensoviel Wärme abgeführt als durch das Tier produziert wird. Deren Betrag ist gleich der Temperaturdifferenz zwischen dem ein- und ausströmenden Wasser, multipliziert mit der Masse des durchgestromten Wassers. Letzteres wird in einem vierten Dewargefäß gesammelt.

Um zu einer ungefährn Feststellung der Fehlergrenzen zu gelangen, bringt Wagner im ersten Dewargefäß anstatt des Versuchstieres, einen Draht von 2 Ohm Widerstand an. Der durchgeleitete Strom beträgt 0.4—0.5 oder 0.8—1.0 Ampère. Pro Stunde werden also 288—450 oder 1152—1800 cal. erzeugt. Tabelle III zeigt das Ergebnis einer Reihe solcher Versuche.

TABELLE III.

Versuchs-Nr.	Wärme berechnet in calorien.	Wärme gefunden in calorien.	Fehler in Prozenten des ber. Wertes.
37	444	429	— 3.4
38	546	525	— 3.9
39	342	353	+ 3.2
40	342	329	— 3.8
41	513	507	— 1.2
42	342	360	+ 5.3
43	385	374	— 2.9
44	479	480	+ 0.2
45	1026	1004	— 2.1
46	514	518	+ 0.8

Wir sehen, dasz die grösste positive Abweichung von der berechneten Wärmemenge 5.3 % beträgt; die grösste negative Abweichung 3.9 %. Die Variationsbreite ist also

9.2 %. Dieses trifft zu bei einer Wärmeproduktion von 342 bis 1026 cal. Ordnen wir die Versuche nach aufsteigender Zahl von calorien und vergleichen wir dann die Ergebnisse der ersten fünf Versuche mit denjenigen der letzten fünf, so zeigt sich, dasz die Fehler bei geringeren Wärmemengen gröszer sind als bei grösseren Mengen.

TABELLE IV.

Versuchs-Nr.	Wärme berechnet in calorien.	Wärme gefunden in calorien.	Fehler in Prozenten des ber. Wertes.
40	342	329	— 3.8
39	342	353	+ 3.2
42	342	360	+ 5.3
43	385	374	— 2.9
37	444	429	— 3.4

In dieser Gruppe von Versuchen ist die Variationsbreite 9.1 %; die grösste Abweichung 5.3 % und die mittlere Abweichung 3.7 %.

TABELLE V.

Versuchs-Nr.	Wärme berechnet in calorien.	Wärme gefunden in calorien.	Fehler in Prozenten des ber. Wertes.
44	479	480	+ 0.2
41	513	507	— 1.2
46	514	518	+ 0.8
38	546	525	— 3.9
45	1026	1004	— 2.1

Diese Versuche haben eine Variationsbreite von 4.7 %, eine grösste Abweichung von 3.9 % und eine mittlere Abweichung von 1.6 %.

Aus Obigem geht hervor, dasz die Fehler bei viel gerin-

geren Wärmeproduktionen z.B. von 40 und weniger cal. pro Stunde sicher grösser als 5.3 % sein werden.

Überblicken wir die besprochenen Methoden, so zeigt sich, dasz wir drei verschiedene Meszprinzipien unterscheiden können.

1. Die Bestimmung der entwickelten Wärme beruht auf der Messung des Wärmeausgleichs mit der Umgebung.
2. Maßstab für die entwickelte Wärme ist der Temperaturanstieg, welche die calorimetrische Masse erfährt.
3. Die entwickelte Wärme wird abgeführt.

Zur erstgenannten Gruppe gehören die Methoden von Rodewald, Rubner, Hári und Doyer.

Frl. Doyers Darstellung lässt vermuten, dasz ihre Methode zur dritten Gruppe gehört. Die durchgesaugte Luft dient ihrer Meinung nach zur Abführung der entwickelten Wärme. Aus obiger Berechnung geht jedoch hervor, dasz sich ein derartiges Temperaturgleichgewicht einstellt, bei dem praktisch alle Wärme nach dem Wasserbad abfließt. Die Wärmemenge, welche durch die Luft mitgeführt wird, ist sehr gering. Anstatt die Lötstelle im Luftstrom anzubringen wäre sie besser inmitten der wärmeerzeugenden Objekte angebracht worden.

Zur zweiten Gruppe gehören die Methoden von Bonnier, Peirce, Meyerhof und die erstgenannte Methode von Hill.

Die Methode von Wagner muss zur dritten Gruppe gerechnet werden. Auch die zweite Methode von Hill kann hier eingereiht werden, obgleich die entwickelte Wärme nicht vollständig abgeführt wird. Wir werden sehen, dasz auch die eigne Methode zu dieser Gruppe gehört.

Die Hauptschwierigkeit der Methoden der ersten Gruppe ist ihre Trägheit, da es immer einige Zeit dauert, bis die Temperatur ihren Gleichgewichtstand erreicht hat. Dieses gilt jedoch nur in sehr geringem Maße für die Methode von Hári.

Ein groszer Nachteil des zweiten Meszprinzips ist, dasz die Versuche nur sehr kurze Zeit dauern können, da sonst die Korrektur für die Wärmeabgabe zu grosz wird.

Die beiden genannten Schwierigkeiten haften den Methoden der dritten Gruppe nicht an.

Bei Hill und Wagner wird die erzeugte Wärme mit dem Wasser abgeführt, welches das Calorimeter durchströmt.

Die Wärmeabfuhr kann jedoch auch durch Flüssigkeitsverdunstung erzielt werden. Dieses Prinzip verdanke ich der Liebenswürdigkeit von Herrn Prof. Dr. F. Zernike.

Im Folgenden wird beschrieben werden, in welcher Weise dieses Prinzip ausgearbeitet wurde.

2. Eigne Methode.

Wie schon gesagt, wird die erzeugte Wärme durch Flüssigkeitsverdunstung abgeführt. Zu diesem Zweck befindet sich im Kulturgefäß auszer den wärmeerzeugenden Objekten, ein mit destilliertem Wasser gefülltes Gefäß (als Verdampfungsflüssigkeit wurde destilliertes Wasser gewählt), durch das trockene Luft gepumpt werden kann.

Bei der dann stattfindenden Verdunstung wird die entwickelte Wärme abgeführt. Sobald infolge der Wärmeabgabe durch den Organismus die Temperatur des Kulturgefäßes steigt, wird automatisch die Pumpe, welche die Luft durch das Wasser pumpt, in Tätigkeit gesetzt. Wenn hierdurch die Temperatur des Kulturgefäßes bis eben unter die ursprüngliche gesunken ist, wird die Pumpe automatisch zum Stehen gebracht. Durch die ununterbrochene Wärmeproduktion des Organismus steigt die Temperatur wieder; die Pumpe wird wieder in Tätigkeit gesetzt usw. Sorgt man für eine genaue Kompensation, so ist die entwickelte Wärme-menge der erzeugten Kälte gleich. Letztere entspricht einer gewissen Menge verdunsteten Wassers. Das verdunstete Wasser ist bei gegebener Temperatur durch das Volumen

der durchgeföhrten Luft bestimmt, und dieses wieder durch die Zahl der Pumpenschläge. Weisz man also, wieviel calorien einem Pumpenschlag entsprechen, so ist aus der Zahl der für die Kompensation benötigten Schläge die entwickelte Wärme sehr einfach zu berechnen.

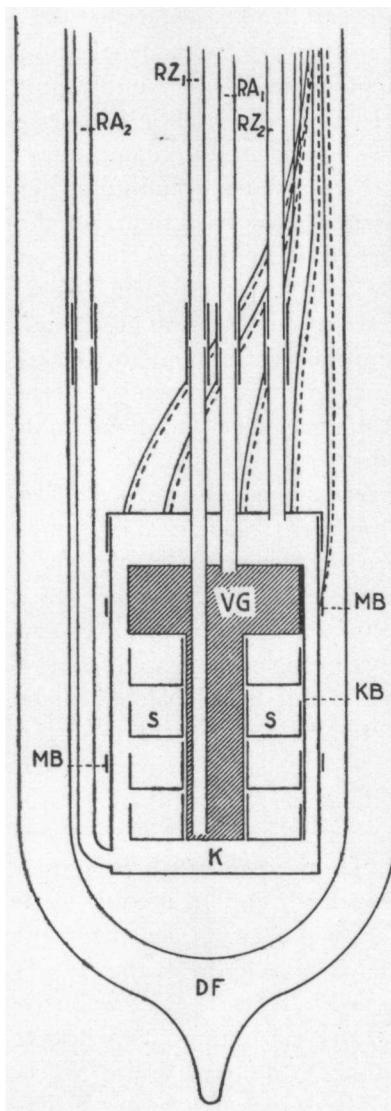
Nach dieser kurzen begrifflichen Darstellung der Arbeitsmethode, folge hier eine eingehendere Beschreibung, wobei nacheinander behandelt werden:

- A. Das Kulturgefäsz.
- B. Die Temperaturregulation.
- C. Die Vorrichtung zur automatischen Kompensation der entwickelten Wärme.
- D. Die Vorrichtung zur Bestimmung und Registrierung der Menge der entwickelten Wärme.
- E. Die Eichung des Calorimeters und die Genauigkeit der Wärmemessung.
- F. Die Empfindlichkeit des Calorimeters.
- G. Der Einflusz der Luftventilation im Kulturgefäsz auf den Betrag der gemessenen Wärme.
- H. Die Verwendung von Alkohol als Verdampfungsflüssigkeit.
- I. Vorteile und Verwendungsmöglichkeiten des Calorimeters.

A. Das Kulturgefäsz.

Es ist ein zylindrisches, dünnwandiges, aus Rotkupfer gearbeitetes Gefäsz K (Fig. 1, 2) von ungefähr 300 ccm Inhalt, das durch einen Deckel abgeschlossen ist. Die Höhe beträgt 10.5 cm, der Durchmesser 6 cm, die Wandstärke 0.5 mm. Wie schon gesagt, enthält es sowohl die Kälte- als auch die Wärmequelle. Die Kältequelle ist ein aus Messing gearbeitetes Verdampfungsgefäsz VG (Fig. 1 und 2), welches aus einem oberen, weiten und einem unteren, viel engeren Zylinder besteht, deren Durchmesser 5 bzw. 1.6 cm und deren Höhen 1.5 bzw. 6.5 cm betragen. Die Wandstärke

ist 0.5 mm. Zu Beginn des Versuches ist dieses Gefäsz fast ganz mit destilliertem Wasser gefüllt. Die Röhrchen RZ_1 und RA_1 (Fig. 1 und 2) dienen für die Zu- und Ableitung der Luft, welche sich beim Passieren des Wassers mit Dampf sättigt und auf diese Weise die zur Kompensation benötigte Kälte erzeugt. Durch die Erweiterung des Verdampfungsgefäßes wird erzielt, dasz das Flüssigkeitsniveau infolge der Verdunstung nur sehr wenig sinkt. Mit Rücksicht auf die Wärmeleitung sind die Röhrchen RZ_1 und RA_1 aus Glas angefertigt. Im untersten Teile (von 5 cm über dem Deckel des Kulturgefäßes an) ist die Wand aus Messing gearbeitet, um die Röhrchen am Verdampfungsgefäß und am Deckel des Kulturgefäßes festlöten zu können. So können sie ausser für die Zu- und Abfuhr der Luft zugleich dazu dienen, das Verdampfungsgefäß im Kulturgefäß aufzuhängen. Seinerseits trägt das Verdampfungsgefäß vier silberne Schälchen S (Fig. 1), welche zur Aufnahme der Organismen bestimmt sind. Jedes dieser zylindrischen Schälchen hat in der Mitte eine Durchbohrung, welche dazu dient, die Schälchen über den engen Teil des Verdampfungsgefäßes schieben zu können. Die Wände der Durchbohrungen schlieszen federnd gegen das Verdampfungsgefäß damit die Schälchen nicht nach unten gleiten. Da die Wände der Durchbohrungen 1.5 cm und die Seitenwände 1 cm hoch sind, bleibt zwischen den Schälchen noch ein 0.5 cm hoher Raum übrig, durch den die Luft zum Schimmelpilz gelangen kann. Diese Art der Aufstellung wurde gewählt, um einen möglichst guten Wärmeaustausch zwischen Wärme- und Kältequelle zu erzielen. Durch die metallenen Wände der Schälchen und des Verdampfungsgefäßes gleichen sich die Temperaturdifferenzen zwischen beiden sehr schnell aus, wodurch die Trägheit der Aufstellung auf ein Minimum beschränkt wird. Dieser Austausch wird noch auf eine andre Weise gefördert. Da der Durchmesser der Grundfläche der Schälchen ebenso wie derjenige des weiten Teiles des Verdamp-



fungsgefäßes 5 cm beträgt, so ist es möglich, von dieser Erweiterung an zwei Kupferbänder KB (von denen eins in Fig. 1 eingezeichnet ist), längs den Seitenwänden der Schälchen anzubringen. Dann steht nicht nur der mehr zentrale Teil sondern auch die Peripherie der Wärmequelle in einem gut wärmeleitenden Kontakt mit der Kältequelle. Die Breite jedes Bandes beträgt ein Viertel der Peripherie der Schälchen, sodass der Schimmelpilz noch genügend Sauerstoff aus der Luft aufnehmen und Kohlensäure abgeben kann.

Um ausser der Wärme auch die produzierte Kohlensäure bestimmen zu

Fig. 1. Längsschnitt durch das Kulturgefäß.

DF = Dewar-Flasche; K = Kulturgefäß; KB = Kupferband; MB = Messingbänder; RZ₁, RZ₂, RA₁, RA₂ = Zu- und Ableitungsröhrchen; S = Schälchen; VG = Verdampfungsgefäß.

können, wird sie aus der Luft des Kulturgefäßes durch Barytwasser absorbiert. Hierauf wird später näher eingegangen werden.

B. *Die Temperaturregulation.*

a. *Das Wasserbad.*

Um den Wärmeaustausch mit der Umgebung auf einen möglichst kleinen Betrag zu beschränken, ist das Kulturgefäß auf den Boden einer 40 cm tiefen und 8 cm weiten Dewar-Flasche DF (Fig. 1 und 2) gestellt. Obwohl auf diese Weise eine vorzügliche Wärmeisolierung erhalten wurde, machten sich doch lange anhaltende Temperaturschwankungen in der Dewar-Flasche geltend. Um dem vorzubeugen, wurde sie in einem weiteren und höheren Zylinder ZY (Fig. 2) eingebaut und so in das Wasser von Bad WB (Fig. 2) gestellt. Der Zylinder, dessen Durchmesser 16 cm und dessen Höhe 45 cm beträgt, ist durch einen 4 cm hohen Deckel abgeschlossen. Dieser Deckel kann losgeschraubt werden, wenn das Kulturgefäß aus der Dewar-Flasche genommen werden muss. Dabei wird der Zylinder mit Hilfe eines Takels so hoch aufgezogen, dass der Unterrand des Deckels sich ein wenig über der Wasserfläche befindet. Nachdem er losgeschraubt ist, wird der Deckel mit einem zweiten Taktel aufgezogen und in geeigneter Höhe aufgehängt.

Der Deckel läuft aus in ein 6 cm weites Rohr R_1 (Fig. 2), das angebracht ist, um die Zu- und Ableitungsröhrchen des Kulturgefäßes durchzulassen. Das Rohr ist jedoch so eng wie möglich gehalten. Innerhalb der Dewar-Flasche war von den im Zimmer auftretenden Temperaturschwankungen nichts zu bemerken. Praktisch sind Zylinder und Dewar-Flasche also ganz von Wasser umgeben und ihre Temperatur ist nur von derjenigen des Wassers abhängig. Die Temperatur desselben wird sehr genau auf 22° C. reguliert. Die Schwankungen betragen sicher nicht mehr als 0.001° C.

Eine derartig genaue Temperaturregulierung wurde durch folgende Massnahmen erzielt:

1. Ein groszes Wasserbad wird in einem Zimmer mit konstanter Temperatur aufgestellt. Der mit Holz umkleidete und aus Zink gearbeitete Behälter, worin sich das Wasser befindet, ist 80 cm lang, 60 cm breit und 60 cm tief. Das Wasser reicht bis ungefähr 5 cm unter den Rand. Seine Menge beträgt also \pm 260 l. Auch wenn sich im Wasser kein Heizkörper befindet, wird doch seine Temperatur nicht der mittleren Zimmertemperatur gleich sein. Sie bleibt infolge der Wasserverdunstung darunter. Dieser Umstand wurde benutzt, um das Bad auf eine Temperatur zu bringen die ungefähr 1°C. niedriger ist als diejenige des Zimmers. Später wird sich zeigen, weshalb das erwünscht war. Eine besondere Regulierung war erforderlich, weil die Feuchtigkeit der Zimmerluft nicht konstant gehalten wurde. Je trockener die Luft ist, um so stärker ist die Verdunstung und um so mehr fällt die Temperatur des Wassers. Die Verdunstung ist ausserdem noch abhängig von dem Bewegungszustand der Luft.

Aus Obigem geht hervor, dasz eine schwache Heizung schon ausreicht.

2. Es wird ein sehr empfindlicher Thermoregulator THR (schematisch in Fig. 2) verwendet. Das Toluol befindet sich in einem fünffach gewundenen Glasrohr mit einem Durchmesser von 0.75 cm. Die Temperaturschwankungen des Wassers teilen sich, dank der groszen Oberfläche des Glasrohres, schnell dem Toluol mit. Zusammen mit dessen groszem Volumen (ungefähr 60 ccm) gibt dies eine grosse Empfindlichkeit.

3. Das Wasser wird durch zwei Rührer RU (Fig. 2) kräftig gerührt. Der Heizkörper HK (Fig. 2), eine Kohlenfadenlampe von 16 Watt, wird so nahe am Regulator aufgestellt, dasz der durch das Rühren erzeugte Wasserstrom die Wärme direkt nach dem Regulator führt. Das

hat zur Folge, dasz die Lampe in sehr kurzen Perioden ein- und ausgeschaltet wird und die Temperaturschwankungen sehr klein bleiben. Es wurde versucht deren Grösze mit einem Beckmann-Thermometer zu messen. Obwohl hiermit ein tausendstel Grad noch abgeschätzt werden kann, konnte auch nicht die geringste Temperaturänderung abgelesen werden. Das gelang ebensowenig, wenn das Thermometer auf verschiedene Stellen im Wasserbad gebracht wurde. Daraus geht hervor, dasz die Temperatur des Bades überall dieselbe ist und die durch das Ein- und Ausschalten des Heizkörpers verursachten Temperaturschwankungen kleiner als 0.001° sind. Letzteres geht auch aus einer Berechnung hervor. Jedesmal wechselt eine Periode von ungefähr zehn Sekunden Brenndauer der Lampe ab mit einer Periode von ungefähr zwanzig Sekunden, während welcher die Lampe ausgeschaltet ist. Die 16-Watt Lampe entwickelt während der zehn Sekunden ungefähr 40 cal. (Hier wie auch im Folgenden sind mit cal. stets Grammcalorien gemeint.) Die Wärmemengen werden durch Rühren fortwährend über die gesamte Wassermasse von 260 l verteilt, sodasz der periodische

$$\text{Temperaturanstieg des Wassers } \frac{40}{260000} = \text{ungefähr } 0.0002^\circ \text{ C}$$

beträgt. Da das Mischen stets einige Zeit in Anspruch nimmt, werden die Temperaturschwankungen wohl etwas gröszer sein als hier berechnet, aber sie erreichen, den Thermometerablesungen gemäsz, doch nicht den Wert von 0.001° .

Um das Risiko des Durchbrennens der Lampe zu verhüten, wurden zwei, dicht nebeneinander gestellte Lampen, jede von 16 Watt, für die Heizung verwandt. Wenn auch eine der Lampen durchbrennt, so behält das Bad noch die gewünschte Temperatur. Die Temperaturschwankungen sind jetzt nicht gröszer, weil die beiden Lampen nur während einer halb so langen Periode brennen wie eine Lampe.

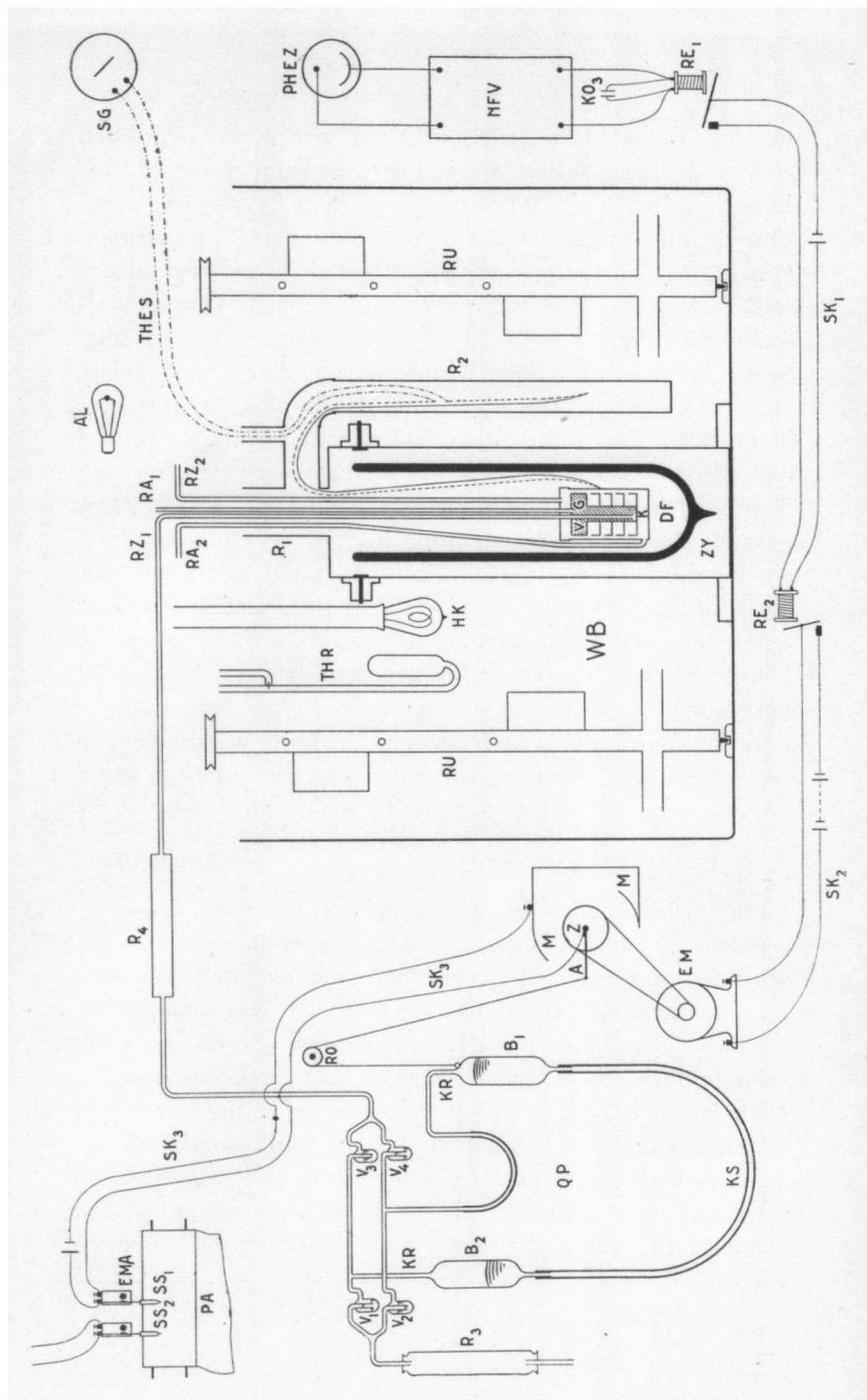


Fig. 2. Schema des Calorimeters.

A = Arm; AL = Autolampe; B₁, B₂ = Behälter; DF = Dewar-Flasche; EM = Elektromotor; EMA = Elektromagnet; HK = Heizkörper; K = Kulturgefäß; KO₃ = Kondensator; KR = Kapillarröhrchen; KS = Kautschukschlauch; M = Messingfedern; NFV = Niederfrequenzverstärker; PA = Papierrolle; PHEZ = photoelektrische Zelle; QP = Quecksilberpumpe; R₁ = Rohr; R₂ = Rohr mit Parafinöl; R₃, R₄ = Röhre mit P₂O₅; RE₁, RE₂ = Relais; RO = Rolle; RU = Rührer; RZ₁, RZ₂, RA₁, RA₂ = Zu- und Ableitungsrohre; SG = Spiegelgalvanometer; SK₁, SK₂, SK₃ = Stromkreise; SS₁, SS₂ = Schreibstifte; THES = thermoelektrischer Stromkreis; THR = Thermoregulator; V₁, V₂, V₃, V₄ = Ventile; VG = Verdampfungsgefäß; WB = Wasserbad; Z = Zahnrad; ZY = Zylinder.

Bei einer so genauen Temperaturregulierung erfährt das Kulturgefäß, wenn es sich einmal im Temperaturgleichgewicht befindet, keine Temperaturänderung mehr. Die schnellen Schwankungen von weniger als 0.001° dringen dank der Isolierung und der Wärmekapazität der Umhüllung nicht in die Dewar-Flasche. Die Temperaturkonstanz ist von Bedeutung für eine richtige Wärmekompensation wie im folgenden Abschnitt (C) näher gezeigt wird.

b. Die isolierende Wirkung der Dewar-Flasche.

Infolge der vorzüglichen Isolierung dauert es eine geraume Zeit, bis die Innenwand des Dewargefäßes und damit dessen Inhalt den Zustand des Temperaturgleichgewichts erreicht hat. Um über deren Geschwindigkeit ein Urteil zu erlangen, wurde das Gefäß am 20.4.31 mit Wasser gefüllt, das ungefähr 1.5° wärmer war als das Wasserbad. Ungefähr eine Stunde später, wenn anzunehmen war, dassz die ganze Innenwand die Temperatur des eingegossenen Wassers angenommen hatte, wurde das Wasser ausgehebelt und die Wand mit einem Wattepfropfen getrocknet. Darauf wurde der Kupferzylinder, welcher das Dewargefäß umhüllt, geschlossen und in das Wasserbad gesetzt. Die Temperaturdifferenz zwischen Dewargefäß

und Wasserbad verkleinerte sich wie in der Tabelle VI angegeben ist.

TABELLE VI.

Tag.	Zeit.	Temperaturdifferenz in Graden.
20.4.31	12.15	1.52
	13.45	1.12
	16.45	0.74
21.4.31	9.30	0.14
	11.30	0.128
	15.—	0.11
	17.—	0.107
22.4.31	9.—	0.095
	16.—	0.09

Am 23.4.31 morgens waren Zimmer und Wasserbad infolge eines Fehlers in der Regulierung, zu warm; nachdem beide wieder auf die richtige Temperatur gebracht worden waren, wurden die Ablesungen fortgeführt.

23.4.31	11.—	0.10
	15.—	0.097
24.4.31	9.30	0.08
	17.—	0.078
25.4.31	8.15	0.073
	16.30	0.07
27.4.31	9.30	0.065

Bei der ziemlich groszen Temperaturdifferenz während des ersten Tages fällt die Temperatur ziemlich schnell. Vom 23.4.31 bis zum 27.4.31, also während vier Tage, beträgt der Temperaturabfall nur 0.035° , d.h. 0.009° pro Tag. Während der beiden letzten Tage nur 0.004° pro Tag bei einer Temperaturdifferenz von 0.07° . Der Versuch wurde nicht weitergeführt, weil die Trägheit des Temperaturaustausches sich genügend gezeigt hatte. Diese Trägheit forderte aber Vorsichtsmaßregeln, um zu verhindern, dass die Temperatur der Innenwand am Anfang des

Versuches von der Gleichgewichtstemperatur abwich. Dies wurde in ganz einfacher Weise erreicht, indem das Dewar-gefäß mit Zylinder auch zwischen den Versuchen im Wasserbade gehalten wurde. Nun traten tatsächlich die unerklärbaren Temperaturabweichungen, welche die Veranlassung zu obigem Versuch waren, nicht mehr ein. Die genannten Abweichungen dauerten sogar bis zwei Wochen nach dem Einstellen der Dewar-Flasche ins Wasserbad, bald im positiven, bald im „negativen Sinn. Es ist nun klar, dasz die Innenwand beim Einsetzen der Dewar-Flasche in das Wasserbad im ersten Fall zu warm, im zweiten Fall zu kalt war.

C. Die Vorrichtung zur automatischen Kompensation der entwickelten Wärme.

a. Allgemeine Anordnung.

Jetzt soll besprochen werden, wie eine richtige Wärme-kompensation erzielt wird. Die Wasserverdunstung im Verdampfungsgefäß muss so reguliert werden, dasz weder zu viel noch zu wenig Wärme abgeführt wird. Als erstes Glied in der Kette, welche dies ermöglicht, fungiert der thermoelektrische Stromkreis THES (Fig. 2). Der Kreis besteht aus zehn Konstantandrähten mit einem Durch-messer von 0.3 mm und zehn Manganindrähten mit einem Durchmesser von 0.5 mm. Jeder Draht ist ungefähr 85 cm lang. Der ganze Kreis enthält also zwanzig Löt-stellen, welche alle hintereinander geschaltet sind. Die eine Gruppe von zehn zusammenwirkenden Lötstellen ist in zwei Reihen von je fünf durch zwei Messingbänder MB (Fig. 1) gegen die Seitenwand des Kulturgefäßes festgeklemmt. Um einem Kurzschluss vorzubeugen, be-finden sich die Lötstellen zwischen zwei dünnen Zelluloid-streifen. Die zweite Gruppe von zehn Lötstellen befindet sich in dem mit Paraffinöl gefüllten Metallrohr R_2 (Fig. 2). Die Lötstellen sind durch einen Gummischlauch gegen

Berührung mit der metallenen Wand des Rohres geschützt. Ebenso ist dafür gesorgt, dasz die Lötstellen nicht gegenseitig Kontakt machen können. Genanntes Rohr R_2 (Fig. 2) ist am Rohr R_1 (Fig. 2) festgelötet und steckt in demselben Wasserbade wie das Dewargefäß. Die Lötstellen erfahren also keine Temperaturänderungen, da die Schwankungen von weniger als 0.001° durch die Kapazität des mit Öl gefüllten Rohres völlig abgeflacht werden.

Die in einem Bündel nebeneinander laufenden Konstantan- und Manganindrähte sind, um einem Kurzschluss vorzubeugen, jede besonders in Isolierschlauch gesteckt. Deutlichkeitshalber ist in Fig. 2 von jedem dieser Drähte nur einer gezeichnet. Ebensowie in Fig. 1 stellt die ausgezogene Linie einen Manganindraht dar; die punktierte einen Konstantandraht. Die gestrichelten Linien geben die kupfernen Verbindungsdrähte mit dem in den Stromkreis aufgenommenen Spiegelgalvanometer SG (Fig. 2) wieder. Dieses Spiegelgalvanometer (Firma Kipp en Zn., Delft; Typus V) dient dazu ein wenig Licht der Autolampe AL (Fig. 2) in die photoelektrische Zelle PHEZ (Philips No. 3510) zu werfen. Der auf diese Weise erzeugte photoelektrische Strom wird durch einen Niederfrequenzverstärker NFV (Fig. 2) verstärkt. Je mehr Licht in die Photozelle fällt, um so stärker ist der Anodenstrom der Endröhre. Sobald dieser die Stärke von ungefähr 4 mA erreicht, wird ein in diesen Anodenkreis geschaltetes Relais RE_1 (Fig. 2) betätigt. Nimmt die Stromstärke ab bis ungefähr 3 mA, so federt der Anker wieder zurück. Das Spiegelgalvanometer wird nun so aufgestellt, dasz im Zustand des Temperaturliegengewichts soviel Licht in die Photozelle fällt, dasz ein Strom von $3\frac{1}{2}$ mA durch das Relais flieszt. Wenn die Temperatur der Lötstellen infolge einer Wärmeproduktion im Kulturgefäß steigt, so entsteht ein Thermostromchen, welches den Spiegel zu einer geringen Rechtsdrehung veranlasst. Nun fällt etwas

mehr Licht in die Photozelle und der Anodenstrom nimmt zu. Hat er die Stärke von 4 mA erreicht, so wird der Anker des Relais RE_1 angezogen und der Stromkreis SK_1 (Fig. 2) geschlossen. Hierdurch wird das Relais RE_2 betätigt und der Stromkreis SK_2 geschlossen. Der in diesen Kreis eingeschaltete Elektromotor EM setzt sich in Bewegung und treibt die Quecksilberpumpe QP. Beim Rotieren des Zahnrades Z wird der Behälter B_1 der Pumpe auf- und ab bewegt.

Die vier Ventile V_1 , V_2 , V_3 und V_4 sorgen dafür, dass hierbei ein Luftstrom einer bestimmten Richtung (in Fig. 2 von links nach rechts) entsteht. Ehe die Luft die Pumpe erreicht, passiert sie zur Trocknung das mit P_2O_5 gefüllte Rohr R_3 . Sicherheitshalber streicht sie nochmals über P_2O_5 (Rohr R_4). Darauf durchläuft sie eine ins Wasserbad gesenkte Bleispirale (nicht in die Fig. eingezeichnet) und nimmt dabei die Temperatur des Bades an. Dann passiert die völlig trockene Luft das Wasser im Verdampfungsgefäß VG. Die hierbei stattfindende Verdunstung kühlte das Wasser und die Wand des Gefäßes ab, die nun dem Organismus und der Nährösung Wärme entziehen. Mit ihnen kühlen sich auch die Seitenwände des Kulturgefäßes und die Lötstellen ab. Der Thermstrom nimmt ab, und der Spiegel des Galvanometers dreht zurück, wodurch der Anodenstrom der Endröhre sinkt. Sobald er eine Stärke von 3 mA erreicht hat, federt der Anker des Relais RE_1 zurück wodurch Motor und Pumpe zum Stillstehen kommen. Die Wärmeabfuhr ist dann beendet. Durch die unablässige Wärmeproduktion des Organismus steigt die Temperatur wieder; die Abkühlung wird wieder in Tätigkeit gesetzt, usw.

Nach diesen allgemeinen Ausführungen über den Gang der Wärmekompensation müssen einige Apparate etwas ausführlicher behandelt werden. Zunächst der Niederfrequenzverstärker bei dessen Behandlung zugleich die

Empfindlichkeit der Apparatur zur Sprache kommen wird. Zweitens folgt eine Beschreibung der Quecksilberpumpe.

b. Der Niederfrequenzverstärker und die Empfindlichkeit der Apparatur.

Der Niederfrequenzverstärker ist schematisch gezeichnet in Fig. 3. Das Lichtbündel, welches durch das Spiegelgalvanometer (SG) in die photoelektrische Zelle (PHEZ) geworfen wird, stammt von der Autolampe AL (16 Volt; 50 Kerzen). Zwei Linsen L_1 und L_2 bilden, in einem Abstand von ungefähr 25 cm hinter dem Spiegel, ein vergrößertes Bild der Glühspirale. Wo das Bild erscheint, befindet sich ein verstellbarer Schirm SM wo entlang je nach dem Stande des Galvanometers mehr oder weniger Licht in die Photozelle fällt. Dicht hinter dem Schirm ist die plan-convexe Linse L_3 aufgestellt welche das Licht derart konzentriert, dasz alle Strahlen durch das kleine runde Fenster (Durchmesser 2 cm) in die Zelle eintreten.

Die zur Erzeugung eines photoelektrischen Stromes benötigte Spannung wurde einer Pertrix-Anodenbatterie AB entnommen. Sie beträgt ungefähr 100 V, was die geeignete Spannung für den gebrauchten Typus der Photozelle ist. Durch den Schalter SR kann die Spannung bei Nichtgebrauch leicht ausgeschaltet werden. Im Kreise befindet sich weiter ein Widerstand von 8 Megohm (W_1). Wird der Photostromkreis, auf die Weise wie in der Figur gezeichnet ist, mit dem Gitter der Elektronenröhre ER_1 (Philips A 425) verbunden, so veranlassen Schwankungen des Photostromes, Spannungsvariationen am Gitter. Im Zustand der Stromlosigkeit hat nämlich das Gitter das Potential — 3 V. Hat eine Belichtung einen Photostrom von z.B. 1 Mikro-ampère zur Folge, so entsteht zwischen den Enden des Widerstandes W_1 eine Potentialdifferenz von $0.000001 \times 8000000 = 8$ Volt. Da das der Batterie zugekehrte Ende auf — 3 Volt bleibt, musz das andere

Ende und folglich auch das Potential des Gitters um 8 Volt fallen.

Der auf solche Weise erhaltene Potentialfall schwächt den Anodenstrom ab. Die so zu erzielenden Stromvariationen würden sehr gut imstande sein, ein in diesen Anodenkreis eingeschaltetes Relais zu betätigen. Um jedoch eine gröszere Empfindlichkeit zu erzielen, wurden diese Variationen mittels zweier Elektronenröhren und Transformatoren nochmals verstärkt. Nun ist eine Transformatorenverstärkung nur möglich bei Wechselstromen. Es muss also dafür gesorgt werden, dasz im genannten Anodenkreis Stromvariationen von genügend hoher Frequenz entstehen. Dies wurde erzielt durch Drehung einer gezahnten Scheibe S, welche an geeigneter Stelle im Lichtbündel dicht hinter dem durch die erste Linse L_1 entstandenen Bild angebracht war. Die Zahl der Zähne beträgt 45. Diese Scheibe wird mit Hilfe eines Elektromotors mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 5 Umdrehungen pro Sekunde gedreht. Das Licht wird also ungefähr 200 mal pro Sekunde abwechselnd aufgefangen und durchgelassen. Hierdurch entsteht in der Photozelle ein Strom, der ebenso oft seine Stärke ändert von Null bis zu einem bestimmten Wert, der abhängig ist vom Stande des Galvanometerspiegels. Dieser Strom verursacht ebenso schnelle Spannungsvariationen am Gitter der ersten Elektronenröhre ER_1 mit dem Erfolg, dasz in dessen Anodenkreis ein Wechselstrom entsteht. Die hierbei auftretenden Spannungsvariationen an den Enden der primären Wicklung des Transformatoren T_1 (Lissen Hypernik) werden verstärkt weitergegeben an das Gitter der Röhre ER_2 (ebensowie der erste ein Philips A 425), dem ebenfalls eine negative Spannung von 3 V gegeben ist. Diese Gitterspannungen erzeugen noch stärkere Spannungsvariationen am Gitter der Endröhre ER_3 (Philips B 409).

In dessen Anodenkreis ist das schon erwähnte Relais

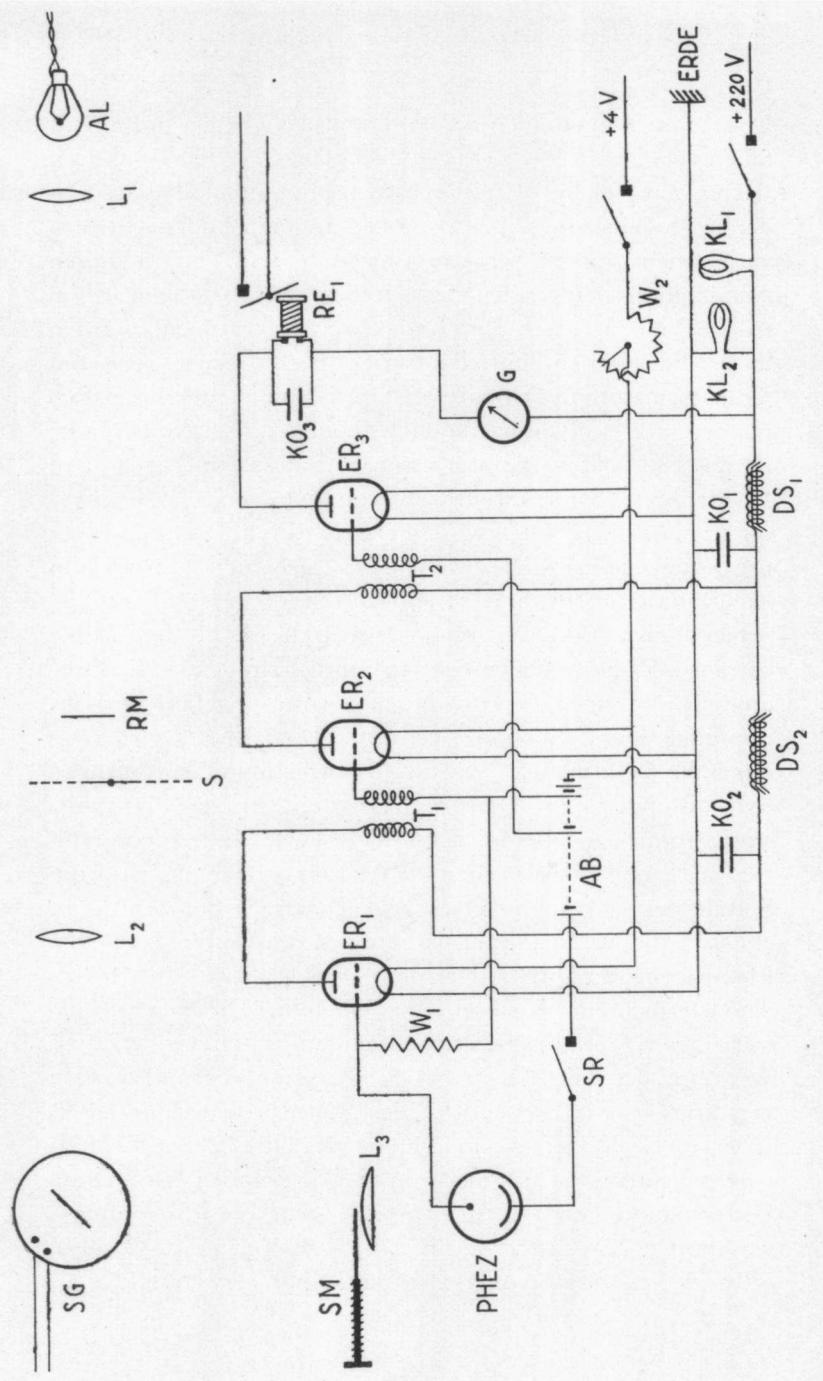


Fig. 3. Schema des Niederfrequenzverstärkers.

AB = Anodenbatterie; AL = Autolampe; DS₁, DS₂ = Drosselspulen; ER₁, ER₂, ER₃ = Elektronenröhren; G = Galvanometer; KL₁, KL₂ = Kohlenfadenlampen; KO₁, KO₂, KO₃ = Kondensatoren; L₁, L₂, L₃ = Linsen; PHEZ = photoelektrische Zelle; RE₁ = Relais; RM = Rasiermesserchen; S = Scheibe; SG = Spiegelgalvanometer; SM = Schirm; SR = Schalter; T₁, T₂ = Transformatoren; W₁, W₂ = Widerstände.

RE₁ eingeschaltet. Da der Endröhre eine Gitterspannung von — 27 V gegeben wurde, wirkt sie als Gleichrichter, demzufolge der Anodenkreis nur Stromstöße in einer Richtung empfängt. Diese Stöße haben selbstverständlich ebenfalls eine Frequenz von 200 pro Sekunde. Um vorzubeugen, dass hierdurch das Relais zu vibrieren anfängt, werden die Stöße abgeflacht durch einen dem Relais parallel geschalteten Kondensator KO₃. Dann flieszt durch die Magnetspulen des Relais ein Gleichstrom, dessen Stärke das Mittel der Stromstöße ist. Die Stärke dieser Stöße hängt ab von der Grösse der Stromvariationen im Photokreise und diese ihrerseits von der Lichtmenge, welche in die Photozelle fällt. Also: je weiter der Spiegel des Galvanometers nach rechts gedreht ist, desto stärker wird der Anodenstrom der Endröhre sein. Seine Stärke kann man jederzeit vom Galvanometer G ablesen.

Die Frequenz von 200 pro Sekunde wurde gewählt, weil sie die beste Verstärkung gab. Freilich verstärken die Transformatoren bei höheren Frequenzen besser als bei niedrigeren; aber die Stromvariationen im Photokreise werden bei höheren Frequenzen durch die kapazitive Wirkung der Zelle viel mehr abgeflacht. Durch die Schaltungsweise der Photozelle und ebenso durch andre kleine Vorsichtsmasregeln wurde die Kapazität jedoch so klein wie möglich gehalten.

Anfangs zeigte sich eine Rückkopplung. Sie wurde dadurch beseitigt, dass sowohl die erste und zweite als

auch die zweite und dritte Elektronenröhre mittels zweier Drosselpulen (DS_1 ; DS_2) mit Kondensatoren (KO_1 ; KO_2) voneinander geschieden wurden.

Eine zweite Störung bestand darin, dasz die Kollektorfunkentwicklung des Elektromotors, welcher mit der gezahnten Scheibe gekoppelt ist, Variationen im Photokreise und Spannungsvariationen am Gitter der ersten Röhre ER_1 induzierten. Diese wurden durch das System verstärkt und veranlassten störende Stromstösze im Anodenkreis. Diese Störung wurde praktisch dadurch beseitigt dasz sowohl der Photostromkreis (ausser der Batterie und den Zufuhrdrähten) als auch die erste Röhre und der erste Transformator mit Blech abgeschirmt und dieses Blech geerdet wurde.

Um eine lange Lebensdauer der Röhren zu sichern, etwas, was mit Rücksicht auf die lange Versuchsdauer von grosser Wichtigkeit ist, wurde die Glühspannung durch den Widerstand W_3 ein wenig unter dem erlaubten Betrag gehalten. Weiter wurde als Anodenspannung 160 Volt angelegt, während 200 V noch erlaubt sind. Um die Spannung des Lichtnetzes bis 160 V zu erniedrigen, wurde in die positive Leitung eine 32-Watt Kohlenfadenlampe KL_1 eingeschaltet. Zur Verhinderung eines Spannungsanstiegs bei geringer Stromabnahme auf 220 V wurde noch eine 5-Watt Kohlenfadenlampe KL_2 , in der Schaltung, wie in Fig. 3 gezeichnet, angebracht. Nun flieszt fortwährend ein Strom von solcher Stärke durch Lampe KL_1 , dasz sie einen Spannungsverlust von mindestens 60 V bewirkt.

Die Empfindlichkeit der Aufstellung wurde auf folgende Weise bestimmt.

Wir haben gesehen, dasz der Anker des Relais RE_1 durch einen Strom von 4 mA angezogen wird, bei einer Abschwächung der Stromstärke auf 3 mA wieder zurückfedert und weiter, dasz im Temperaturgleichgewicht ein Strom von $3\frac{1}{2}$ mA im Anodenkreis flieszt. Um die Wärmekompensation in Gang zu setzen, ist also eine so

grosze Drehung des Spiegels nach rechts erforderlich, dasz der Strom von $3\frac{1}{2}$ auf 4 mA gebracht wird. Mit Hilfe des verstellbaren Schirmes SM (Fig. 3) kann festgestellt werden, welche Versetzung des Bildes zu einer solchen Stromzunahme genügt. Der Schirm wird eingestellt mittels einer feinen Schraube, deren Kopf mit einer zehnteiligen Skala versehen ist. Bei einmaligem Umdrehen verschiebt sich der Schirm um 1 mm. Zur Erhöhung der Stromstärke von $3\frac{1}{2}$ mA auf 4 mA genügte eine Verschiebung des Schirmes um eine Strecke von $\frac{1}{20}$ mm, d.h. eine Wärmequelle, welche imstande ist, den Galvanometerspiegel soweit nach rechts zu drehen, dasz sich das Lichtbild $\frac{1}{20}$ mm nach rechts verschiebt, setzt schon die Kompensation in Gang und ist meszbar. Aus den Eichproben, welche später behandelt werden, wird hervorgehen, dasz eine Produktion von 0.01 Gramm-calorien pro Stunde im Kulturgefäsz schon genügt. Diese Empfindlichkeit wäre noch leicht zu steigern durch den Gebrauch eines empfindlicheren Galvanometers und durch Erhöhung der Zahl der Niederfrequenzstufen. Mit Rücksicht auf die, wenn auch geringe Trägheit des Wärmeaustausches im Kulturgefäsz und andere kleine Störungen ist dies aber zwecklos.

Der Umstand, dasz schon bei einer Verschiebung von $\frac{1}{20}$ mm die Kompensation in Gang gesetzt wird ist nicht nur der groszen Verstärkung sondern auch folgendem Kunstgriff zu verdanken: Da die Ränder des zweiten Bildes der Glühspirale stets unscharf und lichtschwach sind, wurde im ersten Bilde das Rasiermesserchen RM so aufgestellt, dasz dessen Rand zusammenfällt mit dem lichtstärksten Teil des Bildes. Infolgedessen entsteht auf Schirm SM ein Bild, das an der rechten Seite einen sehr scharfen und lichtstarken Rand hat. Nun fällt bei einer kleinen Verschiebung schon viel Licht am Schirm vorbei in die Photozelle.

Auszer der benötigten Wärmeproduktion wurde auch

untersucht welcher Temperaturanstieg einer Zunahme des Anodenstromes von $3\frac{1}{2}$ auf 4 mA entspricht. Dazu wurde sowohl in das Kulturgefäß als auch in das Wasserbad ein Beckmann-Thermometer gestellt und die Temperaturdifferenz zwischen beiden bestimmt. Hierbei zeigte sich, dasz eine Differenz von ungefähr $1/60^\circ$ C einer Verschiebung des Lichtbildes von 1 mm entspricht. Daraus geht hervor, dasz der Temperaturanstieg, welcher zu einer Ingangsetzung der Kompensation erforderlich ist, $1/20 \times 1/60 = 0.0008^\circ$ beträgt und dasz die Stromvariation von 3—4 mA mit 0.0016° übereinstimmt. In Wirklichkeit variiert der Strom jedoch mehr. Das kommt daher, dasz sich die entwickelte Wärme und die erzeugte Kälte nicht sofort ausgleichen und weiter, dasz es einige Zeit dauert, bis die Lötstellen auf die Temperaturänderungen der Schälchen reagieren. Was letzteres betrifft, konnte festgestellt werden, dasz die benötigte Zeit sehr kurz ist. Bei einer Produktion von 40 cal. pro Stunde war schon nach 10 Sekunden die Temperatur der Lötstellen so hoch gestiegen wie einer Anodenstromzunahme von $3\frac{1}{2}$ auf 4 mA entspricht. Bei schwächeren Wärmequellen dauerte es etwas länger, doch blieb die erforderliche Zeit stets kürzer als eine Minute. Hieraus geht hervor, dasz die Apparatur sehr schnell auf Temperaturvariationen in den Schälchen reagiert. Hier zeigt sich also eine Trägheit in der Apparatur. Sie ist aber nicht grosz und abhängig von der Stärke der Wärmeproduktion. Bei einer Produktion von 40 cal. pro Stunde variiert der Anodenstrom zwischen 0 u. 6 mA, was einer Temperaturschwankung von 0.013° entspricht, weil das Lichtbild auf einer Strecke von 0.8 mm schwankt. Bei geringerer Wärmeproduktion ist dieser Betrag kleiner. Bei 20 cal. pro Stunde sind diese Zahlen 1—5.75 mA bezw. 0.009° und 0.55 mm; bei 10 cal. pro Stunde 2—5.75 mA bezw. 0.007° und 0.4 mm; bei 5 cal. pro Stunde 2—4.4 mA bezw. 0.003° und 0.2 mm.

Bei der vorzüglichen Isolierung des Kulturgefäßes werden die Temperaturschwankungen wenig Wärmeaustausch mit der Umgebung verursachen. Um deren Einflusz auf die Messungen praktisch auf Null zu reduzieren wurde dafür gesorgt, dasz die Schwankungen sich symmetrisch um die Gleichgewichtstemperatur verteilen. Dies war dann auch der Grund, weshalb das Spiegelgalvanometer so gestellt wurde, dasz im Temperaturgleichgewicht der Anodenstrom der Endröhre ER₃, 3½ mA beträgt.

Die Temperatur weicht bei einer Produktion von 40 cal. pro Stunde maximal nur 0.007° von der Gleichgewichtstemperatur ab. Weil der Wasserwert von Kulturgefäß mit Inhalt ungefähr 60 Gramm beträgt, ist der Unterschied zwischen der entwickelten Wärme und der erzeugten Kälte nie gröszer als $60 \times 0.007 = 0.42$ cal. Bei 20, 10 und 5 cal. pro Stunde ist dieser Unterschied 0.3, 0.24 bezw. 0.12 cal. Hieraus geht hervor, dasz praktisch die entwickelte Wärme und die erzeugte Kälte einander jederzeit gleich gesetzt werden dürfen.

c. Die Quecksilberpumpe.

Sie besteht aus zwei Behältern (Fig. 2; B₁ und B₂), welche mittels eines dickwandigen Kautschukschlauches KS miteinander kommunizieren und zum Teil mit Quecksilber gefüllt sind. Jeder Behälter läuft nach oben in ein dünnes Kapillarröhrchen KR aus, dessen innerer Durchmesser 2 mm beträgt. Das eine Röhrchen ist mit den Ventilen V₁ und V₃; das andre mit V₂ und V₄ verbunden. Alle Ventile bestehen aus zwei ineinander geschmolzenen Glasröhrchen und sind mit ein wenig Quecksilber gefüllt. Das Ganze ist auf ein senkrecht gestelltes Brett montiert. Der Behälter B₂ ist damit unbeweglich verbunden, während der Behälter B₁ an einem Holzgerüst befestigt ist, welches in einer Rinne, die an der rechten Seite des Brettes angebracht ist, auf und ab bewegt werden kann. Hierfür

ist an dem Gerüst eine Schnur befestigt, welche über die Rolle RO läuft und mit dem Zahnrad Z verbunden ist, welches in ein kleineres greift, das an der Achse eines Schneckenrads angebracht ist. Die andere Seite des Schneckenrads kann verbunden werden mit drei Holzscheiben, welche ihrerseits mit einem Elektromotor gekoppelt werden (Schneckenrad und Scheiben sind nicht in Fig. 2 eingezeichnet). Durch eine derartige Verbindung von Pumpe und Elektromotor wurde eine genügend grosse Verzögerung erlangt. Die Scheiben lassen sich in mehreren Kombinationen schalten, und überdies ist der dem Motor zugeführte Strom mit einem Widerstand zu variieren. Dadurch kann die Pumpe in jeder gewünschten Schnelligkeit arbeiten. Weiter kann sie bei jeder Stellung stillgesetzt werden.

Hat B_1 seinen höchsten Stand, dann ist B_2 ganz mit Quecksilber gefüllt. Fällt B_1 dann strömt das Quecksilber von B_2 nach B_1 . Hierbei wird die Luft in B_2 verdünnt und in B_1 zusammengepresst. Aus der Fig. 2 geht hervor, dasz dann durch Ventil V_1 Luft angesaugt und durch V_4 gepresst wird. V_3 und V_2 verhindern, dasz von rechts Luft angesaugt und nach links gepresst wird. Steigt B_1 dann wird die Luft in B_1 verdünnt und in B_2 zusammengepresst. Auch jetzt wird ein Luftstrom erzeugt, welcher, dank den Ventilen, in derselben Richtung läuft wie beim Fallen von B_1 . Während des Pumpens strömt die Luft also von R_3 nach R_4 und durchläuft dann das Verdampfungsgefäß VG. Bei den beschriebenen Ventilen ist ein Lecken unmöglich, was bei einem Klapp- oder Konusventil nie sicher ist. Die Sicherheit ist nötig, weil, wie wir später sehen werden, die Zahl der Pumpenschläge als Massz der entwickelten Wärme dient. Es ist also ein Hauptfordernis, dasz bei jedem Pumpenschlag (ein Auf- und Abgang von B_1) dieselbe Luftmenge bewegt wird. Hierfür war auch das Anbringen der Kapillarröhrchen

notwendig. Die Menge der bewegten Luft ist nämlich ausser von der Steighöhe von B_1 auch vom Gegendruck in der Abfuhrleitung abhängig; sie variiert also mit den Schwankungen des Gegendrucks. Je gröszer dieser Druck, desto niedriger ist der Quecksilberstand in B_2 , wenn B_1 seinen höchsten Stand erreicht hat. Dasselbe ist der Fall in B_1 , wenn er seinen niedrigsten Stand erreicht hat. Das bedeutet nichts anders, als dasz bei steigendem Gegendruck pro Pumpenschlag weniger Luft bewegt wird. Die Verringerung ist gleich dem Produkt von Höhenunterschied (bei zwei verschiedenen Gegendrücken) und der Oberfläche des Querschnittes der beiden Behälter, vermehrt um das Produkt vom Volumen des schädlichen Raumes und dem Druckunterschied. Um die bewegte Luftmenge praktisch von den Schwankungen des Gegendrucks unabhängig zu machen, wurden die genannten Kapillarröhrchen angebracht und zu gleicher Zeit der schädliche Raum so klein wie möglich gehalten. Es muszte natürlich dafür gesorgt werden, dasz das Quecksilber in den aussersten Stellungen von B_1 ein wenig in die Kapillarröhrchen hinaufstieg.

Aus einer Berechnung geht hervor um wieviel die ver- setzte Luftmenge sich bei Gegendruckschwankungen ändert. Wir wollen einmal annehmen, dasz der Gegendruck um 1 cm Quecksilberdruck zunimmt. Dann wird das Quecksilber 1 cm weniger hoch in die Kapillarröhrchen von 2 mm Durchmesser steigen. Das ist eine Volumen- abnahme von $2 \times 1 \times \pi \times 0.1^2 = 0.06$ ccm. Das Volumen der beiden schädlichen Räume beträgt ungefähr 21 ccm. Die Luft, welche sich in beiden schädlichen Räumen befindet, hat bei den aussersten Stellungen der Pumpe abwechselnd eine Spannung, welche um 1 cm höher ist als vor der Zunahme des Gegendrucks. Das heiszt, dasz pro Pumpenschlag $\frac{21}{76} = 0.28$ ccm Luft normalen Drucks weniger weggepresst wird als vor der Gegendruckzunahme.

Für jedes cm Druckzunahme wird also pro Pumpenschlag $0.06 + 0.28 = 0.34$ ccm weniger Luft bewegt. Experimentell wurde hierfür ein Betrag von 0.83 ccm gefunden. Wo jeder Pumpenschlag 83 ccm Luft bewegt, beträgt deren Menge 0.4 bezw. 1 %. Da der Gegendruck durch die ungefähr 7 cm hohe Wassersäule im Verdampfungsgefäß geliefert wird, so werden die Schwankungen des Gegendrucks sicher nicht den Betrag von 1 cm Quecksilberdruck erreichen. Fällt das Wasserniveau infolge der Verdunstung 1 cm so beträgt die Verringerung des Gegendrucks weniger als 1 mm Quecksilberdruck und die bewegte Luftmenge nimmt demzufolge höchstens um 1% zu. Wir dürfen deshalb annehmen, dass das bewegte Luftvolumen von den im System auftretenden Gegendruckschwankungen unabhängig ist.

D. Die Vorrichtung zur Bestimmung und Registrierung der Menge der entwickelten Wärme.

Die entwickelte Wärme darf, wie oben gesehen, jederzeit der erzeugten Kälte gleich gesetzt werden. Letztere ist der Menge verdunsteten Wassers proportional; die Verdunstung wird bedingt durch das Volumen der vorher getrockneten Luft, welche das Verdampfungsgefäß durchströmt. Nach dieser Durchströmung enthält diese Luft pro Volumeneinheit nämlich stets dieselbe Dampfmenge weil die Temperatur des Wassers praktisch konstant ist, und weiter weil das Flüssigkeitsniveau im Verdampfungsgefäß nur sehr wenig sinkt. Ein Maß für das Luftvolumen ist schliesslich die Zahl der Pumpenschläge. Die produzierte Kälte (= die entwickelte Wärme) ist nun zu berechnen, wenn bekannt sind:

1. Die Zahl der benötigten Pumpenschläge.
2. Die Wärme, welche durch einen Pumpenschlag abgeführt wird (calorischer Wert eines Pumpenschlages).
1. Die erste Grösse wird auf zweierlei Weise bestimmt.

Erstens durch einen Tourenzähler, welcher an der Achse des Zahnrades Z (Fig. 2) angebracht ist. Darauf ist stets die Totalzahl der Pumpenschläge abzulesen. Die zweite Methode besteht in einer Registriervorrichtung, worauf ausser der Totalzahl, auch die zeitliche Verteilung der Schläge abzulesen ist. Die Registrierung findet auf folgende Weise statt: Jedesmal, wenn der Arm A (Fig. 2) von Zahnrad Z während des Pumpens einen der beiden Messingfedern M berührt, wird der Stromkreis SK₃ geschlossen. Dann zieht der Elektromagnet EMA den Schreibstift SS₁ an. Bei geöffnetem Stromkreis zeichnet er eine gerade Linie auf einen Streifen abrollenden Papiers PA. Wird der Strom einen Augenblick geschlossen, so entsteht ein seitwärts gerichteter Strich. Aus der Figur geht hervor dasz bei jedem Pumpenschlag zweimal Kontakt entsteht, sodasz zur Gewinnung der Zahl der Pumpenschläge die Zahl der Striche durch zwei geteilt werden mussz. Durch einen zweimaligen Kontakt wird eine genauere Registrierung erzielt als bei einmal der Fall sein würde.

Ein zweiter ähnlicher Schreibstift SS₂ ist mit einer Uhr verbunden und gibt jede Viertelstunde ein Zeitsignal. Durch einen Vergleich der Aufzeichnungen der beiden Schreibstifte kann man, auch nach Ablauf des Versuchs, den Verlauf der Wärmeentwicklung in der Zeit verfolgen. Der Tourenzähler dient hauptsächlich dazu, dasz bei etwaiger Störung der Registrierung doch die Totalzahl der Schläge bekannt bleibt.

2. Der calorische Wert eines Pumpenschlages wird durch Eichung bestimmt. In die Schälchen, welche für den Schimmel bestimmt sind, kann ein dünner Manganindraht (Durchmesser 0.15 mm) angebracht werden. Dieser Draht ist durch dicke Zuleitungsdrähte mit den Polen eines 2-Volt Akkumulators verbunden. Zur Erhaltung verschieden starker Wärmeproduktionen ist ausserhalb des Kulturgefäßes ein Stöpselrheostat im Stromkreis

eingeschaltet. (Dieser Stromkreis ist nicht in Fig. 2 eingezeichnet). Die Schälchen wurden mit destilliertem Wasser gefüllt, in das der Manganindraht eingetaucht war. Die Wärmeleitung findet nun auf dieselbe Weise statt wie bei dem, in der Nährlösung wachsenden Schimmelpilz. Zur Isolierung ist der Draht in einen Ventilschlauch gesteckt.

Nennen wir:

r_1 = Widerstand im Rheostat,

r_2 = Widerstand in der Leitung,

r_3 = Widerstand im Manganindraht und

v = Klemmspannung des Akkumulators,

dann werden im Kulturgefäß pro Stunde $0.239 \times \frac{v^2}{(r_1 + r_2 + r_3)^2} \times r_3 \times 3600$ Grammcalorien entwickelt.

r_2 und r_3 wurden mittels der Wheatstoneschen Brücke bestimmt, wobei das schon besprochene Spiegelgalvanometer in die Nullleitung geschaltet wurde. Die Bestimmung von v erfolgte mit der Methode von Poggendorf. Auch hier diente das Spiegelgalvanometer zur Auffindung der Stromlosigkeit. Verglichen wurde mit einer Weston-Standardzelle. Auf diese Weise konnten die genannten Messungen sehr genau ausgeführt werden, und der Fehler in der berechneten Wärmemenge beträgt deshalb nicht mehr als einige Promille.

Dividiert man die bekannte, auf elektrischem Wege erzeugte Wärmemenge durch die Zahl der für ihre Compensation benötigten Pumpenschläge, so erhält man den calorischen Wert eines Pumpenschlages. Im folgenden Abschnitt wird sich zeigen, wie gross dieser Wert ist.

E. Die Eichung des Calorimeters und die Genauigkeit der Wärmemessung.

Die Eichproben können nicht nur dazu dienen, den calorischen Wert eines Pumpenschlages festzustellen, sondern sie geben zu gleicher Zeit ein Bild von der

Genauigkeit der Wärmemessung. Es genügt, die Fehlergrenzen von denjenigen Wärmemengen zu kennen, welche durch den als Versuchsobjekt verwandten Schimmelpilz abgegeben werden. Dazu müsste diese Wärmeproduktion vor Beginn der Eichproben, annähernd bekannt sein.

Nachdem durch einzelne Bestimmungen der calorische Wert eines Pumpenschlages annähernd festgestellt war, wurden die Schälchen im Kulturgefäß mit Nährösung gefüllt und mit einigen Sporen von *Aspergillus niger* geimpft. Anfangs war die Wärmeproduktion gleich Null, aber sie stieg im Laufe der beiden folgenden Tage bis stark 40 cal. pro Stunde und blieb während sechs Tage ungefähr konstant, wonach der Versuch abgebrochen wurde.

Auf Grund dieser Tatsachen erfolgten nun die Eichproben bei Wärmeproduktionen von 40, 20, 10 und 5 cal. pro Stunde.

Eine der Aufgaben für spätere Versuche wird in der Vergleichung der Wärmeabgabe mit der Kohlensäureproduktion bestehen. Letztere wird am Tag alle zwei Stunden bestimmt. Es war also wünschenswert, die Genauigkeit der Wärmemessung, ebensowie diejenige der Kohlensäurebestimmung, für Perioden von ungefähr zwei Stunden zu kennen.

Bei diesen Eichproben wurde fast immer während des ganzen Tages Wärme erzeugt und kompensiert und die zweistündlichen Perioden folgen unmittelbar auf einander. Die Proben verliefen wie folgt: Nachdem einige Zeit die anzuwendende Wärmeproduktion kompensiert war, wurde die Pumpe in eine solche Stellung gesetzt, dasz gerade ein ganzer Pumpenschlag beendet war, so dasz sich B_1 also in seiner höchsten Stellung befand. Nach kurzer Zeit als der Anodenstrom der Endröhre ER_3 (Fig. 3) wieder auf 4 mA gestiegen war, schlug der Elektromotor wieder an, und die Pumpe setzte sich wieder in Bewegung. Dieser Moment und der Stand des Tourenzählers wurden notiert. Nach ungefähr zwei Stunden, während welcher Zeit die Pumpe abwechselnd

arbeitete und stillstand (die Pumpgeschwindigkeit wurde immer so gewählt, dasz bei ununterbrochener Arbeit der Pumpe zweimal soviel Kälte erzeugt als Wärme produziert wurde, wurde die Pumpe wieder in obengenannte Stellung gebracht, wenn sie darin nicht zufällig stehen geblieben war. Der neue Stand des Tourenzählers wurde notiert. Der Zustand der Wärmekompensation in dem Augenblick, worin die Pumpe wieder in Gang gesetzt wird, ist genau derselbe wie zu Beginn der Probe. Dieser Augenblick wurde wieder notiert. Das Ende dieser Probe ist aber zu gleicher Zeit der Anfang der zweiten Probe, welche nach ungefähr zwei Stunden auf dieselbe Weise beendet wird wie die erste und dann übergeht in die dritte Probe usw.

Die Zeit wurde mit Sekundengenauigkeit abgelesen und die gebrauchte Uhr jedesmal verglichen mit der Uhr, welche das Zeitsignal auf der Registrierungsrolle gab. Auf diese Weise wurde für jeden Tag eine Reihe einander folgender Proben erhalten, wovon jede ungefähr zwei Stunden dauerte. Die Dauer jeder Probe war genau bekannt und deshalb auch die produzierte Wärme (berechnet mit Hilfe der erwähnten Formel) ebenso wie die Zahl der zur Kompensation erforderlichen Pumpenschläge. Absichtlich wurde dafür gesorgt, dasz deren Zahl stets eine ganze Zahl war, da die Bestimmung von Teilbeträgen eines Pumpenschlages unvermeidlich zu Fehlern geführt hätte. Die produzierten calorien durch die Zahl der Pumpenschläge geteilt, ergab den calorischen Wert eines Pumpenschlages.

Aus mehreren derartigen Versuchsreihen wurden die Tagesmittel berechnet, sodasz auch für eine Periode von der Dauer einer Nacht die zu erwartenden Fehler bekannt sind. Die während der Nacht entwickelte Kohlensäure wird nämlich nur einmal bestimmt und nicht in Perioden von zwei Stunden.

Bei einer Anzahl von Eichproben wurde, nächst der oben beschriebenen Methode mit Hilfe von Tourenzähler und

Uhr, der calorische Wert aus den Aufzeichnungen der Registrierungsrolle bestimmt. Die Zeitpunkte, worin die Pumpe am Ende der Proben anschlug, wurden durch Ausmessen gefunden und die Zahl der in jenen Perioden vollendeten Pumpenschläge durch Zählung der Striche bestimmt. Beide Methoden gaben gut übereinstimmende Resultate. Wo das Ausmessen und Abzählen ziemlich zeitraubend war, wurde bei den übrigen Proben nur der Tourenzähler mit Uhr benutzt.

Wie schon erwähnt, sind Kulturgefäß und Dewar-Flasche gänzlich vom Wasser des Bades WB umgeben. Das Kulturgefäß wird daher bei Abwesenheit einer Wärmequelle nach einiger Zeit die Temperatur des Wassers annehmen. Sobald das der Fall ist, findet zwischen Kulturgefäß und Umgebung kein Wärmeausgleich mehr statt. Wird die elektrisch erzeugte Wärme bei dieser Temperatur kompensiert, so wird die Grösze des calorischen Wertes eines Pumpenschlages nicht beeinfluszt durch den Wärmeausgleich zwischen Kulturgefäß und Umgebung.

Auf diese Weise wurde eine Reihe von Proben ausgeführt die vom 13.5.31 bis 22.5.31 dauerte. Erzeugt wurden entweder ungefähr 40 oder ungefähr 20 cal. pro Stunde. Die Resultate dieser Proben sind in den Tabellen VII und VIII zusammengestellt.

Als nach einer Unterbrechung am 1.6.31 die Proben mit einer Produktion von 20 cal. pro Stunde wieder aufgenommen wurden, betrug der calorische Wert durchschnittlich nur 0.907 cal. Proben, welche darauf mit ungefähr 10 cal. pro Stunde angestellt wurden, ergaben einen Durchschnittswert von 0.886 cal.

Dies muszte die Folge einer Störung sein, weil sonst nicht einzusehen war, weshalb der calorische Wert bei 20 cal. pro Stunde kleiner geworden war und bei schwächerer Produktion noch beträchtlich geringer war. Vermutet wurde, dasz im Kulturgefäß auszer der bekannten elek-

REIHE 1: TABELLE VII.
Wärmeproduktion ungefähr 40 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schläges.	Mittel pro Tag.
13.5.31	125'27"	80.69	87	0.927	
	117'6"	75.25	81	0.930	
	114'22"	73.56	79	0.931	
	130'22"	83.85	90	0.932	
	108'45"	69.94	75	0.933	
15.5.31	118'29"	76.05	83	0.916	
	103'32"	66.45	72	0.922	
	93'6"	59.75	64	0.934	0.925
	76'20"	48.99	53	0.924	
	121'28"	77.89	84	0.927	
	120'	77.02	83	0.928	
16.5.31	127'3"	81.44	88	0.925	
	102'40"	65.81	71	0.927	
	82'22"	52.80	57	0.926	0.927
	91'7"	58.41	63	0.927	
	144'34"	92.67	100	0.927	
	139'15"	89.26	96	0.930	
18.5.31	121'28"	80.47	88	0.914	
	105'18"	69.76	76	0.918	
	103'12"	68.37	74	0.924	0.919
	89'50"	59.51	65	0.916	
	118'2"	78.20	85	0.920	
	124'3"	82.18	89	0.923	
19.5.31	104'25"	69.16	75	0.922	
	104'35"	69.27	75	0.924	
	102'45"	68.05	74	0.920	
	107'17"	71.06	77	0.923	0.922
	134'48"	89.28	97	0.920	
	107'34"	71.24	77	0.925	
20.5.31	105'14"	69.28	75	0.924	
	91'23"	60.16	65	0.926	
	103'27"	68.11	74	0.920	
	107'37"	70.83	77	0.920	0.921
	92'	60.57	66	0.918	
	116'	76.37	83	0.920	
	167'46"	110.45	120	0.920	

REIHE 1: TABELLE VIII.
Wärmeproduktion ungefähr 20 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlages.	Mittel pro Tag.
21.5.31	120'55"	43.07	47	0.916	0.917
	102'45"	36.60	40	0.915	
	108'12"	38.54	42	0.918	
	103'10"	36.75	40	0.919	
	113'19"	40.35	44	0.917	
	128'45"	45.86	50	0.917	
22.5.31	124'6"	44.04	48	0.918	0.913
	115'23"	40.98	45	0.911	
	95'14"	33.74	37	0.912	
	98'40"	35.05	38	0.922	
	135'48"	47.94	53	0.910	
	162'12"	57.61	63	0.914	

trisch erzeugten Wärme, noch auf andere, unbekannte Weise Wärme entwickelt wurde. In diesem Falle kompensiert die Verdunstung im Verdampfungsgefäß die elektrisch erzeugte Wärme + die unbekannte Wärme. Das erfordert mehr Pumpenschläge als die erste allein. Wo aber nur die elektrische Wärme in Rechnung gezogen wird, musz der calorische Wert eines Pumpenschlages zu klein gefunden werden. Es ist leicht verständlich, dasz dieser Wert kleiner wird je geringer die pro Stunde elektrisch erzeugte Wärme ist.

Obige Voraussetzung führt zu einer leicht kontrollierbaren Folgerung. Wird nämlich das Calorimeter sich selbst überlassen, so musz bei Anwesenheit einer unbekannten Wärmequelle die Temperatur des Kulturgefäßes über die des Wasserbades steigen. Der Anstieg wird so weit gehen, bis die daraus hervorgehende Wärmeabgabe vom Kulturgefäß nach dem Wasserbad der entwickelten Wärme gleich geworden ist.

Vom 6.6.31 bis 8.6.31 wurde das Calorimeter sich selbst überlassen. Am letzten Tage war das Kulturgefäß tatsächlich wärmer als das Wasserbad. Der Temperaturunterschied entsprach einer Verschiebung des Lichtbildes des Spiegelgalvanometers um $2\frac{1}{2}$ mm nach rechts, d.h. ungefähr 0.04° C. Dieser Temperaturunterschied wurde gleichfalls mit einem Beckmann-Thermometer gemessen, sodass der Ausschlag des Lichtbildes nicht einem Fehler im Thermokreis zu verdanken ist.

REIHE 2: TABELLE IX.
Wärmeproduktion ungefähr 10 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchsdauer.	Calorienzahl.	Zahl der Pumpenschläge.	Calorischer Wert eines Pumpenschlages.	Mittel pro Tag.
8.6.31	98'18"	16.47	18	0.915	0.931
	99'45"	16.71	18	0.928	
	116'48"	19.56	21	0.932	
	84'39"	14.18	15	0.945	
	122'23"	20.50	22	0.932	
	117'5"	19.61	21	0.934	
9.6.31	112'7"	18.67	20	0.933	0.935
	122'50"	20.45	22	0.930	
	90'	14.99	16	0.937	
	113'1"	18.82	20	0.941	
	134'18"	22.36	24	0.932	
	123'51"	20.62	22	0.937	

Ist also eine schwache Wärmeproduktion nachgewiesen, deren Ursache konnte nicht festgestellt werden. Vielleicht besteht sie in einer Oxydation des Kupfers des Kulturgefäßes. Ist dies richtig, so ist die Wärmequelle dadurch zu beseitigen, dass das Gefäß aus edlem Metall hergestellt wird. Die störende Wirkung konnte aber in einfacher Weise eliminiert werden durch Kompensation bei der neuen Gleichgewichtstemperatur d.h. beim Stand des Lichtbildes

auf $2\frac{1}{2}$ mm rechts von der Nullstellung des Spiegelgalvanometers. Bei dieser Temperatur wird ja alle Wärme, welche der unbekannten Wärmequelle zu verdanken ist, durch Leitung und Strahlung nach auszen abgegeben. Durch die Wasserverdunstung wird nun nur die elektrisch erzeugte Wärme kompensiert.

Auf diese Weise wurde eine zweite Reihe von Eichproben angestellt, welche vom 8.6.31 bis 11.6.31 dauerte. Pro Stunde wurden entweder ± 10 oder ± 5 cal. entwickelt. Die jetzt erhaltenen calorischen Werte (Tabellen IX und X) stimmen gut mit denjenigen der ersten Reihe überein.

REIHE 2: TABELLE X.
Wärmeproduktion ungefähr 5 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schläges.	Mittel pro Tag.
10.6.31	126'29"	10.84	12	0.903	0.916
	118'3"	10.11	11	0.919	
	129'24"	11.09	12	0.924	
	85'2"	7.28	8	0.910	
	107'12"	9.16	10	0.916	
	129'11"	11.07	12	0.922	
11.6.31	117'53"	10.07	11	0.916	0.916
	117'1"	10.01	11	0.910	
	87'49"	7.51	8	0.938	
	85'2"	7.27	8	0.909	
	161'9"	13.78	15	0.918	
	127'22"	10.89	12	0.908	

Einige Zeit später wurden diese, schon in einer vorläufigen Mitteilung (1) erwähnten Eichproben weitergeführt. Wie aus den Tabellen XI—XIV hervorgeht, ist der calorische Wert bei einer Produktion von ± 10 und ± 5 cal. pro Stunde wieder zu klein.

Das kann nicht von der unbekannten Wärmequelle herführen, weil auch in dieser Reihe bei Temperaturgleichgewicht (das nun bei 3 mm Ausschlag nach rechts lag) kompensiert wurde. Gedacht wurde an ein Undichtwerden der Pumpe oder der Abfuhrleitung demzufolge pro Pumpenschlag weniger Luft durch das Verdampfungsgefäß passiert. Dies stellt sich aber schon sogleich als unwahrscheinlich heraus, weil die calorischen Werte bei ± 40 cal. pro Stunde (Tabelle XI) und bei ± 20 cal. pro Stunde (Tabelle XII) dieselben sind wie in der ersten Reihe. Ausserdem wurde durch Versuche bewiesen, dasz die Ergebnisse nicht auf Undichtsein zurückzuführen sind.

Bei Undichtigkeit wird pro Stunde eine bestimmte Luftmenge verloren gehen. Je grösser die Zahl der Schläge pro Stunde ist, desto geringer wird der Einfluss der Undichtigkeit pro Pumpenschlag sein.

Auf Grund dieser Überlegung wurden die folgenden Versuche gemacht.

Bei einer Wärmeproduktion von ± 40 cal. pro Stunde wurde kompensiert und die Luft, welche aus dem Verdampfungsgefäß trat, in einem mit Wasser gefüllten, eingeteilten Glasrohr aufgefangen. Auf diese Weise wurde

REIHE 3: TABELLE XI.
Wärmeproduktion ungefähr 40 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlages.	Mittel pro Tag.
7.7.31	89'12"	60.51	65	0.931	0.926
	119'56"	81.35	88	0.924	
	154'20"	104.69	113	0.925	
	117'9"	79.47	86	0.924	
8.7.31	71'55"	48.72	53	0.919	0.924
	120'33"	81.67	88	0.928	
	129'16"	87.58	95	0.922	

REIHE 3: TABELLE XII.
Wärmeproduktion ungefähr 20 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlages.	Mittel pro Tag.
9.7.31	114'14"	38.88	42	0.926	
	108'12"	36.82	40	0.921	
	127'29"	43.39	47	0.923	
18.7.31	109'16"	37.50	41	0.915	
	120'12"	41.25	45	0.917	
	97'2"	33.30	36	0.925	
	88'3"	30.22	33	0.916	
	149'32"	51.31	56	0.916	
	107'9"	36.77	40	0.919	

das durch fünf Pumpenschläge transportierte Luftvolumen gemessen. Dieses Volumen betrug bei drei Versuchen durchschnittlich 414 ccm, das ist pro Pumpenschlag 82.8 ccm.

In ganz ähnlicher Weise wurden zwei Versuche mit einer Wärmeproduktion von \pm 10 cal. pro Stunde gemacht. Die Menge der bewegten Luft betrug hier durchschnittlich 415 ccm, das ist pro Schlag 83 ccm. Obwohl bei den beiden

REIHE 3: TABELLE XIII.
Wärmeproduktion ungefähr 10 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlages.	Mittel pro Tag.
17.7.31	90'23"	15.35	17	0.903	
	110'29"	18.76	21	0.893	
	102'12"	17.36	19	0.914	
	112'41"	19.14	21	0.911	
	115'39"	19.64	22	0.893	
	132'16"	22.46	25	0.899	

REIHE 3: TABELLE XIV.
Wärmeproduktion ungefähr 5 cal. pro Stunde.

Datum.	Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schläges.	Mittel pro Tag.
9.7.31	92'44"	7.76	9	0.862	0.868
	104'30"	8.74	10	0.874	
10.7.31	60'33"	5.08	6	0.846	
	103'40"	8.69	10	0.869	
	103'4"	8.64	10	0.864	0.861
	92'56"	7.79	9	0.866	
	133'36"	11.20	13	0.862	
	143'13"	12.01	14	0.858	

letzten Versuchen die Pumpe viel langsamer arbeitete und das pro Zeiteinheit bewegte Luftvolumen viermal so klein war als bei den ersten drei Versuchen, blieb das Volumen eines Schläges dasselbe. An Undichtsein kann deshalb kaum gedacht werden.

Es gibt noch eine andere Erklärungsmöglichkeit, wenn man nämlich annimmt dasz die Luft bei 5 und 10 cal. pro Stunde weniger Wasserdampf im Verdampfungsgefäsz aufnimmt als bei 20 und 40 cal. Bei 22° ist der Sättigungsdruck des Wassers 19.827 mm. Hieraus geht hervor, dasz 1 Gramm Wasserdampf bei dieser Temperatur ein Volumen hat von $22.4 \times \frac{760}{19.827} \times \frac{295}{273} = 51.546$ Liter oder 51546 ccm. Das entspricht $\frac{51546}{83} = 621$ Pumpenschlägen.

Nun ist die Verdampfungswärme von 1 Gramm Wasser bei 22° 585 cal. Sättigt die Luft sich beim Passieren des Verdampfungsgefäzes ganz mit Wasserdampf, so führt ein Pumpenschlag $\frac{585}{621} = 0.942$ cal. ab. Den gefundenen calorischen Werten gemäsz ist die Luft bei 20 und 40 cal.

pro Stunde also bis auf 2 % gesättigt. Beruhte die Abweichung des calorischen Wertes bei 10 und 5 cal. auf geringerer Dampfaufnahme, so müsste das Defizit hier ungefähr 4 und 8 % betragen.

Es ist aber nicht einzusehen, weshalb das bei 10 und 5 cal. der Fall sein müsste. Weil die Luft hier das Verdampfungsgefäß langsamer passiert als bei 20 und 40 cal., wäre das Umgekehrte eher zu erwarten.

Die Ursache des Unterschiedes zwischen den Ergebnissen der Tabellen XI und XII und denen der Tabellen XIII und XIV konnte also nicht ausfindig gemacht werden.

Welchen Wert muss nun den Ergebnissen der verschiedenen Reihen beigelegt werden?

Diese Frage bietet bei Produktionen von 40 und 20 cal. pro Stunde keine Schwierigkeiten, weil hier die calorischen Werte einander fast gleich sind. Die Sache liegt etwas anders bei einer Wärmeproduktion von 10 und 5 cal. pro Stunde. In Reihe 2 ist der mittlere calorische Wert gleich 0.933 bezw. 0.916 cal; in Reihe 3 gleich 0.902 bezw. 0.863.

Sind die Unterschiede den gewöhnlichen Beobachtungsfehlern zuzuschreiben oder einer unbekannten Ursache, welche den calorischen Wert in einer bestimmten Richtung beeinflusst?

Vergleichen wir die Tagesmittel der Tabelle IX miteinander, so finden wir nur einen kleinen Unterschied. Beim Vergleich der Tagesmittel in Tabelle X zeigt sich gar kein Unterschied, während die beiden Werte in Tabelle XIV wieder eine geringe Differenz aufweisen. Diese kleinen Unterschiede innerhalb jeder Tabelle, welche ohne Zweifel Beobachtungsfehlern zuzuschreiben sind, stehen in schroffem Gegensatz zu den groszen Differenzen, welche Tabelle IX im Vergleich mit Tabelle XIII und Tabelle X im Vergleich mit Tabelle XIV zeigt.

Es ist deshalb kaum denkbar, dasz auch diese groszen Unterschiede auf die gewöhnlichen Beobachtungsfehler

zurückzuführen sind. Es scheint in der letzten Reihe der Eichproben eine Störung vorzuliegen, welche sich bei einer Produktion von 40 und 20 cal. pro Stunde nicht merkbar äusert; aber bei 10 cal. den calorischen Wert um ungefähr 2 % und bei 5 cal. um ungefähr 6 % verkleinert.

Nehmen wir an dasz diese Störung auch bei dem später zu behandelnden Versuch mit *Aspergillus niger* eine Rolle spielt, so müssen der Berechnung der entwickelten Wärme die Ergebnisse von Reihe 3 zugrunde gelegt werden. (Auch Reihe 1 darf verwertet werden, weil die Proben mit 40 und 20 cal. pro Stunde in beiden Reihen miteinander übereinstimmen). Der dann erhaltene calorische Wert für jede der untersuchten Wärmeproduktionen ist in der zweiten Spalte der Tabelle XV angegeben.

TABELLE XV.

cal. pro Stunde	M	σ	m
40	0.924	± 0.0047 (0.5 %)	± 0.0008 (0.09 %)
20	0.918	± 0.0042 (0.46 %)	± 0.0009 (0.10 %)
10	0.902	± 0.0081 (0.9 %)	± 0.0034 (0.38 %)
5	0.863	± 0.0078 (0.9 %)	± 0.0028 (0.32 %)

Die Ansicht über die Fehlergrenzen der Wärmemessungen hängt von der Stellung zu den beiden obengenannten Anschauungen ab.

Nehmen wir einen störenden Einflusz von bestimmter Richtung, sowohl bei den Eichproben wie auch bei dem Versuch mit *Aspergillus niger* an, so fällt die Reihe 2 aus, und wir gründen die Genauigkeit der Messungen auf den Wert von σ in Tabelle XV (berechnet aus den Ergebnissen der Reihen 1 und 3). Wir haben hier die Genauigkeit der einzelnen zweistündlichen Bestimmungen im Auge. Wie bekannt, fallen theoretisch nur 3 % der Beobachtungen ausserhalb $M \pm 3 \sigma$. Demzufolge können wir den Wert von 3σ als den maximalen Fehler betrachten.

Aus Tabelle XV geht hervor, dasz dieser Fehler bei einer Produktion von 40 cal. pro Stunde 1.5 % beträgt; bei 20 cal. pro Stunde 1.4 %; bei 10 cal. pro Stunde 2.7 % und bei 5 cal. pro Stunde 2.7 %.

Sind wir der Ansicht, dasz die Unterschiede zwischen den verschiedenen Reihen auf ungerichtete Beobachtungsfehler zurückzuführen sind, so musz auch die zweite Reihe in Rechnung gezogen werden. Der maximale Fehler bei 40 und 20 cal. pro Stunde bleibt 1.5 % bzw. 1.4 %. Er ändert sich jedoch bei 10 und 5 cal. ebenso wie der mittlere calorische Wert. Es hat wenig Sinn, den Wert von σ zu berechnen, weil hier die Zahl der Beobachtungen in Bezug auf die Variationsbreite der calorischen Werte zu gering ist. Ein besseres Bild des maximalen Fehlers gibt der Betrag der grössten gefundenen Abweichung vom Mittelwert.

Bei 10 cal. pro Stunde ist $M = 0.923$ cal.; der Minimalwert 0.893 cal.; der Maximalwert 0.945 cal. Die grösste Abweichung vom Mittelwert beträgt also 0.030 cal., weshalb der maximale Fehler ungefähr bei

$$\frac{0.030}{0.923} = 3.2\%$$

liegt.

Bei 5 cal. pro Stunde ist $M = 0.895$ cal.; der Minimalwert 0.846 cal.; der Maximalwert 0.938 cal. Die grösste Abweichung vom Mittelwert ist 0.049 cal., sodasz der Fehler bei

$$\frac{0.049}{0.895} = 5.5\%$$

liegen wird. Die so erhaltenen Fehler beziehen sich wie gesagt, auf Proben von einer ungefähr zweistündlichen Dauer. Messungen, welche sich über mehrere Tage ausdehnen, werden eine noch gröszere Genauigkeit haben. Diese Behauptung wird dadurch erhärtet, dasz die Tagesmittel viel geringere Unterschiede unter einander aufweisen als die Werte der einzelnen Proben.

F. Die Empfindlichkeit des Calorimeters.

Bei der Besprechung der Eichproben wurde erwähnt, dasz nach Beendigung von Reihe 1, der calorische Wert bei einer Produktion von 10 cal. pro Stunde durchschnittlich 0.886 cal. betrug. In Reihe 2 stieg dieser Wert infolge der Verschiebung des Kompensationspunktes um eine Strecke von $2\frac{1}{2}$ mm, bis durchschnittlich 0.933 cal.

Mit Hilfe dieser Angaben ist auf folgende Weise die Empfindlichkeit des Calorimeters zu berechnen:

Vor der Verschiebung des Kompensationspunktes waren bei der damals verwandten Wärmeproduktion von 10.01 cal. pro Stunde, $\frac{10.01}{0.886} = 11.30$ Pumpenschläge pro Stunde

nötig. Bei einem calorischen Wert von 0.933 entsprechen 11.30 Schläge 10.54 cal. Hieraus geht hervor, dasz eine Temperaturerhöhung des Kulturgefäßes, welche einem Ausschlag des Lichtbildes um $2\frac{1}{2}$ mm entspricht, die Wärmeabgabe nach auszen mit $10.54 - 10.01 = 0.53$ cal. pro Stunde erhöht. Das heiszt, dasz eine Wärmequelle, welche pro Stunde 0.53 cal. entwickelt, imstande ist, das Lichtbild um $2\frac{1}{2}$ mm zu verschieben. Wir haben schon früher gesehen, dasz eine Verschiebung um $\frac{1}{20}$ mm genügt, um den Anodenstrom der Endröhre von $3\frac{1}{2}$ auf 4 mA zu steigern und hierdurch die Kompensation in Tätigkeit zu setzen.

Daraus geht hervor, dasz die minimale messbare Wärmeproduktion $\frac{1}{2\frac{1}{2} \times 20} \times 0.53 = 0.01$ cal. pro Stunde beträgt.

G. Der Einfluss der Luftventilation im Kulturgefäß auf den Betrag der gemessenen Wärme.

Bei obigen Eichproben stand die Luft im Kulturgefäß still. Um Verdunstung des destillierten Wassers, welches sich in den Schälchen befindet, zu verhüten, waren die Enden von RZ_2 und RA_2 (Fig. 2) verschlossen. Für die Atmung des Schimmelpilzes und für die Kohlensäure-

bestimmung ist eine fortwährende Luftventilation erforderlich. Besitzt die eingeführte Luft einen geringeren Wasserdampfdruck als die Nährösung, so wird sie Dampf aufnehmen. Der Verdunstung zufolge wird aber die gemessene Wärmemenge zu klein ausfallen. Um dem vorzubeugen, kann die Luft, ehe sie in das Kulturgefäß eintritt, als feine Bläschen durch ein mit Nährösung gefülltes Pettenkofersches Rohr geführt werden, das sich im Wasserbad WB befindet. Der Dampfdruck dieser Luft muss dann dem im Kulturgefäß gleich sein.

Obgleich die Ventilationsluft in dieser Weise theoretisch dem Kulturgefäß keine Wärme entziehen darf, zeigten einige Versuche, dass trotzdem ein geringer Wärmeverlust eintrat.

Weil die Schälchen während der Eichproben mit destilliertem Wasser gefüllt waren, befand sich bei den genannten Versuchen im Pettenkoferschen Rohr statt Nährösung ebenfalls destilliertes Wasser. Es kommt nämlich darauf an, dass Rohr und Schälchen mit einer Flüssigkeit von gleichem Dampfdruck gefüllt sind.

Mittels einer kleinen Quecksilberpumpe, welche auch bei dem später besprochenen Versuch mit *Aspergillus niger* verwandt wurde, wurde die Luft mit einer Geschwindigkeit von ± 2.2 l pro Stunde durch das Kulturgefäß gepumpt.

TABELLE XVI.

41.01 cal. pro Stunde mit Luftventilation.

Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlages.	Mittel-wert.
115'5"	78.66	83	0.948	
90'20"	61.74	65	0.950	
110'38"	75.60	79	0.957	0.951
96'20"	65.84	69	0.954	
121'39"	83.13	88	0.945	
143'33"	98.10	103	0.952	

Der Betrag der elektrisch erzeugten Wärme war entweder ± 40 oder ± 5 cal. pro Stunde. Im ersten Falle wurden die folgenden Resultate erhalten (Tabelle XVI).

Die Ventilationsluft nahm pro Stunde $\frac{0.951-0.924}{0.951} \times$

41.01 = 1.17 cal. mit.

Bei einer Wärmeproduktion von ± 5 cal. pro Stunde wurden drei Versuchsreihen gemacht, deren Ergebnisse in den Tabellen XVII—XIX zusammengestellt sind.

TABELLE XVII.

5.01 cal. pro Stunde mit Luftventilation.				
Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlages.	Mittel-wert.
120'33"	10.07	11	0.915	
72'53"	6.09	6	1.014	
100'14"	8.55	8	1.068	
80'2"	6.68	6	1.114	

Es wurden dem Kulturgefäß $\frac{1.013-0.863}{1.013} \times 5.01 =$
0.74 cal. pro Stunde entzogen.

TABELLE XVIII.

5.02 cal. pro Stunde mit Luftventilation.				
Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlages.	Mittel-wert.
49'	4.10	4	1.025	
121'42"	10.18	10	1.018	
88'6"	7.37	7	1.053	
92'43"	7.76	7	1.108	
146'10"	12.23	11	1.112	
106'33"	8.92	8	1.114	1.076

Der Wärmeverlust pro Stunde betrug $\frac{1.076 - 0.863}{1.076} \times 5.02 = 0.99$ cal.

TABELLE XIX.

5.01 cal. pro Stunde mit Luftventilation.

Versuchs-dauer.	Calorien-zahl.	Zahl der Pumpen-schläge.	Calorischer Wert eines Pumpen-schlagess.	Mittel-wert.
107'47"	9.00	8	1.125	
123'35"	10.32	9	1.147	
95'30"	7.97	7	1.139	1.163
83'57"	7.01	6	1.168	
132'13"	11.04	9	1.227	

In dieser Reihe wurden $\frac{1.163 - 0.863}{1.163} \times 5.01 = 1.29$ cal.

pro Stunde entzogen.

Ziehen wir das Mittel aus diesen vier Versuchsreihen, so ergibt sich, dasz der Ventilation des Kulturgefäßes zufolge die entwickelte Wärme pro Stunde um einen Betrag von 1.05 cal. verkleinert wird.

Wir können die Ursache dieser Tatsache auf dreierlei Weise erklären:

1. Das Rohr, welches das Pettenkofer'sche Rohr mit dem Kulturgefäß verbindet, läuft teilweise über der Wasseroberfläche des Bades. Das ist nicht anders möglich, weil eine Verbindung mit dem Kulturgefäß nur durch das Rohr R₁ (Fig. 2), welches über das Wasser hinausragt, zustande kommen kann. Die im Pettenkofer'schen Rohr mit Wasserdampf gesättigte Luft ist also während einiger Zeit der Zimmertemperatur ausgesetzt. Wäre sie niedriger als die des Wasserbades, so würde ein Teil des Wasserdampfes kondensieren und die Luft, welche in das Kulturgefäß eintritt, bei der dort herrschenden Temperatur nicht mehr gesättigt sein.

Nun ist aber die mittlere Zimmertemperatur um ungefähr 1° höher gewählt als die des Wasserbades. Die Temperaturschwankungen im Zimmer betragen ungefähr 0.5° , sodass sich die Luft nie bis unter die Temperatur des Bades abkühlen kann und Kondensation also ausgeschlossen ist.

2. Bei der Wärmekompensation ist die Temperatur im Kulturgefäß 0.05° höher (was dem 3 mm Ausschlag des Lichtbildes entspricht) als im Wasserbad. Die Luft, welche das Kulturgefäß durchströmt, ist hier also nicht mehr ganz gesättigt. Der Sättigungsdruck des Wasserdampfes beträgt bei 22° 19.827 mm und bei 22.05° 19.888 mm; der Unterschied beträgt also 0.061 mm. Pro Stunde nimmt die Ventilationsluft also $\frac{2.2 \times 0.061}{760 \times 22.4} \times 18 = 0.00014$ g Wasserdampf auf.

In calorien umgerechnet ist dies $0.00014 \times 585 = 0.08$ cal., womit aber nur ein sehr geringer Teil der gefundenen Aufnahme von 1.05 cal. erklärt wird.

3. Eine dritte Möglichkeit ist, dass die Luft beim Austritt aus dem Pettenkoferschen Rohr noch nicht ganz mit Wasserdampf gesättigt ist. Diese Annahme hat die grösste Wahrscheinlichkeit für sich.

H. Die Verwendung von Alkohol als Verdampfungsflüssigkeit.

Ursprünglich wurde absoluter Alkohol als Verdampfungsflüssigkeit verwandt. Das führte jedoch zu einer Komplikation, weshalb die Verwendung von Wasser vorgezogen wurde, um so mehr als sich herausstellte dass Wasser genügende Kälte zur Kompensation der produzierten Wärme entwickeln konnte.

Die Komplikation bestand darin, dass der frisch bereitete absolute Alkohol einen anderen calorischen Wert hatte als der Alkohol, der schon länger zur Kompensation verwandt worden war. Wurde am Anfang einer Versuchsreihe das Verdampfungsgefäß mit frischem Alkohol gefüllt, so

war der calorische Wert eines Pumpenschlages in einer folgenden Probe immer gröszer als in der vorhergehenden Probe jener Reihe. Dieser regelmässige Anstieg wurde anfangs auf den Umstand zurückgeführt, dasz die Luft über Ca Cl_2 getrocknet wurde. Hierbei bleibt noch eine geringe Wasserdampfmenge in der Luft zurück. Der Alkohol wird den Wasserdampf aus der passierenden Luft aufnehmen und an Gehalt verlieren. Das ist nach Ergebnissen von Versuchen mit Alkohol von 96 % anzunehmen. Hierbei zeigte sich, dasz der calorische Wert bei Verwendung von 96 prozentigem Alkohol gröszer war als bei absolutem Alkohol, was ohne Zweifel auf seinen Wassergehalt zurückzuführen ist.

TABELLE XX.

Versuchsnummer.	Versuchsdauer.	Calorienzahl.	Zahl der Pumpenschläge.	Calorischer Wert eines Pumpenschlages.
1	113'	56.05	25	2.242
2	100'	49.60	21	2.362
3	102'30"	50.84	22	2.311
4	96'	47.62	20	2.381
5	125'30"	62.25	26	2.394
6	95'	47.12	19	2.480
7	63'	31.31	12	2.609
8	101'	50.20	19	2.642
9	90'	44.73	16	2.794
10	83'	41.25	15	2.750
11	173'30"	86.23	32	2.695
12	90'	44.73	17	2.631
13	146'	147.56	55	2.683
14	94'	95.00	36	2.639
15	130'30"	131.89	49	2.691
16	123'	124.31	46	2.703

Man muszte deshalb die Luft besser trocknen. Das wurde erzielt mit P_2O_5 . Trotz der sorgfältigen Trocknung blieb

die Zunahme. Sie erfolgte jedoch bedeutend langsamer und nach einiger Zeit wurde ein Gleichgewichtszustand erreicht. (Tabelle XX).

Es muszte also noch eine zweite Ursache vorhanden sein. Es war a priori nicht unmöglich, dasz die durchströmende Luft einen Teil des Alkohols oxydierte z.B. zu Acetaldehyd. Dann wird ein Gemisch von Alkohol und Acetaldehyd entstehen und die passierende Luft nimmt nicht nur Alkoholdampf sondern auch Acetaldehyddampf auf. Je gröszer die Acetaldehydkonzentration wird, um so mehr wird davon pro Pumpenschlag verdunsten. Da die Oxydationsgeschwindigkeit praktisch gleich bleibt, so wird nach einiger Zeit ein Gleichgewichtszustand erreicht, wobei ebensoviel Acetaldehyd entsteht, wie durch die Verdunstung weggeführt wird.

TABELLE XXI.

Versuchsnummer.	Versuchsdauer.	Calorienzahl.	Zahl der Pumpenschläge.	Calorischer Wert eines Pumpenschlages.
1	89'30"	44.21	17	2.601
2	163'30"	80.77	31	2.605
3	94'	46.44	18	2.580
4	104'	51.43	20	2.571
5	101'	49.95	19	2.629
6	96'	47.47	18	2.637

Hieraus geht hervor, dasz der calorische Wert eines Pumpenschlages nach einem anfänglichen Anstieg, einen konstanten Wert erreichen musz. Solches wird in Tabelle XX tatsächlich gezeigt. Nach dem neunten Versuch hat der Anstieg aufgehört, und die Werte schwanken um einen Betrag, welcher bei ungefähr 2.69 cal. liegt.

Eine weitere Bestätigung obiger Voraussetzung ist das Folgende: Ein aus Messing gearbeitetes Gefäsz wurde mit \pm 60 ccm frischem absolutem Alkohol gefüllt und in

bekannter Weise von über P_2O_5 getrockneter Luft durchströmt. Das wurde fortgesetzt bis ungefähr die Hälfte des Alkohols verdampft war. Mit diesem Alkohol wurde nun das Verdampfungsgefäß gefüllt und eine Versuchsreihe gemacht, deren Ergebnisse in Tabelle XXI zusammengestellt sind.

Von einem regelmässigen Anstieg des calorischen Wertes ist hier keine Rede, während der Betrag desselben fast dem Gleichgewichtswert der vorhergehenden Reihe gleich ist.

Obgleich nach obiger Vorbehandlung mit Alkohol ein konstanter calorischer Wert zu erzielen ist, ist diese Flüssigkeit doch wenig wünschenswert. Als sich herausstellte, dasz auch Wasser imstande war, eine genügend grosse Kältemenge pro Zeiteinheit zu erzeugen, wurde dieses gewählt. Hier ist keine Oxydation durch die passierende Luft möglich. Ausserdem ist Wasser leicht rein zu bekommen. Von Wichtigkeit ist auch, dasz Wasser eine ungefähr zweimal so grosse Verdampfungswärme hat wie Alkohol, weshalb mit demselben Flüssigkeitsvolumen zweimal so viel Wärme kompensiert werden kann. Nun braucht während eines

TABELLE XXII.

Methode.	Calorien pro Stunde.	Maximaler Fehler in Prozenten.
Rodewald	6	6
Rubner	21—112	3.2
Hill	37—52	9
“	840—3120	6
Doyer	52	> 18
Hári	600—700	> 1.8
Wagner.....	± 300—± 1800	5.3
Algera	40	1.5
“	20	1.4
“	10	2.7 (3.2)
“	5	2.7 (5.5)

langen Versuchs keine Flüssigkeit nachgefüllt zu werden, ein Umstand, welcher immer mit Fehlern verknüpft ist.

I. Vorteile und Verwendungsmöglichkeiten des Calorimeters.

Im Vergleich mit den schon bestehenden Methoden bietet betreffs der Wärmemessung das hier beschriebene Calorimeter mehrere Vorteile.

Zunächst ist die Genauigkeit gröszer. Das fällt auf bei einem Vergleich der Eichproben der verschiedenen Methoden. Gewöhnlich ist bei stärkeren Wärmeproduktionen die Variationsbreite der Ergebnisse gröszer als bei der hier beschriebenen Methode (Tabelle XXII).

Es sei bemerkt, dasz die Angabe Rodewalds nicht auf Eichproben sondern ganz auf einer Schätzung beruht.

Zweitens ist die völlig automatische Messung hervorzuheben, welche eine lange unausgesetzte Versuchsdauer ermöglicht.

Weiter ist wichtig, dasz eine inkonstante Wärmeproduktion auf Schritt und Tritt verfolgt wird und die Schwankungen in ihrem vollem Umfang gemessen werden. Das ist möglich, weil die Lötstellen sehr schnell auf die Temperaturänderungen im Kulturgefäß reagieren. Blosz wird die Pumpe etwas länger, bezw. etwas kürzer arbeiten müssen.

Bei allen Methoden, welche sich auf der Messung des Temperaturunterschieds zwischen Calorimeter und Umgebung im Gleichgewichtszustand gründen, wird der Unterschied bei inkonstanter Wärmeproduktion nicht immer ein Masz für die entwickelte Wärme sein. Es dauert nämlich meistens einige Stunden, bevor das Temperaturgleichgewicht erreicht ist.

Nehmen wir an, dasz eine konstante Wärmeproduktion während einer Stunde unterbrochen wird. In dieser Zeit wird die Temperatur des Calorimeters langsam fallen, doch sie bleibt infolge der Trägheit über der der Umgebung.

Wenn nach einer Stunde die Wärmeproduktion wieder beginnt, fängt die Temperatur langsam zu steigen an, bis der Gleichgewichtszustand wieder erreicht ist. Die Temperaturänderung gibt also nur teilweise die Änderung in der Wärmeproduktion wieder. Während letztere zeitweilig bis Null gesunken ist, bleibt ein Unterschied zwischen den Temperaturen von Calorimeter und Umgebung bestehen.

Dasselbe gilt für eine zeitweilige Produktionszunahme. Hier entspricht der Temperaturanstieg auch nur zum Teil dem wirklichen Zustand.

So wird also nur ein abgeflachtes Bild erhalten, es sei denn, dasz man mittels Eichproben den Temperaturgang bei bekannter, inkonstanter Wärmeproduktion bestimmt. Das Verhältnis zwischen Temperaturänderung und Produktionsänderung ist jedoch unter sonst gleichen Umständen, der Geschwindigkeit der Produktionsänderung proportional. Um ein richtiges Bild der Wärmeschwankungen zu erhalten, muss man also viele Abänderungen in den Eichproben vornehmen.

Abgesehen von den Eichproben kann man die Schwankungen auch durch eine Berechnung bestimmen, falls der Abkühlungskoeffizient des Calorimeters bekannt ist.

In Obigem wurde die Gröszenmessung der einzelnen Schwankungen besprochen. Wie verhält es sich mit dem Einfluss der Trägheit auf die Messung der Gesamtproduktion? Bei einer Produktionsabnahme wird zuviel Wärme gemessen. Dagegen wird aber bei einer Zunahme zu wenig gemessen. Hieraus geht hervor, dasz die Messung der gesamten Wärmeproduktion bei symmetrischen Schwankungen nicht durch die Trägheit beeinfluszt wird.

Eine andere Folge der Trägheit der Temperatureinstellung besteht darin, dasz bei anhaltend zunehmender (z.B. bei der Entwicklung eines Organismus) oder abnehmender (nach dem Erreichen des Maximums) Wärme-

produktion, die Beobachtung stets einige Zeit nachkommt.

Dann gibt es noch drei Vorteile, welche dem Umstand zu verdanken sind, dasz die Temperatur des Kulturgefäßes stets konstant gehalten wird (abgesehen von den sehr geringen, bei der Kompensation auftretenden Schwankungen).

a. Zunächst musz ein Vorteil allgemein physiologischer Art erwähnt werden. Es ist bekannt, dasz die Lebensprozesse sowohl quantitativ als qualitativ von der Temperatur abhängig sind. Nun sind die homioothermen Organismen in ihrer Körpertemperatur in hohem Masse von derjenigen der Umgebung unabhängig; die poikilothermen jedoch nicht. Für die Untersuchungen mit der letztgenannten Organismengruppe ist es von groszer Wichtigkeit, dasz die Temperatur im Kulturgefäß stets konstant gehalten wird. Die Organismen haben dann während des ganzen Versuches dieselbe Körpertemperatur.

b. Bei allen Methoden, ausgenommen derjenigen von Wagner, ist die Temperatur am Ende des Versuches, bisweilen beträchtlich höher als am Anfang. Ein Teil der produzierten Wärme ist also zur Erwärmung des Organismus und des Calorimeters verwandt worden. Der hierfür erforderliche Betrag musz der abgegebenen Menge hinzugefügt werden. Zur Bestimmung dieses Betrages musz der Wasserwert von Calorimeter und Organismus bekannt sein. Die Messung des letztgenannten Wertes ist oft sehr ungenau, u.a. weil das Gewicht des Organismus während des Versuches meistens nicht konstant ist. Bei konstant gehaltener Temperatur wird diese Korrektur beseitigt.

c. Bei fortwährend steigender oder schwankender Temperatur ist sehr schwer zu verhüten, dasz die behufs des Gaswechsels durch das Kulturgefäß hindurchgeföhrte Luft Wasserdampf aufnimmt. Bei konstant bleibender Temperatur kann man der Luft in einem anderen Raum mit derselben Temperatur, den erwünschten Wasserdampf-

druck erteilen; z.B. in der Weise, wie oben beschrieben wurde. Obwohl die Dampfaufnahme auch dann noch nicht ganz ausgeschlossen ist, bleibt ihre Wirkung doch sehr gering.

Schlieszlich sei noch die Einfachheit der Berechnung erwähnt. Die Zahl der registrierten Pumpenschläge braucht nur mit einer bei der Eichung bestimmten Zahl multipliziert und dem so erhaltenen Betrag 1.05 cal. pro Stunde hinzugefügt zu werden.

Betreffs der Verwendungsmöglichkeiten des Calorimeters ist zu bemerken, dasz es nicht ausschlieszlich zur Messung des Energieumsatzes bei *Aspergillus niger*, wofür es gebaut wurde, dienen kann. Nach den nötigen, kleinen Abänderungen im Kulturgefäß ist es auch für andere Pflanzen und ebenso für Tiere brauchbar. Sollte mit Rücksicht auf eine stärkere Wärmeproduktion ein Verdampfungsgefäß nicht zur Kompensation genügen, so können mehrere im Kulturgefäß angebracht werden. Auch kann das Wasser durch absoluten Alkohol ersetzt werden, wenn man dabei nur die nötigen Vorsichtsmaßregeln beachtet. Man erzielt dann eine ungefähr $2\frac{1}{2}$ mal so grosse Kälteentwicklung pro Pumpenschlag. Dies hat jedoch den Nachteil, dasz die viel geringere Verdampfungswärme und das geringere spezifische Gewicht die Kapazität der gesamten sich im Verdampfungsgefäß befindlichen Flüssigkeit bis auf ein Drittel reduzieren.

ABSCHNITT III.

BESPRECHUNG EINES VERSUCHES MIT *ASPERGILLUS NIGER*.

1. Methodisches.

Ebenso wie bei Moliard und Terroine und Wurmser wurde *Aspergillus niger* als Versuchsobjekt

gewählt. Dieser Schimmelpilz besitzt im Vergleich zu den anderen Pflanzen eine sehr starke Wärmeproduktion. Ein zweiter Vorteil besteht darin dasz er gut auf einer einfach zusammengesetzten Nährösung wächst. Dies ist von groszer Wichtigkeit für eine richtige Bestimmung der aufgenommenen Energie. Bei Züchtung auf einer Lösung ist ausserdem der Organismus sehr leicht von der übrig gebliebenen Nahrung zu trennen, und so kann die Verbrennungswärme von beiden einzeln bestimmt werden.

Verwendet wurde die Salzlösung von Hayduck ($MgSO_4$ 0.025 %, $KH_2 PO_4$ 0.5 % und $(NH_4)_2 SO_4$ 0.5 %), der 15 % Glukose hinzugefügt worden war. Hierauf entwickelt Aspergillus sich gut, wenn auch die Wachstumsgeschwindigkeit weit hinter derjenigen auf z.B. einer Malzlösung zurückbleibt. Eine für die Übersichtlichkeit günstige Folge der ausschlieszlichen Glukosenahrung ist die fast vollständig unterdrückte Sporenbildung. Nur hier und da entwickeln sich einzelne Sporangien auf dem dick fleischigen, meistens gefalteten Myzel.

Die silbernen Kulturschälchen waren kurz vor dem Versuch einige Male nacheinander in destilliertem Wasser ausgekocht worden. Doerr (5) gibt an, dasz auf diese Weise die oligodynamische Wirkung des Silbers verschwindet. Darauf wurden sie gefüllt mit sterilisierter Nährösung aus einem Chamberland-Kolben, worin 6 g Glukose abgewogen und in 40 ccm Hayduck-Lösung aufgelöst waren. Die im Kolben zurückgebliebene Glukose wurde auf eine bald näher anzugebende Weise bestimmt, sodasz die beigegebene Glukosemenge bekannt war.

Die Impfung fand am 29.8.31 um \pm 14.30 Uhr statt, und am 4.9.31 um 10.28 Uhr wurde der Versuch beendet.

Zur Messung der während des Versuchs abgegebenen Wärme wurde nach Beendigung des Versuchs die Zahl der Pumpenschläge fast immer für Perioden von zwei Stunden, aus den Aufzeichnungen auf der Registrierungs-

rolle bestimmt. Bei der Umrechnung der Pumpenschläge zu calorien wurde ausgegangen von den Werten von M in Tabelle XV. Der calorische Wert eines Pumpenschlages beträgt also 0.863 cal. bei einer Produktion von 0—7.5 cal. pro Stunde, 0.902 cal. bei 7.5—15 cal. pro Stunde, 0.918 cal. bei 15—30 cal. pro Stunde und 0.924 cal. bei mehr als 30 cal. pro Stunde. Dem so erhaltenen Betrag wurde als Korrektur für die Luftventilation 1.05 cal. pro Stunde hinzugefügt.

Die Absicht, ausser der entwickelten Kohlensäure auch den aufgenommenen Sauerstoff zu bestimmen, muszte aufgegeben werden.

Für die Kohlensäuremessung wurde mittels einer Quecksilberpumpe ein Luftstrom erzeugt. Das Quecksilber ist mit einer Schicht Paraffinöl bedeckt, und in den Ventilen befindet sich ausschliesslich Paraffinöl, sodass die Luft nicht mit dem Quecksilber in Berührung kommen kann. Die Luft wird erst in einem Pettenkofer'schen Rohr mit starker Kalilauge von Kohlensäure befreit. Darauf streicht sie durch ein zweites, ähnliches Rohr, welches mit Nährlösung gefüllt ist und ebenso wie das erstgenannte im Wasserbad WB steht. Hier bekommt die Luft den der Nährlösung bei 22° entsprechenden Wasserdampfdruck, wodurch die Wärmemessung nur wenig beeinfluszt wird durch die Luft, welche nun durch Rohr RZ₂ (Fig. 1, 2) in das Kulturgefäß eintritt und das Gefäß nach Kohlensäureaufnahme durch Rohr RA₂ (Fig. 1, 2) wieder verlässt. Sie passiert dann nacheinander zwei Pettenkofer'sche Röhren, welche mit Barytwasser gefüllt sind, und gibt hier die aufgenommene Kohlensäure wieder ab. Es gibt zwei Paare solcher Röhren, welche abwechselnd gebraucht werden. Für die zweistündlichen Bestimmungen genügen Röhren mit 50 ccm Barytwasser. Während der Nacht sind grössere Röhren, mit 150 oder 200 ccm, eingeschaltet. Das Barytwasser wurde auf gewöhnliche Weise hergestellt und hat einen Titer von 0.054 normal.

Der Titer nach Beendigung der Kohlensäureaufnahme wurde mittels 0.05 n HCl bestimmt. Von jedem Rohr wurden stets drei Bestimmungen mit je 10 ccm Barytwasser gemacht und deren Mittelwert für die Berechnung der aufgenommenen Kohlensäure verwertet.

Die Verbrennungswärmen wurden mit einer durch die Firma Peters, Berlin, in den Handel gebrachten Mikro-Verbrennungsbombe bestimmt.

Diese Bombe ist im Prinzip der gewöhnlichen ganz ähnlich; die Bestimmungen gehen darum auch in der gewöhnlichen Weise vor sich. Siehe hierfür u.a. Roth (35) und Klein und Steuber (17).

Für eine Verbrennung genügt schon eine Substanzmenge von ungefähr 100 mg.

Mit 500 g Wasser gefüllt, wurde für ihren Wasserwert 623.12 g gefunden. Dieser Wert ist das Mittel aus drei Bestimmungen, welche nacheinander einen Betrag von 623.76, 620.63 und 624.97 g ergaben. Aus der geringen Variabilität geht hervor, dasz die Ungenauigkeit in der Bestimmung des Mittelwertes die Gröszenordnung 0.5 % hat.

Die Bestimmungen der Verbrennungswärmen wurden wo möglich mehrfach ausgeführt. Um die Ergebnisse untereinander vergleichen und einen Mittelwert berechnen zu können, wurde die entwickelte Wärme auf ein Gramm der verbrannten Substanz umgerechnet.

Ausser allen diesen Bestimmungen wurde auch noch auf chemischem Wege mit Hilfe der „jodometrischen Titration von cupro“, einer der beiden von Schoorl (41) beschriebenen Methoden, die verbrauchte Glukosemenge bestimmt.

2. Die Ergebnisse.

Die Angaben über den Verlauf der Kohlensäure- und Wärmeabgabe sind zusammengestellt in Tabelle XXIII und in Fig. 4.

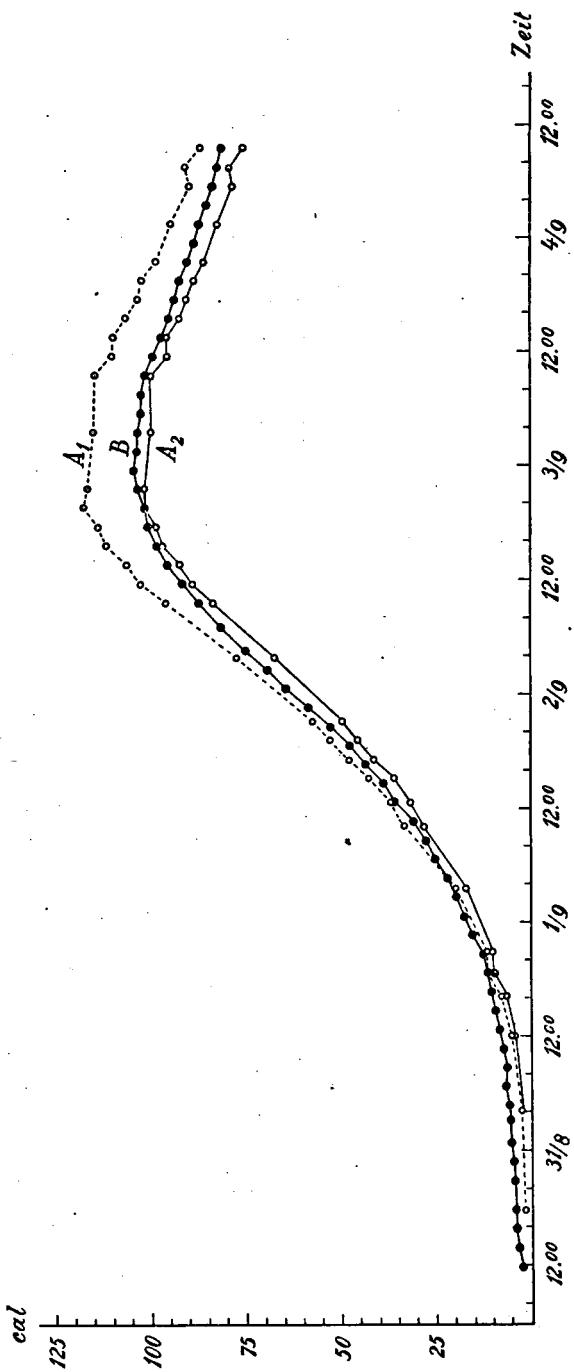


Fig. 4. Graphische Darstellung der Wärmeabgabe und der Atmungsenergie während des Versuchs. A₁ = Atmungsenergie, A₂ = korrigierte Atmungsenergie.

Die Zahlen in der zweiten Spalte dieser Tabelle stellen die Anzahl von calorien (es sind stets Grammcalorien gemeint) dar, die während der in der ersten Spalte angegebenen Zeitperioden entwickelt wurden. Die Perioden dauern fast immer zwei Stunden, ausgenommen am 30.8.31 von 18.58—21.28 Uhr und am 2.9.31 von 5.28—8.28 Uhr. Hier ist nicht die Zahl der in diesen Perioden entwickelten calorien angegeben, sondern die Anzahl, welche während derselben pro zwei Stunden abgegeben wurde.

Die dritte Spalte gibt die Perioden an, in denen die entwickelte Kohlensäure gemessen ist; die vierte Spalte nennt die während dieser Perioden entwickelte Kohlensäure, ausgedrückt in Millimolen. In der fünften Spalte ist deren Menge auf zwei Stunden umgerechnet, um Kohlensäure- und Wärmeabgabe miteinander vergleichen zu können, zu welchem Zweck die Kohlensäureproduktion in calorien umgerechnet ist. Hierbei wurde angenommen, dasz der Abbau der veratmeten Glukose vollständig gewesen war. Auf die Frage, inwiefern diese Annahme richtig ist, wird später näher eingegangen werden.

Als Verbrennungswärme von 1 Mol Glukose wurde der von Landolt-Börnstein (20) angegebene Betrag von 673.7 Cal. verwandt.

In den beiden letzten Spalten ist das Verhältnis $\frac{r}{w}$ zwischen der in calorien ausgedrückten Kohlensäureproduktion r und der gemessenen Wärme w mitgeteilt. Der Sinn der siebenten Spalte wird sich später zeigen.

Aus einer Addierung geht hervor, dasz während des Versuchs im ganzen 3299 cal. Wärme abgegeben und 31.33 Millimol Kohlensäure entwickelt wurden. Letztere entsprechen nach der Berechnung 3518 cal.

Fig. 4 ist zusammengestellt aus den in den Spalten 1, 2, 3 und 5 mitgeteilten Zahlen. Auf der Ordinate ist die calorienzahl abgetragen und auf der Abscisse die Zeit. Die B-Kurve

entspricht der gemessenen Wärmeabgabe; die A_1 -Kurve der in calorien umgerechneten Kohlensäureproduktion (Atmungsenergie). Auf die A_2 -Kurve wird später näher eingegangen werden.

TABELLE XXIII.

Zeitperioden der Wärmemessung.	Wärme pro 2 Stunden in cal. (w)	Zeitperioden der CO_2 -Bestimmung.	Kohlensäure.		$\frac{r}{w}$	$\frac{r}{w}$ korri- giert.
			Total in Milli- molen.	Pro 2 Stunden in cal. (r)		
30/8; 10.58—12.58	2.50	12.58—21.28	0.06	1.59	0.39	0.34
	12.58—14.58					
	14.58—16.58					
	16.58—18.58					
	18.58—21.28					
	21.28—23.28					
31/8; 23.28— 1.28	5.37	21.28— 9.28	0.15	2.81	0.48	0.42
	1.28— 3.28					
	3.28— 5.28					
	5.28— 7.28					
	7.28— 9.28					
	9.28—11.28					
11.28—13.28	8.47	9.28—14.28	0.11	4.94	0.60	0.52
	13.28—15.28					
	15.28—17.28					
	17.28—19.28					
	19.28—21.28					
	21.28—23.28					
1/9; 23.28— 1.28	17.43	14.28—17.28	0.10	7.49	0.75	0.65
	1.28— 3.28					
	3.28— 5.28					
	5.28— 7.28					
	7.28— 9.28					
	9.28—11.28					
11.28—13.28	31.05	10.58—13.58	0.30	33.69	1.12	0.97
	35.79					
	39.00					
	43.50					
	48.00					
	52.59					
21.28—23.28	58.92	19.58—21.58	0.51	57.26	1.06	0.92

Zeitperioden der Wärmemessung.	Wärme pro 2 Stunden in cal. (w)	Zeitperioden der CO ₂ -Bestimmung.	Kohlensäure.		$\frac{r}{w}$	$\frac{r}{w}$ korri- giert.
			Total in Milli- molen.	Pro 2 Stunden in cal. (r)		
2/9; 23.28— 1.28	64.38					
1.28— 3.28	69.27					
3.28— 5.28	75.28	21.58— 8.28	3.63	77.64	1.09	0.95
5.28— 8.28	81.26					
8.28—10.28	87.20	8.28—10.28	0.85	95.46	1.09	0.95
10.28—12.28	91.73	10.28—12.28	0.92	103.32	1.13	0.98
12.28—14.28	95.61	12.28—14.28	0.95	106.69	1.12	0.97
14.28—16.28	98.57	14.28—16.28	1.00	112.30	1.14	0.99
16.28—18.28	100.78	16.28—18.28	1.01	113.40	1.13	0.98
18.28—20.28	101.61	18.28—20.28	1.04	116.79	1.15	1.00
20.28—22.28	103.19	20.28—22.28	1.04	116.79	1.14	0.99
22.28— 0.28	104.20					
3/9; 0.28— 2.28	103.83					
2.28— 4.28	103.83	22.28— 8.28	5.12	114.98	1.11	0.97
4.28— 6.28	102.91					
6.28— 8.28	102.63					
8.28—10.28	101.15	8.28—10.28	1.02	114.52	1.14	0.99
10.28—12.28	99.40	10.28—12.28	0.98	110.03	1.11	0.97
12.28—14.28	97.27	12.28—14.28	0.98	110.03	1.13	0.98
14.28—16.28	95.33	14.28—16.28	0.95	106.67	1.12	0.97
16.28—18.28	93.76	16.28—18.28	0.92	103.32	1.10	0.96
18.28—20.28	92.28	18.28—20.28	0.91	102.18	1.11	0.97
20.28—22.28	90.34	20.28—22.28	0.88	98.81	1.10	0.96
22.28— 0.28	88.22					
4/9; 0.28— 2.28	87.29	22.28— 4.28	2.53	94.71	1.09	0.95
2.28— 4.28	85.17					
4.28— 6.28	83.87	4.28— 6.28	0.80	89.84	1.07	0.93
6.28— 8.28	82.95	6.28— 8.28	0.81	90.96	1.10	0.96
8.28—10.28	82.03	8.28—10.28	0.78	87.59	1.07	0.93

Während der ersten Tage steigen die beiden Kurven und erreichen in der Nacht von 3.9 zum 4.9 ein Maximum, wonach sie langsam zu fallen beginnen. Anfangs steigt die Wärmekurve höher als die Kohlensäurekurve. Beide nähern sich jedoch, und am 1.9.31 ungefähr um 2 Uhr vor-

mittags, überschreitet die Kohlensäurekurve die der gemessenen Wärme und bleibt bis zum Schlusz darüber.

Ausser an dem Punkt, wo sie einander schneiden, besteht also immer ein Unterschied zwischen beiden Kurven. Ist dieser Unterschied nun reell?

Bei der Beantwortung dieser Frage sehen wir vorläufig ab von der Frage, ob die Annahme eines vollständigen Glukoseabbaus, welche der Umrechnung der gemessenen Kohlensäure in calorien zugrunde liegt, tatsächlich richtig ist. Wir wollen hier prüfen, ob die gefundenen Unterschiede noch ausserhalb der Fehlergrenzen der Kohlensäure- und Wärmemessungen liegen. Dies ist namentlich zu Beginn des Versuchs erforderlich, weil hier die absoluten Werte so klein sind.

Zunächst wollen wir die Fehlergrenzen der Kohlensäuremessungen bestimmen.

Das verwendete Barytwasser wurde eingestellt mit einer 0.05 n HCl-Lösung. Hierbei wurde bestimmt, wieviel ccm HCl zur Neutralisation von 10 ccm Barytwasser erforderlich sind. Diese Bestimmungen wurden zwölftmal wiederholt, um ein genaues Mittel und zugleich ein Bild von der Genauigkeit der Messungen zu erlangen. Bei diesen Versuchen waren nacheinander erforderlich: 10.70; 10.68; 10.80; 10.76; 10.75; 10.71; 10.72; 10.76; 10.82; 10.77; 10.77 und 10.80 ccm 0.05 n HCl. Der Mittelwert beträgt 10.75 ccm, d.h. das Barytwasser ist 0.0054 normal.

Weiter kann σ berechnet werden. Es stellte sich heraus, dasz ihr Wert 0.041 ccm HCl beträgt, d.h. dasz die maximale Abweichung einer einzigen Beobachtung vom Mittelwert nicht grösser sein wird als $3 \times 0.041 = 0.12$ ccm HCl.

Der mittlere Fehler des Mittelwertes ist gleich $\frac{0.041}{\sqrt{12}} = 0.12$ ccm. Der gefundene Mittelwert kann also maximal $3 \times 0.012 = 0.04$ ccm HCl vom wirklichen Mittelwert abweichen. Dieses entspricht $0.04 \times 0.05 = 0.002$ Millimol CO₂.

Erwähnt wurde schon, dasz jede Kohlensäurebestimmung das Mittel aus sechs Beobachtungen war. Die maximale Abweichung dieses Mittels vom wirklichen Mittel beträgt also $3 \times \frac{\sigma}{\sqrt{6}} = 0.05$ ccm 0.05 n HCl.

Die aufgenommene Kohlensäuremenge wird berechnet aus der Differenz zwischen diesem Mittel und demjenigen, welches bei der Einstellung des Barytwassers gefunden ist. Letzteres hat eine Ungenauigkeit von 0.04 ccm HCl.

Die Ungenauigkeit in der Kohlensäuremessung ist also $0.04 + 0.05 = 0.09$ ccm HCl oder $0.09 \times 0.05 = 0.0045$ Millimol Kohlensäure.

Die erste Kohlensäurebestimmung fand statt am 30.8.31 während der Periode von 12.58 — 21.28 Uhr. Gemessen wurde ein Betrag von 0.06 Millimol. Der maximale Fehler beträgt hier also $\frac{0.0045}{0.06}$ oder 7.5% der gemessenen Kohlensäurereproduktion. Der maximale Fehler der in cal. umgerechneten Kohlensäurereproduktion während zwei Stunden (das ist der in Spalte 5 angegebene Betrag 1.59) ist also 7.5 % von 1.59 cal. = 0.12 cal.

In der genannten Periode von 12.58—21.28 Uhr wurden 17.82 cal. abgegebene Wärme gefunden.

Bei den Eichproben wurde der Fehler einer zweistündlichen Probe bei einer Produktion von 5 cal. pro Stunde auf 2.7 oder 5.5 % berechnet. Wählen wir den ungünstigsten Fall und stellen wir den Fehler auf 5.5 %. Nun beträgt die Wärmeproduktion in der betrachteten Periode nur reichlich 2 cal. pro Stunde, wobei der Fehler unzweifelhaft gröszer sein wird. Dagegen aber dauerte die Beobachtung 8½ Stunden, was den Fehler prozentual verkleinert. Wir gehen zweifellos sicher, wenn wir den Fehler auf nicht gröszer als 10 % veranschlagen.

In der betrachteten Periode von 8½ Stunden wurden im ganzen 17.82 cal. entwickelt oder pro zwei Stunden

durchschnittlich 4.19 cal. Der maximale Fehler wird also ungefähr 0.42 cal. betragen.

Addieren wir die Fehler der Kohlensäure- und Wärmeabgabe, so ergibt sich ein Betrag von $0.12 + 0.42 = 0.54$ cal. Der gemessene Unterschied $4.19 - 1.59 = 2.60$ cal, liegt also ausserhalb der Fehlergrenzen.

Wir können dies bei jeder Periode wiederholen. Dabei wird sich zeigen, dassz der Unterschied zwischen CO_2 - und Wärmeproduktion immer ausserhalb der Fehlergrenzen der Bestimmungen fällt, ausgenommen natürlich in dem Gebiet, wo die beiden Kurven einander schneiden.

Ist nun aus der Genauigkeit der periodischen Bestimmungen auch herzuleiten, wie grosz die Genauigkeit der Endwerte der CO_2 - und Wärmeproduktion ist?

Es wurde gezeigt, dasz der maximale Fehler der Differenz zwischen dem Mittel aus sechs Bestimmungen und dem wirklichen Mittel des ursprünglichen Barytwassers 0.09 ccm HCl oder 0.0045 Millimol CO_2 betrug.

Je gröszer die Kohlensäureabgabe ist, desto kleiner wird prozentual der Fehler werden. In der Nähe des Maximums wurde in 2 Stunden ungefähr 1 Millimol CO_2 produziert; der Fehler wurde hier also 0.45 % betragen. Wir sehen, dasz der Fehler der periodischen CO_2 -Bestimmungen mit einem Wert von 7.5 % beginnt und sich allmählich bis auf 0.45 % verkleinert.

Bedenken wir, dasz weitaus die meiste CO_2 in der Nähe des Maximums produziert wird und weiter, dasz der Fehler bei der einen Bestimmung im positiven Sinn, bei einer anderen im negativen Sinn ausfällt, so dürfen wir wohl annehmen, dasz der Fehler im Endwert den Betrag von 0.45 % nicht überschreitet und eher kleiner sein wird, also auch der Fehler der in calorien ausgedrückten Atmungsenergie, abgesehen von der Frage ob alle veratmete Glukose vollständig abgebaut worden ist.

Bei den Eichproben ist die Ungenauigkeit der zweistünd-

lichen Bestimmungen der Wärmeabgabe bestimmt auf: 2.7 (5.5) % bei 5 cal. pro Stunde; 2.7 (3.2) % bei 10 cal. pro Stunde; 1.4 % bei 20 cal. pro Stunde und 1.5 % bei 40 cal. pro Stunde. Auf Grund einer Überlegung, wie sie bei der CO_2 -abgabe entwickelt wurde, dürfen wir den Fehler im Endwert der gemessenen Wärme auf ungefähr 1 % veranschlagen.

Es kann jedoch, ausser den betrachteten Beobachtungsfehlern, noch andere geben welche die Resultate beeinflussen, besonders im Anfang des Versuches. So könnte der Unterschied zwischen CO_2 - und Wärmeproduktion hier, herbeigeführt sein durch die Quellung der Sporen, welche mit Wärmeentwicklung verknüpft ist. Auch könnte sich ein Teil der produzierten CO_2 in der Nährlösung auflösen. Beide Annahmen sind jedoch nicht sehr wahrscheinlich. Ihr Einfluss müsste sich mindestens bis zur Nacht vom 31.8 auf den 1.9 (wenn die Atmungsenergie grösser wird als die abgegebene Wärme) ausdehnen, während die Impfung am 29.8 um \pm 14.30 Uhr stattfand.

Es ist schwer einzusehen, dasz die Quellung der Sporen solange Zeit währt. Und was die Auflösung der Kohlensäure betrifft so wird in der sauer reagierenden Nährlösung nur wenig CO_2 aufgenommen werden, um so mehr, weil dank der fortwährenden Luftventilation, der CO_2 -Druck im Kulturgefäß sehr gering bleibt. Wenn auch im allerersten Anfang Quellungswärme abgegeben und Kohlensäure aufgelöst werden mag, so wird deren Einfluss, wenn die Beobachtungen einen Tag nach der Impfung anfangen, sicher nicht mehr gross sein.

Nach Beendigung des Versuchs wurden Myzel und Nährlösung voneinander getrennt. Das Myzel wurde dreimal mit destilliertem Wasser abgewaschen und darauf ungefähr eine Stunde auf 100° C gehalten, um die Enzyme abzutöten. So dann wurde das Myzel bei 40° C in einem mit starker Schwefelsäure versehenen Vakuumexsikkator getrocknet.

Die Nährlösung zusammen mit dem Waschwasser vom

Myzel und von den silbernen Schälchen wurden gleichfalls ungefähr eine Stunde auf 100° C gehalten, um die in der Nährösung anwesende Enzyme abzutöten. Nach Abkühlung wurde die Lösung mit destilliertem Wasser in einem Maszkolben bis 100 ccm angefüllt. Hiervon ging etwas verloren; aber durch erneutes Anfüllen bis 100 ccm konnte festgestellt werden, dasz ihre Menge 1.45 ccm betrug. Von diesen 100 ccm wurden 10 ccm (also 0.09855tel des Ganzen) abgesondert für die chemische Glukosebestimmung und das Übrige (0.88695tel des Ganzen) bis Sirup eingedickt.

Das Trockengewicht des Myzels betrug 1.2254 g. Die Verbrennungswärme wurde bestimmt auf 4575 cal. pro Gramm (Mittel aus: 4605, 4601, 4576 und 4518).

Die Verbrennungswärme des ganzen Myzels betrug also $1.2254 \times 4575 = 5606$ cal.

Um die Verbrennungswärme der Nährösung vor dem Versuch bestimmen zu können, musz zuerst bekannt sein, wieviel Glukose im Chamberland-Kolben von den abgewogenen 6 g Glukose zurückgeblieben war.

Dieser Rest wurde mit destilliertem Wasser bis 100 ccm angefüllt und deren Glukose dreimal in je 5 ccm nach Schoorl bestimmt. Nötig waren 11.13; 11.00 und 10.98 ccm thio. Das Mittel ist 11.04. Mit Berücksichtigung der Blanko- und Kontrollbestimmungen ergab sich hieraus mit Hilfe der von Schoorl ausgearbeiteten Tabelle, ein Glukosegehalt von 36.97 mg pro 5 ccm. Im ganzen waren demnach im Kolben $20 \times 36.97 = 739.4$ mg Glukose zurückgeblieben.

Der Versuch begann also mit $6.000 - 0.739 = 5.261$ g Glukose. Die Verbrennungswärme der verwendeten Glukose wurde in zwei Versuchen bestimmt auf 3718 cal. pro Gramm (Mittel aus: 3730 und 3705). Bemerkt sei, dasz Landolt-Börnstein (20) einen Betrag von 3742 cal. erwähnen. Vielleicht enthielt die verwendete Glukose ein wenig Wasser. Hierauf weisen auch die Ergebnisse der Kontroll-

bestimmungen bei der chemischen Glukosebestimmung hin.

Vernachlässigen wir die Energie der hinzugefügten Salze, dann war die Energie der Lösung vor dem Versuch $5.261 \times 3718 = 19560$ cal.

Um nachzuprüfen, ob diese Vernachlässigung gestattet ist, wurden 40 ccm Nährösung bis 7.7950 g Sirup eingedickt. Es gelang einmal, hiermit eine Verbrennung auszuführen, mit dem Resultat, dasz sich pro Gramm der eingedickten Lösung 2863 cal. entwickelten, im ganzen also $7.7950 \times 2863 = 22320$ cal. Nun geben 6 g Glukose $6 \times 3718 = 22310$ cal. Beide Resultate sind praktisch einander gleich.

Der für die Verbrennung zu Sirup eingedickte Teil der „Nährösung nach dem Versuch“ wog 3.2778 g. Bei Verbrennung von 1 g desselben wurden 2909 cal. entwickelt (Mittel aus: 2905 und 2913). In diesem eingedickten Rückstand befindet sich nicht alle übrig gebliebene Nahrung; denn nur 0,88695tel des Rückstandes wurden eingedickt.

Die Verbrennungswärme der „Nährösung nach dem Versuch“ betrug also $\frac{1000}{886.95} \times 3.2778 \times 2909 = 10750$ cal.

Die chemische Glukosebestimmung dieser Nährösung ergab das folgende Resultat: Die abgesonderten 10 ccm d.h. 0,09855tel des Ganzen, wurden mit destilliertem Wasser bis 50 ccm angefüllt. In drei Bestimmungen je mit 5 ccm waren 14.31; 14.29 und 14.33 ccm thio nötig. Das Mittel 14.29 ccm entspricht 27.78 mg Glukose. Im ganzen waren also $\frac{1000}{98.55} \times 10 \times 27.78 = 2819$ mg Glukose übrig geblieben. Diese Glukose entspricht einer Verbrennungswärme von $2.819 \times 3718 = 10480$ cal.

Bei der Verbrennung des Rückstandes der Nährösung wurden 10750 cal. gefunden. Der Unterschied zwischen beiden beträgt also 270 cal.

Den Bestimmungen obenstehender Verbrennungswärmen haften mehrere Fehler an. Allen Berechnungen liegt der Wasserwert der Verbrennungsbombe zugrunde. Wir sahen, dasz der Fehler in dessen Bestimmung ungefähr 0.5 % betrug. Die Variabilität der Parallelbestimmungen der Verbrennungswärmen zeigt, dasz auch hier Fehler gemacht worden sind. Die Zahl der Bestimmungen ist jedoch so gering, dasz die Berechnung des mittleren Fehlers gar keinen Sinn hat. Aus den Zahlen der vier Bestimmungen beim Myzel geht hervor, dasz der Fehler im Mittel ungefähr die Grösze von 1 % hat. Bei der Bestimmung der Verbrennungswärmen der Nährlösung vor und nach dem Versuch wird dieser Fehler ungefähr dieselbe Grösze haben.

Die gefundene Ungenauigkeit in den Bestimmungen beträgt also ungefähr 1.5 %.

Wir haben aber weiter noch den Umstand in Rechnung zu stellen, dasz beim Trocknen des Myzels und der Eindickung der Nährlösung eine Energieaufnahme stattfindet. Demzufolge werden die gefundenen Werte für das Myzel und die Nährlösung alle grösser sein als dem Zustand entspricht, worin sie sich während des Versuches befinden.

Um die Verbrennungswärme der übriggebliebenen Nährlösung vergleichen zu können mit derjenigen, welche aus der chemischen Glukosebestimmung berechnet wurde, musz die Glukose sich in beiden Fällen in demselben Zustand befinden. Wenn die Eindickung mit Energieaufnahme verknüpft ist, nimmt ihre Verbrennungswärme bei der Auflösung der Glukose in Wasser ab. Nun ist der eingedickte Rückstand bei der Verbrennung von einer sirupartigen Beschaffenheit und somit als eine konzentrierte Lösung zu betrachten. Bei der Berechnung der Verbrennungswärme der chemisch bestimmten Glukose wurde vom festen Zustand ausgegangen. Für einen Vergleich mit dem eingedickten Rückstand musz die Glukose zu Sirup aufgelöst und die Anzahl der gefundenen 10480 cal. um soviel ver-

mindert werden, wie bei der Auflösung verloren geht. Der Unterschied wird also gröszer als 270 cal. oder gröszer als 2.6 %. Ob der Betrag ausserhalb der Fehlergrenzen fällt, ist nicht ganz sicher. Die Annahme, dass der Unterschied auf Anwesenheit von organischen Säuren im Rückstand beruht, ist zwar wahrscheinlich, aber nicht ganz sicher.

3. Besprechung der Ergebnisse.

Wie in der Einleitung schon ausgeführt wurde, ist der Energieumsatz bei *Aspergillus niger* schon früher gemessen worden. Erwähnt wurden die Untersuchungen von Moliard (24) und von Terroine und Wurmser (43, 44). Sie bestimmten: Die Verbrennungswärme der Nährösung vor dem Versuch (Q) und nach dem Versuch (q), die Verbrennungswärme des getrockneten Myzels (M) und die in calorien ausgedrückte Atmungsenergie (R), welche aus der Kohlensäurereproduktion berechnet wurde.

Moliard versuchte festzustellen, für welche Zwecke die Atmungsenergie benutzt wird. Dazu verglich er R mit $(Q - q - M)$. Ein reeller Unterschied zwischen beiden in dem Sinne, dasz $R > Q - q - M$ ist, besagt, dasz ein Teil der Atmungsenergie als chemische Energie im Myzel festgelegt wird und dasz also die Atmungsenergie die Energiequelle der Syntheseprozesse ist. Ist $R = Q - q - M$, so spielt die Atmung keine Rolle bei den Syntheseprozessen.

Moliard benutzt die Ergebnisse seines eignen Versuches und diejenige der beiden Versuche van Terroine und Wurmser. Es sind die folgenden (in Grammcalorien ausgedrückt):

	Moliard	Terroine und Wurmser. 1er Versuch.	Terroine und Wurmser. 2er Versuch.
R	11710	2020	1970
Q	28700	6460	6000
q	3540	510	125
M	13900	3550	3480

Bei Moliard ist $R - (Q - q - M)$ gleich 450 cal. oder 1.6 % des gesamten Energieumsatzes. Moliard führt den Unterschied hauptsächlich auf den Umstand, dasz das Myzel während der Trocknung Energie aufgenommen hat zurück und M also zu grosz war. Weiter musz hier an Beobachtungsfehler gedacht werden.

Bei dem ersten Versuch von Terroine und Wurmser ist $R - (Q - q - M) = - 380$ cal. oder - 5.9 %; bei dem zweiten Versuch - 435 cal. oder - 7.3 %.

Aus dem Mittel dieser drei Versuche schlieszt Moliard, dasz $R = (Q - q - M)$ ist. Es wird also gar nichts von der Atmungsenergie als chemische Energie im Myzel festgelegt.

In der Einleitung wurde gezeigt, dasz $Q - q$ gleich $M + W$ sein musz oder $W = (Q - q - M)$ oder $Q = M + W + q$. Die Richtigkeit hiervon konnte durch die genannten Autoren nicht nachgewiesen werden, weil sie die während des Versuches abgegebene Wärme (W) nicht gemessen haben. Dies ist wohl geschehen im eignen Versuch. Aus nachstehender Bilanz geht die Gleichheit deutlich hervor: Verbrennungswärme des Myzels..... M 5606 cal. Während des Versuches entwickelte Wärme W 3299 cal. Verbrennungswärme der übrig gebliebenen

Nährösung	q	10750 cal.
		19655 cal.

Verbrennungswärme der ursprünglichen

Nährösung	Q	19560 cal.
		95 cal.

Der Unterschied zwischen Q und $M + W + q$ beträgt also 95 cal. oder 0.5 % des gesamten Energieumsatzes. Dieser Betrag liegt innerhalb der oben berechneten Fehlergrenzen, und deshalb darf $Q = M + W + q$ angenommen werden. Hieraus geht dann hervor, dasz $W = Q - q - M$ ist. Anstatt mit $(Q - q - M)$ können wir R besser mit W

vergleichen. Die Vorteile davon sind schon erwähnt worden: W erfordert die Bestimmung von nur einer Grösze, während für $(Q - q - M)$ drei Gröszen gemessen werden müssen, wobei jede Messung mit Fehlern verknüpft ist. Weiter kann der nicht-bestimmbare Fehler, verursacht durch die Trocknung des Myzels und der Nährösung, eliminiert werden.

Für R wurde ein Betrag von 3518 cal. gefunden. R — W ist also 219 cal; d.h. reichlich 6 % der gesamten Atmungsenergie und 6.6 % der gemessenen Wärme. Dieser Unterschied fällt ausserhalb der Fehlergrenzen. Hiermit ist gezeigt, dasz der durch Mollard gefundene Unterschied zwischen R und $(Q - q - M)$ nicht auf die Energieaufnahme beim Trocknen des Myzels zurückzuführen ist und ebensowenig auf die Fehlerquellen bei den Bestimmungen der verschiedenen Gröszen.

Müssen wir nun annehmen, dasz der Unterschied reell ist und folglich ein Teil der Atmungsenergie als chemische Energie festgelegt wird?

Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir noch einmal feststellen, auf welche Weise der Wert von R erhalten wurde. R ist die in calorien ausgedrückte Kohlensäureproduktion. Bei der Umrechnung der Kohlensäure in calorien wurde angenommen, dasz alle veratmete Glukose zu Kohlensäure und Wasser abgebaut wurde. Nun ist es aber wahrscheinlich, dasz dies nicht der Fall gewesen und dasz ein Teil der Glukose unvollständig abgebaut worden ist. In dem Fall musz die berechnete Atmungsenergie zu grossz ausfallen, weil bei vollständiger Verbrennung pro Mol CO_2 mehr Energie in Freiheit gesetzt wird als bei unvollständiger Verbrennung.

So entwickeln sich bei vollständiger Verbrennung von 1 Mol Glukose 673700 cal. und 6 Mol CO_2 . 1 Mol CO_2 entspricht also 122280 cal. Bei der alkoholischen Gärung entwickeln sich aus 1 Mol Glukose 25000 cal und 2 Mol CO_2 . Hier entspricht 1 Mol CO_2 nur 12500 cal.

Hieraus geht deutlich hervor, dasz die Berechnung der Atmungsenergie aus der Kohlensäureproduktion zu einem zu hohen Werte führt, wenn ein Teil der Glukose unvollständig abgebaut wird. Sie ist deshalb nur dann erlaubt, wenn die Verbrennung vollständig ist oder wenn bei unvollständiger Verbrennung die Natur und die Menge der unvollständigen Abbauprodukte bekannt sind.

Ist die Annahme eines vollständigen Abbaues unrichtig, so musz der Wert von R zu grosz sein und auch der Unterschied $R - W$. Das wäre dann auch die Ursache dafür, dasz Moliard R gröszer als $(Q - q - M)$ fand.

Nun geben die Werte von $\frac{r}{w}$ während des Versuches einen Fingerzeig, dasz die Glukose tatsächlich unvollständig abgebaut wurde, wie aus Folgendem hervorgeht.

Wir erinnern daran (S. Seite 59), dasz falls die Atmung eine Rolle spielt bei den Syntheseprozessen, r in den ersten Stadien der Entwicklung deutlich gröszer sein musz als w ; spielt sie keine Rolle, so ist w deutlich gröszer als r . Nehmen wir an, dasz das Myzelgewicht der Zeit von der Keimung der Sporen an proportional ist, dann musz im ersten Fall das Verhältnis $\frac{r}{w}$ fortwährend kleiner werden und sich 1 nähern; im zweiten Fall wird es immer gröszer bis es ebenfalls 1 erreicht hat.

Aus den eignen Kurven ist ohne weiteres nichts über die Zunahme des Myzelgewichtes während des Versuches zu schlieszen. Terroine und Wurmser (44); die die Proportionalität zwischen dem Myzelgewicht und der Zeit feststellten, fanden ebenso, dasz während der ganzen Entwicklung pro Gramm-Myzel stets die gleiche Kohlensäuremenge abgegeben wird. Die Kohlensäureproduktion ist also dem Myzelgewicht proportional. Aus der Proportionalität von Kohlensäureabgabe und Zeit, geht also die Proportionalität von Myzelgewicht und Zeit hervor. Auf diese Weise gibt

die eigne Kurve also ein Bild des Myzelgewichtes. Bei einer Betrachtung der ganzen Kurve finden wir keine Proportionalität zwischen Kohlensäureproduktion und Zeit. Betrachten wir nur den aufsteigenden Teil der Kurve, so ist diese Proportionalität ziemlich gut. Weil die durch Terroine und Wurmser gemachte Versuchsreihe bei 22° nur bis ± 3 Tage dauerte, entsprechen ihre Versuche zweifellos dem aufsteigenden Teil der Kurve.

Der spätere Rückgang der CO_2 -Produktion ist vielleicht auf den Umstand zurückzuführen, dasz Zellen des Myzels absterben und sich nicht mehr an der Atmung beteiligen.

Erwähnt wurde schon, dasz im Anfang des Versuchs die Kohlensäurekurve unter der Wärmekurve liegt und in der Nacht vom 31.8.31 zum 1.9.31 bis zum Ende des Versuches darüber verläuft. Weiter geht aus der sechsten Spalte von Tabelle XXIII hervor, dasz das Verhältnis $\frac{r}{w}$ bei 0.39 anfängt, bis zum Maximum fortwährend steigt bis auf 1.15, um dann wieder langsam zu fallen. Wir sahen, dasz die Unterschiede zwischen r und w , vorausgesetzt dasz die Annahme des vollständigen Abbaues der veratmeten Glukose richtig ist, ausserhalb der Fehlergrenzen liegen. In diesem Fall müssen wir also schlieszen, dasz die Atmung bei den Syntheseprozessen in den ersten Stadien keine Rolle spielt (w ist ja gröszer als r); in den späteren Stadien dagegen wohl (hier ist $w < r$). Dieser widersprechende Schluss ist zweifellos unrichtig. Diesen Widerspruch löst die Annahme auf, dasz die Umrechnung der produzierten Kohlensäure in calorien unrichtig gewesen ist und zu den zu hohen Werten von r geführt hat; denn es zeigte sich, dasz die andern Möglichkeiten als Beobachtungsfehler bei den Messungen der Kohlensäure und der abgegebenen Wärme, die Quellungswärme der Sporen und die teilweise Auflösung der Kohlensäure in der Nährlösung nicht imstande waren, die gefundenen Differenzen zu erklären.

Um wieviel ist nun die Atmungsenergie zu grossz berechnet? Wir bekommen eine Antwort auf diese Frage, wenn wir annehmen, dasz das Wachstum beim Erreichen des Maximums aufgehört hat. Hier finden dann keine Synthese-prozesse mehr statt; alle Energie wird der „Erhaltung“ dienen und also in Wärme umgewandelt werden. Die Atmungs-energie musz hier der abgegebenen Wärme gleich sein. Sie wurde jedoch 1.15 mal so grosz gefunden, d.h. wir müssen die für R und r berechneten Werte durch 1.15 dividieren. Die korrigierten Werte für r sind in Fig. 4 graphisch dar-gestellt in der A_2 -Kurve. Wir erhalten $R = 3059$ cal. und

$$R - W = -240 \text{ cal. Alle Werte von } \frac{r}{W} \text{ werden kleiner als 1.}$$

Sie fangen an mit 0.34 und steigen ziemlich regelmäzig bis 1. Nach dem Erreichen des Maximums haben sie eine leichte Neigung zum Fallen. Das röhrt vielleicht daher, dasz sich tote Zellen bilden, welche bei ihrer Autolyse ein wenig Wärme abgeben.

Die durch obigen Gedankengang abgeleitete Annahme eines unvollständigen Glukoseabbaues ist nachzuprüfen durch die Bestimmung des Atmungsquotienten während des Versuchs. Ist er gröszer als 1, so ist die Annahme be-wiesen. In diesem Zusammenhang sei bemerkt, dasz Purie-witsch (31) für den Atmungsquotienten von *Aspergillus*, gezüchtet auf 10 % Glukose, den Wert 1.18 fand.¹⁾

Obwohl auf Grund dieses einzigen Versuchs keine Ent-scheidung zu treffen ist, ist es wohl wahrscheinlich, dasz die

¹⁾ Die Atmungsenergie kann auch durch den folgenden Um-stand zu grosz berechnet sein: De Boer (Rec. d. trav. bot. néerl. 25, 1928) fand in der Nähe des Maximums für den R.-Q. bei *Phycomyces Blakesleanus Burgeff*, gezüchtet auf Wasserbrot, den Wert 1.14. Er erklärt dies durch die Annahme einer Um-wandlung von Kohlenhydraten in Fette. Eine Berechnung zeigte dasz die dabei entwickelte CO_2 viel weniger Wärme entspricht als bei einem vollständigem Glukoseabbau.

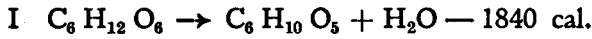
abgegebene Wärme gröszer ist als die Atmungsenergie. Hieraus geht hervor, dasz Molliard's Schluss richtig ist und dasz gar nichts von der Atmungsenergie als chemische Energie im Myzel festgelegt wird.

Wenn die Atmung nicht die Energie liefert, auf welche Weise können dann wohl Stoffe mit höherem chemischem Potential synthetisiert werden?

Das Myzel von *Aspergillus niger* besteht hauptsächlich aus Zellulose und Eiweiszstoffen. Terroine, Trautmann, Bonnet und Jacquot (45) geben an, dasz der N-Gehalt von *Sterigmatocystis nigra* (= *Aspergillus niger*) auf einer Glukoselösung gezüchtet, 6.27 % des Trockengewichtes beträgt. Weil der N-Gehalt der Eiweiszstoffe ungefähr 16 % beträgt, besteht das Myzel für $\frac{16}{6.27}$ tel oder $\pm 40\%$ aus Eiweiszstoffen und $\pm 60\%$ aus Zellulose.

Aus dieser Berechnung geht hervor, dasz das von mir erhaltene Myzel aus ungefähr 0.73 g Zellulose und 0.49 g Eiweiszstoffen besteht.

Es scheint mir nicht unwahrscheinlich, dasz die Zellulose entsteht durch Kondensation von Glukosemolekülen nach der Formel:

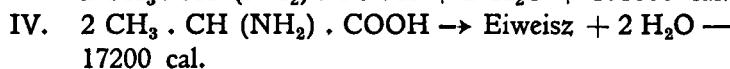


Obgleich bei dieser Reaktion Wärme aufgenommen wird, ist sie energetisch wohl möglich. Nicht der Umstand, dasz Wärme abgegeben oder aufgenommen wird, entscheidet über die Frage, ob eine Reaktion möglich oder unmöglich ist, sondern die Änderung der freien Energie. Eine Reaktion ist energetisch stets möglich, wenn dabei die freie Energie abnehmen wird. Die Verhältnisse in der Pflanze können ganz gut so sein, dasz die freie Energie bei der genannten Umwandlung abnimmt. Die freie Energie eines Stoffes ist nämlich u.a. von dessen Konzentration abhängig. Wird im Organismus die gebildete Zellulose der Lösung entzogen und hierdurch ihre Konzentration klein gehalten, so kann

in diesem Fall die freie Energie bei der Umwandlung von Glukose in Zellulose zweifellos kleiner werden.

Auch chemisch ist die Reaktion möglich. Wissen wir doch, dasz die Enzyme in den Organismen, nicht nur spaltend sondern auch synthetisch wirken können, wenn nur das Reaktionsprodukt der Lösung entzogen wird.

Die Eiweiszstoffe müssen gebildet sein aus der Glukose und dem Ammoniumsalz der Nährlösung. Für die Eiweiszsynthese können wir uns das folgende Schema denken:



Summierung gibt:



Auf Grund von ähnlichen Betrachtungen wie bei I, sind die Reaktionen II und IV energetisch und chemisch als möglich zu betrachten.

Was die Reaktion III betrifft haben Knoop und Oestelin (19) gezeigt, dasz sie freiwillig vor sich gehen kann.

Wir sehen, dasz bei keiner dieser Reaktionen Kohlensäure abgegeben wird.

Wieviel Wärme ist nun entwickelt bei der Bildung der Myzelsubstanzen?

Erwähnt wurde schon, dasz das Myzel aus ungefähr 0.73 g Zellulose und ungefähr 0.49 g Eiweiszstoffen besteht. Aus Reaktion I geht hervor, dasz bei der Bildung von 162 g Zellulose 1840 cal. aufgenommen werden. Für die gebildete 0.73 g also 8 cal. Nach Reaktion V entstehen bei der Bildung von 142 g Eiweisz 61700 cal. Die Synthese der 0.49 g Eiweisz des Myzels ist also mit einer Wärmeentwicklung von 213 cal. verknüpft.

Im ganzen sind bei der Synthese mithin 205 cal. abgegeben. Diese Wärmemenge wird abgegeben über derjenigen

welche der Atmung entspricht. $W - R$ muss demnach gleich 205 cal. sein. Gefunden wurden (nach Korrigierung von R) $3299 - 3059 = 240$ cal.

Die gute Übereinstimmung zwischen dem berechneten und gefundenen Wert bestätigt die gemachte Voraussetzung, dasz der Glukoseabbau unvollständig gewesen ist und dasz die Atmung, wenigstens Atmungsprozesse mit Kohlensäureabspaltung, bei den Syntheseprozessen keine Rolle spielt.

Untersuchen wir, ob schon früher das Verhältnis $\frac{r}{w}$ gemessen wurde, so zeigt sich, dasz Frl. Doyer (6, 6a) dieses, obgleich fragmentarisch, bei keimenden Weizenkörnern bestimmt hat. Sie kam jedoch zu einem entgegengesetzten Resultat. Das Verhältnis $\frac{r}{w}$ hat am 2. Tage nach der Keimung den Wert 6, am 3. Tage 7, am 4. Tage 2, am 5. Tage 2 und am 6. Tage ebenfalls 2. Demgegenüber masz Bonnier (4) in seinen Versuchen mit keimenden Samen verschiedener Arten mehr Wärme als der abgegebenen Kohlensäure entsprach. Es wäre interessant, die Versuche, denen viele Fehler anhaften, nach den in dieser Arbeit beschriebenen Methode zu wiederholen.

Nach Gesagtem ist wohl anzunehmen, dasz die Ergebnisse des gemachten Versuches zu der Annahme berechtigen, dasz die Kohlensäure abspaltenden Atmungsprozesse keine Rolle spielen bei den Synthesereaktionen der Körpersubstanzen. Sicherheit konnte jedoch auf Grund eines einzigen Versuches nicht erhalten werden. Es war auch mehr die Absicht, zu zeigen, dasz die gestellte Frage besser mit Hilfe eines ständigen Vergleichs der Kohlensäure- und Wärmeproduktion gelöst werden kann als mit Hilfe der Angaben einer Energiebilanz.

Diese Arbeitsmethode kann zur Beantwortung mehrerer Fragen dienen.

Oben wurde gezeigt, dasz bei den Syntheseprozessen keine Kohlensäure abgespaltet wird. Ist das eine allgemeine Regel oder folgt es aus dem Umstand, dasz Glukose als Nahrung verwandt wurde?

Züchten wir Aspergillus auf Brenztraubensäure oder einer andern organischen Säure, so ist nicht nur Energie erforderlich für die Eiweiszsynthese sondern auch für die Bildung der Zellulose. Diese Energie musz unzweifelhaft aus einem Abbau der Säure gewonnen werden. Ein derartiger Abbau ist jedoch kaum ohne CO_2 -Abspaltung denkbar, hier wird also bei den Syntheseprozessen wohl Kohlensäure entstehen. Obgleich die Syntheseenergie hier gröszer ist als bei Glukosenahrung, wird der Unterschied zwischen R und W bezw. r und w mutmaszlich nicht gröszer sein, vielleicht sogar das Zeichen ändern. Dasselbe gilt von dem Verhältnis $\frac{r}{w}$, welches vielleicht gröszer als 1. wird.

Nehmen wir an, dasz der geringere Nährwert der verschiedenen Zuckerarten im Vergleich zur Glukose darauf beruht, dasz sie erst in Glukose umgewandelt werden müssen ehe sie für den Organismus brauchbar sind, so musz dabei der Unterschied W — R gröszer sein als bei Glukose; auch die Werte von w und r müssen einen gröszeren Unterschied aufweisen.

Einen noch gröszeren Unterschied können wir bei den autotrophen Bakterien erwarten. Hier werden die Körpersubstanzen aus Kohlensäure und Wasser aufgebaut. Der hier vorgehende chemische Potentialanstieg ist grosz; die erforderliche Energie wird durch oxydative Prozesse geliefert. Berechnen wir den gesamten Energieumsatz aus dem aufgenommenen Sauerstoff, so musz er einen deutlichen Unterschied von der abgegebenen Wärme aufweisen, weil ein groszer Teil der Oxydationsenergie als chemische Energie festgelegt ist.

Schlieszlich folge noch die Bestimmung des energetischen

Wachstumsrendements. Wir müssen hier wieder das Brutto- und das reelle Rendement unterscheiden. Erstgenanntes ist das Verhältnis:
$$\frac{\text{Energie des gebildeten Myzels}}{\text{Energieverlust der Nahrung}}$$
;

das reelle Rendement ist gleich dem Verhältnis

$$\frac{\text{Energie des gebildeten Myzels}}{\text{Energieverlust der Nahrung} - \text{Erhaltungsenergie}}$$

Das Bruttorendement wurde von Terroine und Wurmser (44) auf 58 % bestimmt. Aus den Angaben von Moliard ist zu schlieszen, dasz es in dessen Versuch 55 % betrug. Im eigenen Versuch ist dessen Wert
$$\frac{5606}{8810} = 64\%$$
. Die Unterschiede sind also nicht sehr grosz.

Terroine und Wurmser stellten auch das reelle Rendement fest und fanden hierfür in ihren beiden Versuchen den Wert von 73 und 72 %. Wir haben schon auf Seite 52 besprochen, auf welche Weise beide Autoren die Erhaltungsenergie bestimmten. Sie bestimmten in der Formel $C = p (a + \frac{1}{2} b t)$ die beiden Unbekannten a und b. a ist die Glukosemenge, welche bei der Bildung von 1 g Myzel verschwindet, b die Glukosemenge, welche zur Erhaltung von 1 g Myzel während einer Stunde nötig ist. Weiter sind C = dem gesamten Glukoseverbrauch; p = dem Gewicht des gebildeten Myzels und t = der Versuchsdauer.

Für a wurde 2.2 g und für b 0.011 g Glukose gefunden.

Es wurde schon darauf aufmerksam gemacht, dasz die durch Terroine und Wurmser angewandte Methode zur Bestimmung der beiden Gröszen wahrscheinlich unrichtig ist.

Gebrauchen wir den Wert a = 2.2 für unsern eignen Versuch, so müssten für die Bildung von 1.2254 g Myzel 2.696 g Glukose verbraucht sein. Nun konnte mit Hilfe der chemischen Glukosebestimmung festgestellt werden, dasz im ganzen $5.261 - 2.819 = 2.442$ g Glukose ver-

braucht wurden. Allein für die Bildung des Myzels würde schon mehr Glukose erforderlich sein als in Wirklichkeit verbraucht ist, während dann noch gar nicht die Glukose berücksichtigt worden ist, welche für die Erhaltung veratmet wird.

Aus diesem Grunde ist es nicht erstaunlich, dasz wir ein ganz anderes reelles energetisches Rendement finden als *Terroine* und *Wurmser*. Auf Grund des Resultats, dasz die Energie, welche der Kohlensäureproduktion entspricht, nicht den Syntheseprozessen dient, nehmen wir an dasz alle Energie für die Erhaltung verwandt wurde.

Unser reelles Rendement wird also
$$\frac{M}{(Q-q)-R} = \frac{5606}{5751}$$
 oder 97.5 %.

Hiergegen ist jedoch einzuwenden, dasz die Atmungsenergie, wenn sie auch keine Syntheseenergie liefert, doch wohl beim Wachstum z.B. beim Stofftransport eine Rolle spielen kann. Folglich würden wir auf diese Weise nicht das richtige Wachstumsrendement erhalten.

Darum wollen wir dasselbe noch auf eine andere Weise bestimmen. Unser Ausgangspunkt dabei ist die schon früher benutzte Voraussetzung, dasz gemäsz dem Verlauf der Kurven das Wachstum im Maximum aufgehört hat. Von diesem Augenblick an röhrt alle abgegebene Wärme von der Erhaltung her. Die abgegebene Wärme betrug am Ende des Versuchs 41.02 cal. pro Stunde, während das Trockengewicht des Myzels (p) damals, 1.2254 g war.

Die Unbekannte b ist also
$$\frac{41.02}{1.2254}$$
 cal. Die gesamte Erhaltungsenergie dürfen wir annähernd gleich $\frac{1}{2} b p t$ setzen. Die gesamte Versuchsdauer war 140 Stunden. Die Erhaltungsenergie ist also 2871 cal.

Unser reelles Wachstumsrendement wird nun
$$\frac{5606}{5939}$$
 oder 94 %, ein Resultat, das mit dem vorhergehenden in

befriedigender Weise übereinstimmt. Beide unterscheiden sich scharf von dem durch Terroine und Wurmser gefundenen Rendement. Es ist also sehr wahrscheinlich, dasz die Methode von Terroine und Wurmser unrichtig ist. In der Einleitung haben wir angenommen dasz dies dadurch verursacht wird, dasz bei einem $p_H = 1.2$ nicht nur die Wachstumsgeschwindigkeit sondern auch die Intensität der Erhaltungsarbeit verkleinert wird.

Aus dem geringen Unterschied zwischen den beiden von uns gefundenen Rendementen (97.5 % und 94 %) können wir, wenn auch das letztere nur annähernd bestimmt worden ist, schlieszen, dasz die zu den Wachstumsprozessen verwandte Atmungsenergie, sehr gering, wenn nicht gleich Null ist, d.h., dasz wir annähernd die Erhaltungsenergie der Atmungsenergie gleichstellen dürfen. Wir können nun die Richtigkeit der Methode von Terroine und Wurmser dadurch dartun dasz wir nachprüfen wie grosz die Atmungsenergie von einem Gramm-Myzel pro Stunde ist bei einem Myzel, das bei einem $p_H = 5$, und bei einem, das bei einem $p_H = 1.2$ gezüchtet wird.

Finden wir bei beiden den gleichen Betrag, so ist die Methode der genannten Autoren richtig; wenn nicht, so haben wir statt einer Unbekannten b , zwei Unbekannte nämlich b_1 und b_2 . Für den ersten Versuch bekommen wir die Formel: $C_1 = p (a + \frac{1}{2} b_1 t_1)$; für den zweiten gilt: $C_2 = p (a + \frac{1}{2} b_2 t_2)$. Beide Formeln haben dann zusammen drei Unbekannte und sind also nicht zu lösen.

Zusammenfassung.

Beschrieben wurde ein Calorimeter. Das Prinzip der Wärmemessung besteht darin, dasz die entwickelte Wärme, sobald sie entsteht, durch eine entsprechende Kältemenge kompensiert wird. Sobald die Temperatur des Kulturgefäßes ein wenig ansteigt, wird trockne Luft gepumpt durch ein mit Wasser gefülltes Gefäß, welches sich im

Kulturgefäß befindet. Fällt die Temperatur infolge der bei der Verdunstung entwickelten Kälte ein wenig unter die ursprüngliche, so wird der Luftstrom automatisch ausgeschaltet. Dies wiederholt sich während des Versuches fortdauernd.

Als Maßstab für die entwickelte Wärme dient die Zahl der erforderlichen Pumpenschläge. Der calorische Wert eines Pumpenschlages wurde durch Eichung bestimmt.

Die so erhaltene Wärmemessung ist sehr genau. Der maximale Fehler beträgt bei einer zweistündigen Produktion von 40 cal. pro Stunde 1.5 %; bei 20 cal. pro Stunde 1.4 %, bei 10 cal. pro Stunde 2.7 (3.2) % und bei 5 cal. pro Stunde 2.7 (5.5) %.

Mit diesem Calorimeter wurde der Energieumsatz einer Kultur von *Aspergillus niger* gemessen.

Ausser der entwickelten Wärme wurde auch die Kohlensäureabgabe bestimmt.

Es wurde nicht nur die gesamte Wärme- und Kohlensäureabgabe gemessen, sondern auch deren Verlauf während der Entwicklung des Myzels verfolgt.

Der Unterschied zwischen der gesamten Wärmeentwicklung und der gesamten Kohlensäureproduktion und ihr gegenseitiges Verhältnis während der Entwicklung machen wahrscheinlich, dasz die Syntheseprozesse ihre Energie nicht Kohlensäureabspaltenden Atmungsprozessen entnehmen. Das bestätigt die Schlusfolgerung Moliards, dasz gar nichts von der Atmungsenergie (gemessen an der Kohlensäureproduktion) als chemische Energie im Myzel festgelegt wird.

Ausser der Wärme- und Kohlensäureabgabe wurden auch die Verbrennungswärmen der Nährösung vor und nach dem Versuch und die des Myzels bestimmt.

Die Energiebilanz zeigte einen Überschuss von nur 0.5 %, was innerhalb der Fehlergrenzen liegt.

Mit Hilfe der gemessenen Größen konnte das reelle

energetische Wachstumsrendement aufgestellt werden. Gefunden wurde ein Wert von 94—97.5 %. Ferner wurde gezeigt, dasz die Methode, welche Terroine und Wurmser zur Bestimmung des reellen Rendements anwandten, wahrscheinlich unrichtig ist.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden ausgeführt im Pflanzenphysiologischen Laboratorium der Reichs Universität Groningen. Herrn Prof. Dr. W. H. Arisz spreche ich an dieser Stelle für seine wertvollen Ratschläge und sein stetiges Interesse wie auch für die grosze Bereitwilligkeit, womit er die benötigten Instrumente zu meiner Verfügung stellte, meinen aufrichtigen Dank aus. Herrn Prof. Dr. F. Zernike, Professor der Physik an der hiesigen Universität, bin ich groszen Dank schuldig für manchen wertvollen Rat bei der Ausarbeitung der beschriebenen Methode und für das Durchsehen des Manuskriptes. Herrn Drs. T. Dijksterhuis danke ich bestens für seine liebenswürdige Hilfe bei der Aufstellung des Niederfrequenzverstärkers. Ferner hat Herr Jac. Veenhoff mich sehr verpflichtet durch die Anfertigung mehrerer Einzelteile des Calorimeters, ohne welche die Aufstellung der Apparatur unmöglich gewesen wäre.

Schlieszlich danke ich noch Herrn Mittelschulrektor A. Franken in Brackwede bei Bielefeld und Herrn Hauptlehrer i. R. W. Rheinen in Wickrathberg (Rheinland) für ihre eingehende Durchsicht und Prüfung meiner Arbeit, letzterem besonders für seine sorgfältige Korrektur des Manuskripts in sprachlicher Hinsicht.

Literaturverzeichnis.

1. Algera, L., An automatic micro-compensation calorimeter. Proc. Kon. Akad. v. Wet. Amsterdam. 34, 1931.
2. Bohr, C. und Hasselbalch, K. A., Ueber die Wärme production und den Stoffwechsel des Embryos. Skand. Arch. f. Physiol. 14, 1903.

3. Bonnier, G., Sur la quantité de chaleur dégagée par les végétaux pendant la germination. Bull. de la Soc. Bot. de France. 27, 1880.
4. ———, Recherches sur la chaleur végétale. Ann. d. Sc. nat. 7e série, Bot. 18, 1893.
5. Doerr, R., Zur Oligodynamie des Silbers II. Bioch. Zeitschr. 107, 1920.
6. Doyer, L. C., Energieomzettingen tijdens de kieming van tarwekorrels. Diss. Utrecht. 1914.
- 6a. ———, Energie-Umsetzungen während der Keimung von Weizenkörnern. Rec. d. trav. bot. néerl. 12, 1915.
7. Duclaux, E., Traité de microbiologie. Masson, Paris. 1898—1901.
8. Euler, H. von, und af Ugglas, B., Über die Ausnutzung der Gärungs- und Atmungsenergie in Pflanzen. Zeitschr. f. allgem. Physiol. 12, 1911.
9. Fingerling, G., Köhler, A. und Reinhardt, Fr., Untersuchungen über den Stoff- und Energieumsatz wachsender Schweine. Die landw. Versuchsstationen. 84, 1914.
10. Hári, P., Elektrische Kompensationscalorimetrie. E. Abderhalden, Handb. d. biol. Arb. meth. Abt. IV, Teil 10.
11. Henri, V., Cours de Bioénergétique professé à la Sorbonne. 1913.
12. Hill, A. V., A new form of differential micro-calorimeter, for the estimation of heat production in physiological, bacteriological or ferment actions. The Journ. of Physiol. 43, 1911.
13. ———, A new calorimeter for small warm-blooded animals. Proc. of the Physiol. Soc. Febr. 17, 1912.
14. Hunter, J., Experiments on Animals and Vegetables, with respect to the Power of producing Heat. Philos. Transactions. 65, 1775.
15. ———, Of the Heat of Animals and Vegetables. Philos. Transactions. 68, 1778.
16. Kellner, und Köhler, A., Untersuchungen über den Stoff- und Energieumsatz des erwachsenen Rindes. Die landw. Versuchsstationen. 53, 1900.
17. Klein, W. und Steuber, M., Die Calorimetrie. E. Abderhalden. Handb. d. biol. Arb. meth. Abt. IV, Teil 10.
18. Kluyver, A. J., Atmung, Gärung und Synthese in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit. Arch. f. Mikrobiol. 1, 1930.
19. Knoop, F. und Oesterlin, H., Über die natürliche Synthese der Aminosäuren und ihre experimentelle Reproduktion. Zeitschr. f. physiol. Chemie. 148, 1925.

20. Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen. Springer, Berlin. 5. Aufl. 1923.
21. Meyerhof, O., Untersuchungen über die Wärmetönung der vitalen Oxydationsvorgänge in Eiern. I. Bioch. Zeitschr. 35, 1911.
22. ———, Thermodynamik des Lebensprozesses. Geiger und Scheel, Handb. d. Phys. 11.
23. ———, Mikrocalorimetrie. E. Abderhalden. Handb. d. biol. Arb. meth. Abt. IV, Teil 10.
24. Molliard, M., Recherches calorimétriques sur l'utilisation de l'énergie respiratoire au cours du développement d'une culture de *Sterigmatocystis nigra*. Cpts. rend. Soc. de Biol. 2, 1922.
25. Nathansohn, A., Der Stoffwechsel der Pflanzen. Quelle und Meyer, Leipzig. 1910.
26. Oppenheimer, C., Grundriss der Physiologie für Studierende und Ärzte, I. Teil: Biochemie, 5. Aufl., 1925.
27. ———, Energetik der lebenden Substanz. E. Gellhorn. Lehrb. d. allg. Physiol. Thieme, Leipzig. 1931.
28. Peirce, G. J., A new respiration calorimeter. Bot. Gaz. 46, 1908.
29. ———, The liberation of heat in respiration. Bot. Gaz. 53, 1912.
30. Pfeffer, W., Studien zur Energetik der Pflanze. Abh. d. math.-phys. Classe der Königl. Sächs. Ges. d. Wissenschaft. 18, 1892.
31. Puriewitsch, K., Physiologische Untersuchungen über Pflanzenatmung. Jahrb. f. wiss. Bot. 35, 1900.
32. Rodewald, H., Quantitative Untersuchungen über die Wärme- und Kohlensäure Abgabe atmender Pflanzenteile. Jahrb. f. wiss. Bot. 18, 1887.
33. ———, Untersuchungen über den Stoff- und Kraft Umsatz im Atmungsprozess der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot. 19, 1888.
34. ———, Weitere Untersuchungen über den Stoff- und Kraft Umsatz im Atmungsprozess der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot. 20, 1889.
35. Roth, A. W., Bestimmung der Verbrennungswärme und ergänzende thermochemische Messungen. E. Abderhalden. Handb. d. biol. Arb. meth. Abt. II, Teil 2, 1e Hälfte.
36. Rubner, M., Die Quelle der thierischen Wärme. Zeitschr. f. Biol. 30, 1894.
37. ———, Ueber die Wärmebildung durch Mikroorganismen und über die Methodik einer quantitativen Wärmemessung. Hyg. Rundschau. 13, 1903.
38. ———, Energieverbrauch im Leben der Mikroorganismen. Arch. f. Hyg. 48, 1904.

39. ———, Energieumsatz im Leben einiger Spaltpilze. Arch. f. Hyg. 57, 1906.
40. ———, Die Ernährungsphysiologie der Hefezelle bei der alkoholischen Gärung. Arch. f. Physiol. 1912. Suppl.
41. Schoorl, N., Suikertitratie. Chem. Weekbl. 26, 1929.
42. Tangl, F., Ein Calorimeter für kleine Tiere. Bioch. Zeitschr. 53, 1913.
43. Terroine, E. F. et Wurmser, R., Le rendement énergétique dans la croissance de l'*Aspergillus niger*. Cpt. rend. de l'Acad. d. Sc. 174, 1; 1922.
44. ——— et ———, L'énergie de croissance. I. Le développement de l' „*Aspergillus niger*“. Bull. de la Soc. de Chimie biol. 4, 1922.
45. ———, Trautmann, S., Bonnet, R. et Jacquot, R., L'énergie de croissance. III. Rendements énergétiques comparés dans le développement de moisissures sur divers aliments organiques et mécanisme de l'action dynamique spécifique. Bull. de la Soc. de Chimie biol. 7, 1925.
46. Wagner, R., Eine Methode der Calorimetrie kleiner Tiere. E. Abderhalden. Handb. d. biol. Arb. meth. Abt. IV, Teil 10.
47. Wieland, H., Mechanismus der Oxydation und Reduktion in der lebenden Substanz. C. Oppenheimer. Handb. d. Bioch. 2. Aufl. 1925.
48. Wurmser, R., Oxydations et Réductions. Les Presses Univ. de France. Paris. 1930.