

Über die normale und die anaërobe Atmung bei Abwesenheit von Zucker.

Von

S. Kostytschew.

Die Natur der anaëroben (der sog. „intramolekularen“) Atmung der Pflanzen ist bis jetzt noch nicht endgültig aufgeklärt. Nachdem Brefeld¹⁾, Müntz²⁾ und andere Forscher die allgemeine Verbreitung der anaëroben Atmung festgestellt haben, und durch die Versuche von Wilson-Pfeffer³⁾ dargetan worden ist, daß die bei Sauerstoffabschluß fortdauernde Kohlensäureausscheidung kein mit dem Absterben des Organismus verknüpfter Prozeß, sondern eine Lebenserscheinung ist, hat Pfeffer³⁾ zuerst die Anschauung von dem genetischen Zusammenhange der normalen und der anaëroben Atmung ausgesprochen. Diese Annahme wird tatsächlich dadurch bekräftigt, daß verschiedene äußere Einflüsse, wie zB. Einwirkung von Wärme⁴⁾, Reizen⁵⁾ usw., einen merkwürdig ähnlichen Effekt auf beide Atmungsprozesse ausüben. Eine ausführliche Besprechung der hierzu gehörigen Literatur wird später erfolgen.

Eine andere Theorie, die gegenwärtig am meisten verbreitet ist, nimmt an, daß die anaërobe Atmung in keinem genetischen Zusammenhange mit der normalen Atmung steht, aber mit der alkoholischen Gärung der Hefe identisch ist. Nach dieser Theorie ist also die bei den Pflanzen in sauerstofffreien Medien stattfindende Kohlensäureausscheidung lediglich das Resultat der Vergärung von löslichen Kohlehydraten.

1) Brefeld, Landw. Jahrbücher 1876, Bd. V.

2) Müntz, Annales de chimie et de physique 1876, V. sér., T. 8.

3) Pfeffer, Untersuchgn. aus d. botan. Institut. zu Tübingen, 1885, Bd. I, H. 4.

4) Chudiakow, Landw. Jahrbücher 1894, Bd. XXIII, p. 333.

5) Morkowin, Berichte d. Deutsch. botan. Gesellsch., 1903, Bd. XXI, p. 72.

In meinen früher publizierten Abhandlungen über die anaerobe Atmung der Schimmelpilze¹⁾ habe ich darauf hingewiesen, daß diese Organismen bei verschiedenartigen Ernährungsbedingungen die Fähigkeit zur anaeroben Atmung nicht verlieren. Diese Tatsache steht mit der herrschenden Theorie offenbar im Widerspruche; die von mir ausgeführten Versuche waren jedoch in dieser Hinsicht nicht ganz beweiskräftig: mein Hauptzweck war die Erforschung der Einwirkung von Lösungen organischer Stoffe verschiedener Konzentration auf die Energie der anaeroben Atmung; die Pilzkulturen wurden deshalb immer auf Zucker gezogen; nur nach der völligen Entwicklung der Pilzdecken wurden die Zuckerlösungen durch andere Nährmedien ersetzt. Bei dieser Methodik konnte der Einwand nicht beseitigt werden, daß Zucker oder dessen direkte Umwandlungsprodukte auch nach dem Wechsel der Lösungen im Innern der Hyphen vorrätig bleiben konnten. Die bedeutende Wichtigkeit der Frage nach dem Chemismus der anaeroben Atmung zwang mich, weitere Versuche vorzunehmen, bei welchen Zucker als Kohlenstoffquelle von Anfang an vollständig ausgeschlossen werden mußte. Diese Versuche, deren Resultate ich in der vorliegenden Abhandlung mitteile, müssen also als Grundversuche betrachtet werden und bezwecken die Lösung folgender Fragen:

1. Wie verläuft die anaerobe Atmung bei Abwesenheit von Zucker?

2. Welche Änderungen kommen in der normalen Atmung unter dem Einflusse einer zeitweiligen Sauerstoffentziehung vor, wenn der Pflanze kein Zucker zur Verfügung steht?

Ausführliche Untersuchungen dieser Art erschienen mir um so wünschenswerter, als die gegenwärtig herrschende Theorie der anaeroben Atmung der Pflanzen auf keiner soliden experimentellen Grundlage fußt: direkt wird sie nur durch die nicht zahlreichen Versuche Diakonows bekräftigt. Die Resultate der Untersuchungen Diakonows²⁾, welcher mit Schimmelpilzen experimentiert hatte, können in folgenden Sätzen kurz zusammengefaßt werden:

1. Bei Abwesenheit von Zucker und Sauerstoff findet keine Kohlensäureausscheidung statt.

1) Kostytschew, Journal f. experiment. Landwirtschaft, 1901, Bd. V, p. 580 (russisch). Berichte der Deutsch. botan. Gesellsch., 1902, Bd. XX, p. 327.

2) Diakonow, Berichte der Deutsch. botan. Gesellsch., 1886, Bd. IV, p. 1.

2. Bei Abwesenheit von Zucker und Sauerstoff kann ein Schimmelpilz auch bei einer sonst vorzüglichen Nahrung (Chinasäure) kaum eine Stunde sein Leben fristen.

Aus diesen beiden Sätzen resultiert die Schlußfolgerung: „Ohne Sauerstoffatmung oder Alkoholgärung findet kein Leben statt.“ Diese Ansicht finden wir in manchen Lehrbüchern der Pflanzenphysiologie vertreten; wie aus meinen weiter folgenden Versuchen zu ersehen ist, sind aber beide Sätze Diakonows unrichtig; mithin muß auch die Schlußfolgerung einstweilen als vollständig hypothetisch erscheinen.

Methodisches.

Als Objekt für alle in dieser Abhandlung beschriebenen Versuche wurde der Schimmelpilz *Aspergillus niger* ausgewählt (daß höhere Pflanzen für derartige Versuche sich meistens als untauglich erweisen, hat schon Diakonow seinerzeit richtig betont). Unter den niederen Pilzen wurde *Aspergillus niger* auf Grund folgender Erwägungen bevorzugt:

1. Dieser Pilz kann auf verschiedenartigen organischen Substanzen ohne Schwierigkeit kultiviert werden;
2. Er ist ein typischer Aërobe und ruft keine spezifischen Gärungsvorgänge hervor.

Es wurden im ganzen drei Versuchsserien ausgeführt, zwecks Untersuchung von drei Kohlenstoffquellen: Pepton, Weinsäure und Chinasäure. Pepton kam als „Witte-Pepton“ in Anwendung; die beiden letztgenannten Substanzen wurden von C. A. F. Kahlbaum in Berlin als chemisch rein bezogen; sie enthielten keine Spur von löslichen Kohlehydraten. Wenn geringe Mengen von zuckerartigen Substanzen in meinem „Pepton“-Präparat vorhanden gewesen wären (was sich aber direkt nicht nachweisen ließ), so müßten sie in den ersten Tagen der Entwicklung der Pilzkultur ohne Zweifel vollständig verbraucht worden sein. Als Nährsubstrat bediente ich mich der Raulinschen Flüssigkeit, in welcher Salze von Zn und SiO_2 ausgeschlossen waren, und Zucker durch eine von den oben genannten Kohlenstoffquellen ersetzt wurde; nähere Angaben darüber findet man in den Versuchsprotokollen.

Die Methodik der Versuchsanstellung bestand darin, daß die zu untersuchende Pilzkultur mit einem bestimmten Volumen Luft

oder Stickstoff abgeschlossen wurde; nach Verlauf entsprechender Zeitintervalle wurden dem Versuchskolben Gasportionen entnommen und analysiert; aus den erhaltenen Zahlen ließ sich sodann die Atmungsenergie auf die bekannte Weise berechnen¹⁾. Als Kulturgefäße wurden ca. 250 ccm fassende, konische Kolben mit oben erweitertem Halse ausgewählt; jeder Kolben wurde mit 50 ccm Nährlösung beschickt, vorläufig mit einem Wattepfropfen verschlossen, 15 Minuten lang bei 120° sterilisiert, alsdann mit Sporen von *Aspergillus niger* geimpft und in einen Thermostaten bei 32° gestellt. Nachdem die Pilzkultur das gewünschte Entwicklungsstadium erreicht hatte, wurde der Wattepfropfen durch einen zweimal durchbohrten Kautschukstöpsel ersetzt; in die Öffnungen des Stöpsels wurden ein Zu- und ein Ableitungsrohr eingesetzt, welche außerhalb des Kolbens zweimal unter rechtem Winkel gebogen waren. Der letzte Schenkel des Ableitungsrohres wurde in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht und diente als Manometer; der letzte Schenkel des Zuleitungsrohres wurde mit einem Stück dickwandigen Gummischlauches versehen, an welchem sich ein Quetschhahn befand; dieses Rohr diente zum Entnehmen von Gasportionen, bzw. zur Verbindung mit dem Apparate zur Entwicklung des Stickstoffgases²⁾ (oder mit der Luftpumpe). Beide Röhren hatten einen inneren Watteverschluß und wurden samt dem Stöpsel jedesmal vor dem Gebrauch, in Löschpapier gewickelt, bei 120° sterilisiert. Daß bei dem Einsetzen des Kautschukstöpsels die Möglichkeit einer Verunreinigung der Pilzkultur ohne Schwierigkeit vermieden werden konnte, bedarf kaum der Erwähnung. Die Erweiterung am Halse des Kolbens oberhalb des Stöpsels wurde mit Quecksilber gefüllt, wodurch ein vollständig luftdichter Verschluß geschaffen wurde.

Der auf diese Weise ausgerüstete Kulturkolben sollte nun, je nach dem Versuchszweck, entweder mit frischer Luft oder mit Stickstoff gefüllt werden. War ersteres der Fall, so wurde der

1) Wie aus der weiteren Darlegung ersichtlich wird, bestand der Hauptmangel der Versuchsanstellung Diakonows darin, daß dabei ein zu rascher Wechsel aërober und anaërober Lebensbedingungen eintrat; deswegen habe ich die „Einsperrmethode“ bevorzugt, wobei der Versuchskolben ohne jede Aufsicht mehrere Stunden hindurch stehen bleiben kann. Daß ich andere Resultate als Diakonow erzielte, glaube ich hauptsächlich diesem Umstande zuschreiben zu dürfen.

2) Dieses Gas scheint mir für Objekte, die gegen die Anaërobie so außerordentlich empfindlich sind wie *Aspergillus niger*, zuverlässiger zu sein als der sonst gebräuchliche Wasserstoff.

Kolben mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt und eine halbe bis eine Stunde lang Luft durchgetrieben, wonach der Kolben auf die weiter unten beschriebene Weise abgesperrt wurde. Das Füllen mit Stickstoff wurde auf folgende Weise erreicht: in einen geräumigen (ca. 500 ccm fassenden) Rundkolben wird ein Gemisch von 85 g reinem Kaliumnitrit, 53,5 g Ammoniumchlorid und 180 bis 200 ccm Wasser gebracht¹⁾, und der Kolben mit einer freien Flamme anfangs mäßig stark erwärmt. Sobald sich alles aufgelöst hat und eine lebhafte Gasentwicklung eingetreten ist, muß die Erwärmung bedeutend abgeschwächt werden. Das aus dem Kolben strömende Gas passiert mit Schwefelsäure und mit Natronkalk gefüllte Reinigungsgefäße, schließlich ein kurzes Verbrennungsrohr, in welches eine reduzierte Kupferspirale (wie sie bei den volumetrischen Stickstoffbestimmungen gebräuchlich ist) eingeschlossen und im Zustande roten Glühens unterhalten wird (bei Anwendung von chemisch reinen Reagenzien ist diese letztgenannte Reinigungsvorrichtung nicht notwendig). Die Regulierung des Gasstromes kann leicht durch eine entsprechende Erwärmung (resp. durch eine zeitweilige Abkühlung) des Kolbens erzielt werden. Die beschriebene Methode ist zwar teurer, aber kaum komplizierter, als die Methode, Wasserstoff durchzuleiten. Das Durchleiten des Stickstoffgases dauerte bei meinen Versuchen so lange, bis die letzten Spuren von Sauerstoff durch den Stickstoff verdrängt waren, wovon ich mich jedesmal durch eine Kontrollgasanalyse vergewisserte. Nach vollendeter Stickstoffdurchleitung wurde der Kolben luftdicht geschlossen, was sich mit Hilfe einer nur unbedeutend modifizierten Gaspipette von Bonnier und Mangin bewerkstelligen ließ. Nachdem durch Entnehmen einer entsprechenden Gasmenge das Quecksilber im Manometerrohr auf die gewünschte Höhe eingestellt war, wurde der Gummischlauch und der mit ihm verbundene Schenkel des Zuleitungsrohres mit Quecksilber gefüllt, und sodann der Quetschhahn am Gummischlauch geschlossen. Da nun der Gasdruck im Innern des Kolbens niedriger als der der umgebenden Luft war, und die innere Atmosphäre von der äußeren lediglich durch Glas und Quecksilber getrennt wurde, so konnte der Verschluß als vollständig luftdicht gelten. Es bedarf keiner großen Geschicklichkeit, um alle beim Schließen des Kolbens nötigen Operationen so aus-

1) Es ist zweckmäßig, das Gemisch vor dem Gebrauche die Nacht über stehen zu lassen, wodurch eine ruhigere Reaktion erzielt wird.

zuführen, daß dabei ins Innere des Kolbens kein einziges Luftbläschen dringt. Die geschlossenen Kolben standen im Dunkeln bei ca. 17—18° C.; die Temperaturschwankungen im Verlauf eines Versuches gingen nie über 2° C. hinaus. Nach Ablauf bestimmter Zeitintervallen wurden dem Versuchskolben Gasportionen entnommen und analysiert. Für die Gasanalyse bediente ich mich des Apparates von Polowzow¹⁾ mit einer Modifikation von A. Richter (dieselbe besteht im wesentlichen darin, daß der Sauerstoff nicht durch Absorbierung mit alkalischem Pyrogallol, sondern durch Verbrennung mit Wasserstoff bestimmt wird). Da die Analysenzahlen nur über die prozentische Zusammensetzung eines Gasgemisches Aufschluß geben können, mußte außerdem noch das Gesamtvolumen des in je einem Kolben abgesperrten Gases bestimmt werden. Dies wurde nach einer bekannten Methode ausgeführt, welche darin besteht, daß von dem Kolben eine Gasportion A entnommen und bei gewöhnlichem Druck P im kalibrierten Eudiometerrohr gemessen wird; außerdem muß der Gasdruck im Innern des Kolbens vor und nach dem Entnehmen der Gasportion bestimmt werden. Wir bezeichnen diese beiden letzten Daten entsprechend durch p und p¹. Aus allen diesen Zahlen läßt sich nun das Gesamtgasvolumen V auf Grund des Mariotteschen Gesetzes berechnen:

$$Vp = \left(v + \frac{AP}{p^1} \right) p^1, \text{ oder } V = \frac{AP}{p-p^1}$$

Es sei noch erwähnt, daß bei der Berechnung von $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ der Sauerstoffgehalt der Laboratoriumsluft auf Grund mehrfach wiederholter Gasanalysen gleich 20,80% angenommen wurde.

Bevor ich zur Beschreibung der ausgeführten Versuche übergehe, möchte ich noch die Größe der Versuchsfehler und ihren Einfluß auf die erhaltenen Resultate in Kürze besprechen. Die Ausgiebigkeit der anaëroben Atmung von *Aspergillus* ist bei Abwesenheit von Zucker sehr gering; doch darf nicht vergessen werden, daß 1. die anaërobe Atmung dieses Pilzes auch auf Kosten von Zucker nicht viel energischer vor sich geht, und daß 2. die normale Atmung von *Aspergillus* auf einem zuckerhaltigen Substrat ebenfalls eine ausgiebigere ist, als auf Kosten anderer Stoffe. Überhaupt darf man offenbar solche Lebensvorgänge, die mit geringem

1) Polowzow, Untersuchungen über die Pflanzenatmung. St. Petersburg 1901 (russisch).

Stoffansatz verknüpft sind, nicht ohne weiteres für bedeutungslos halten. In unserem Falle ist es zB. meiner Meinung nach für die theoretische Physiologie nicht ohne Interesse festzustellen, ob die anaerobe Atmung bei jeder Art von Ernährung möglich ist, welche eine Entwicklung des Organismus gestattet, oder ob ein solcher Zusammenhang nicht besteht. Nur muß, wenn der zu untersuchende Prozeß mit geringer Energie verläuft, darauf geachtet werden, daß die Ergebnisse der Untersuchung sich nicht etwa durch die unvermeidlich erweiterten Grenzen der Versuchsfehler erklären ließen. Bei meiner Versuchsanstellung waren folgende Fehlerquellen möglich:

1. Fehler bei der Bestimmung des Gesamtvolumens des Gasgemisches.

Das Messen der Gasportion wurde immer in demselben, auf 0,1 ccm geteilten Eudiometerrohr vorgenommen. Das Volumen der Gasportion betrug immer ca. 50 ccm, das Gesamtgasvolumen 200 bis 230 ccm. Der Maximalfehler beim Ablesen am Eudiometer, gleich 0,1 ccm, hat einen Gesamtfehler von 0,5 ccm oder $\frac{1}{400}$ des Gesamtvolumens (mithin auch $\frac{1}{400}$ der gesamten Kohlensäuremenge) zur Folge. Beim Ablesen am Manometer konnte dadurch ein Fehler entstehen, daß der Durchmesser meiner Manometerröhren etwas enger war, als dies bei echten Barometerröhren üblich zu sein pflegt. Dieser Fehler ist aber konstant und seine Größe ebenfalls sehr unbedeutend: wenn wir annehmen, daß beim Ablesen am Manometer ein Fehler von 2 mm Quecksilberdruck begangen wurde (was aber kaum möglich ist), so resultiert daraus ein Maximalfehler von $\frac{1}{350}$ des Gesamtgasvolumens (also $\frac{1}{350}$ der ausgeschiedenen CO_2). Es ist nun klar, daß der bei der Bestimmung des Gesamtvolumens mögliche Fehler im Vergleich mit den Fehlern der Gasanalyse so winzig klein ist, daß man ihn vollständig unberücksichtigt lassen kann.

2. Fehler, bedingt durch die im Substrat gelöst gebliebene Kohlensäure.

Wie Kontrollversuche, bei denen Evakuieren vorgenommen wurde, ergaben, ist auch dieser Fehler sehr unbedeutend (meistenteils sogar unbestimmbar).

3. Es bleibt also nur eine reelle Fehlerquelle übrig: Die Fehler der Gasanalyse. Bei meinen Bestimmungen gingen die Analysenfehler nicht über 0,1% hinaus. Leider wird hier ein Fehler desto schwerer, je geringer die gesamte Kohlensäuremenge ist; bei einem Kohlensäuregehalt von 1% ist ein Fehler von $\frac{1}{10}$

der gesamten Kohlensäuremenge möglich. In bezug auf die anaerobe Atmung ging jedoch mein Bestreben dahin, bloß festzustellen, ob dieser Prozeß bei den gegebenen Bedingungen überhaupt stattfindet, und, wenn dies der Fall war, zu erforschen, ob die anaerobe Kohlensäureausscheidung mit der Zeit zunimmt oder abnimmt. Für solche Zwecke konnte ich mich mit dem oben berechneten Grad der Genauigkeit begnügen. Es muß noch bemerkt werden, daß in allen den Fällen, wo der Kohlensäuregehalt eines Gasgemisches 2% nicht überstieg, die angeführten Analysenzahlen Mittelwerte von mindestens zwei Analysen sind, deren Differenz geringer als 0,1% war. In den Versuchsprotokollen sind neben den Analysenzahlen immer die absoluten Mengen der ausgeschiedenen Kohlensäure in Kubikzentimetern (auf 0° und 760 mm Quecksilberdruck bezogen) angegeben; diese Daten sind, wie aus obiger Darstellung ersichtlich, als bis auf ca. 0,2 ccm richtig anzusehen. Genaue Angaben über Temperatur und Gasdruck, durch welche alle Zahlen annähernd gleichmäßig beeinflußt worden sind, habe ich in den einzelnen Fällen nicht angeführt, um eine übermäßige Anhäufung von Zahlen geringer Bedeutung zu vermeiden; die Gesamtgasvolumina sind immer nur einmal für je einen Versuch in runden Zahlen angegeben; bei der Berechnung auf gleiche Zeit wurden immer zehn Stunden als Zeiteinheit angenommen.

I. Versuchsserie. Kohlenstoffquelle: Pepton.

Nährlösung: Raulinsche Flüssigkeit ohne $ZnSO_4$ und K_2SiO_3 und unter Ersatz des Zuckers durch „Witte-Pepton“ (5 g „Pepton“ in 100 ccm Flüssigkeit). Ein jeder Kolben wurde mit 50 ccm Nährlösung beschickt.

Zunächst mußte natürlich festgestellt werden, ob die anaerobe Atmung des Pilzes bei dieser Art von Ernährung überhaupt stattfindet. Darüber gibt folgender Versuch Aufschluß:

Versuch 1.

Dreitägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtvolumen = 197 ccm. Temp. 16°.

Stickstoffperiode = 13 Stunden.

Gasanalyse: $CO_2 = 1,79\%$, $N_2 = 98,21\%$.

$CO_2 = 3,4$ ccm bei 0° und 760 mm.

Folgende zwei Versuche haben den Zweck, zu erforschen, wie die anaerobe Kohlensäureausscheidung bei längerem Verweilen im Stickstoff verläuft.

Versuch 2.

Dreitägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 212 ccm. Temp. 16—17°.

Stickstoffperiode: a) = 13 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,19\%$, $\text{N}_2 = 98,81\%$.

$\text{CO}_2 = 2,4$ ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 29 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,05\%$, $\text{N}_2 = 97,95\%$.

$\text{CO}_2 = 4,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 24 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,92\%$, $\text{N}_2 = 97,08\%$.

$\text{CO}_2 = 5,8$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,1665 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden berechnet:

Stickstoffperiode a) $\text{CO}_2 = 1,8$ ccm,

b) $\text{CO}_2 = 0,6$ "

c) $\text{CO}_2 = 0,7$ "

Versuch 3.

(Genaue Wiederholung von Versuch 2.)

Dreitägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 227 ccm. Temp. 16—17°.

Stickstoffperiode: a) = 13 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,15\%$, $\text{N}_2 = 98,85\%$.

$\text{CO}_2 = 2,5$ ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 29 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,08\%$, $\text{N}_2 = 97,92\%$.

$\text{CO}_2 = 4,4$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 24 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,60\%$, $\text{N}_2 = 97,40\%$.

$\text{CO}_2 = 5,6$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,1340 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden:

Stickstoffperiode a) $\text{CO}_2 = 1,9$ ccm,

b) $\text{CO}_2 = 0,7$ "

c) $\text{CO}_2 = 0,5$ "

Wir sehen also, daß die anaerobe Atmung auf Pepton zwar nur schwach ist, aber doch regelmäßig verläuft und nach 66 stündigem Verweilen im Stickstoff noch nicht vollständig erloschen ist. Doch wurde der größte Teil der ausgeschiedenen Kohlensäure während der ersten 13 Stunden entwickelt. Es wäre darum von Interesse, festzustellen, ob nicht etwa auch im Verlaufe dieser Periode eine rasch sinkende Kohlensäureausscheidung beobachtet werden kann: man könnte vermuten, daß der größte Teil der CO_2 , die während der Periode a) entwickelt wird, nur auf die ersten 2—3 Stunden fällt. Auch wäre es von Interesse, zu erforschen, welche Änderungen in der Sauerstoffatmung unter dem Einflusse einer zeit-

weiligen Sauerstoffentziehung vorkommen. Zu diesen Zwecken wurden folgende Versuche angestellt:

Versuch 4.

Viertägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 210 ccm. Temp. 17—18°.

I. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,50\%$, $\text{O}_2 = 17,82\%$, inerte Gase = 80,68%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,45.$$

$\text{CO}_2 = 2,6$ ccm bei 0° und 760 mm.

50 Minuten im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode a) = 3 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0\%$, $\text{N}_2 = 100\%$.

b) Weitere 15 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,10\%$, $\text{N}_2 = 98,90\%$.

$\text{CO}_2 = 2,0$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 24 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,48\%$, $\text{N}_2 = 98,52\%$.

$\text{CO}_2 = 2,7$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

III. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,63\%$, $\text{O}_2 = 19,72\%$, i. G. = 79,76%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,52.$$

$\text{CO}_2 = 1,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

IV. Luftperiode = 20 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 8,27\%$, $\text{O}_2 = 3,50\%$, i. G. = 87,23%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,43.$$

$\text{CO}_2 = 14,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,1130.

Atmungsenergie pro 10 Std.		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 13,0$ ccm . .	0,45,
II. Stickstoffperiode	a) $\text{CO}_2 = 0$ " . .	—
	b) $\text{CO}_2 = 1,3$ " . .	—
	c) $\text{CO}_2 = 0,3$ " . .	—
III. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 5,5$ " . .	0,52,
IV. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 7,1$ " . .	0,43.

Wir sehen also, daß die anaerobe Atmung bei Peptonernahrung während der drei ersten Stunden der Stickstoffperiode unmeßbar schwach ist; die oben ausgesprochene Vermutung hat sich also nicht bestätigt. Gleichzeitig hat sich das Unzulängliche der Versuchsanstellung Diakonows herausgestellt: bei derartigen

Versuchen darf kein zu rascher Wechsel aërober und anaërober Lebensbedingungen eintreten.

Die Energie der Sauerstoffatmung wird durch eine zeitweilige Sauerstoffentziehung abgeschwächt; das Verhältnis $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ bleibt dagegen konstant¹⁾.

Im folgenden Versuche wurde mit einer älteren Kultur experimentiert, um über die biologische Bedeutung der überhaupt sehr wenig ausgiebigen anaëroben Atmung Aufschluß zu bekommen.

Versuch 5.

Fünftägige, stark fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 207 ccm.

Temperatur 17–18°.

I. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,34\%$, $\text{O}_2 = 18,48\%$, i. G. = $80,18\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,52.$$

$\text{CO}_2 = 2,4$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode a) = 3 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0\%$, $\text{N}_2 = 100\%$.

b) Weitere 15 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,60\%$, $\text{N}_2 = 99,40\%$.

$\text{CO}_2 = 1,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 24 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,61\%$, $\text{N}_2 = 99,39\%$.

$\text{CO}_2 = 1,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

III. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,33\%$, $\text{O}_2 = 20,19\%$, i. G. = $79,48\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,49.$$

$\text{CO}_2 = 0,6$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

1) Bei derartigen Schlußfolgerungen darf selbstverständlich nicht außer acht gelassen werden, daß die große Atmungskurve (Kurve der Abhängigkeit der Atmung von dem Alter) mit dem Beginn der Sporenbildung sehr steil abwärts läuft, daß folglich, wenn auch unmittelbar nach der Stickstoffperiode eine bedeutende Abschwächung der Energie der Sauerstoffatmung eintritt, dies nur in dem Falle als Folge der Sauerstoffentziehung erklärt werden darf, wenn eine zweite, nach Verlauf einiger Zeit ausgeführte Bestimmung wieder ein Steigen der Atmungsenergie aufweist. In dem beschriebenen Versuche ist dies tatsächlich der Fall.

2) Die so geringe Energie der anaëroben Atmung bei dieser Kultur ist vielleicht durch ihr vorgerücktes Entwicklungsstadium erklärlich (vergleiche auch das Trockengewicht).

IV. Luftperiode = 10 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,50\%$, $\text{O}_2 = 18,36\%$, i. G. = $80,14\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,55.$$

$\text{CO}_2 = 2,7$ cem bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,0951 g.

Atmungsenergie pro 10 Std.		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 12,0$ cem . .	0,52,
II. Stickstoffperiode	a) $\text{CO}_2 = 0$ " . .	—
"	b) $\text{CO}_2 = 0,8$ " . .	—
"	c) $\text{CO}_2 = 0$ " . .	—
III. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 3,0$ " . .	0,49,
IV. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 2,7$ " . .	0,55.

Aus diesem Versuch ist ersichtlich, daß das Einstellen der Kohlensäureausscheidung noch kein sicheres Zeichen des Todes ist. Die Pilzkultur verblieb im ganzen 42 Stunden in einer sauerstofffreien Atmosphäre, wobei mindestens während der letzten 24 Stunden keine Kohlensäurebildung stattfand. Trotzdem war das Leben nicht erloschen. Durch dieses Ergebnis wird, nach meiner Meinung, die biologische Bedeutung der anaëroben Atmung in Frage gestellt. Im Anschluß an die gasometrischen Untersuchungen wurden in jeder Versuchsserie auch einige beiläufige qualitativ-chemische Prüfungen vorgenommen, welche als Rekognoszierung für ein geplantes ausführlicheres physiologisch-chemisches Studium zu betrachten sind. Die von den Pilzdecken abfiltrierten Lösungen wurden auf die Anwesenheit von die Fehlingsche Lösung (unmittelbar oder erst nach $\frac{1}{2}$ stündigem Kochen mit verdünnten Mineralsäuren) reduzierenden Substanzen untersucht. Die Mycelien wurden mit kochendem Wasser extrahiert; die Extrakte ebenfalls mit Fehlingscher Lösung geprüft. Außerdem wurde nach Oxalsäure und Glykogen (nach diesem letzteren auf mikrochemischem Wege) gesucht. Solche Untersuchungen, mehrfach mit vollständig normalen Kulturen und mit denen, welche einer Sauerstoffentziehung ausgesetzt worden waren, ausgeführt, ergaben in der Peptonserie alle dasselbe Resultat:

Fehlingsche Lösung reduzierende Substanzen: negativ.

Oxalsäure: positiv.

Glykogen: spurenweise vorhanden.

Zur besseren Übersicht will ich nun die in der Peptonserie erhaltenen Resultate zusammenfassen:

1. Die mit Pepton ernährten Kulturen sind zur anaeroben Atmung befähigt. Die Energie der anaeroben Atmung beginnt nach Verlauf von etwa 12 Stunden rasch zu sinken.

2. Keine der untersuchten Pilzkulturen wurde durch eine tagelang dauernde Sauerstoffentziehung getötet.

3. Man darf kaum annehmen, daß die anaerobe Atmung im Falle der Peptonernährung eine Vergärung der Kohlehydrate ist, denn:

a) die letzteren sind direkt nicht nachweisbar;

b) die Größe von $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ deutet auf eine Verbrennung sauerstoffarmer Substanzen hin und bleibt auch unmittelbar nach der Stickstoffperiode unverändert.

4. Die Kohlensäureausscheidung kann bei Sauerstoffabschluß unter Umständen vollständig unterbleiben, ohne daß dadurch der Tod erfolgt; das Leben ist also von dem respiratorischen Gasaustausch nicht unlösbar.

5. Die Energie der Sauerstoffatmung wird durch die Einwirkung zeitweiliger Sauerstoffentziehung bedeutend abgeschwächt.

II. Versuchsserie. Kohlenstoffquelle: Chinasäure.

Nährlösung: Raulinsche Flüssigkeit ohne ZnSO_4 und K_2SiO_3 und unter Ersatz des Zuckers durch freie Chinasäure (5 g Chinasäure in 100 ccm Flüssigkeit). Jeder Versuchskolben wurde mit 50 ccm Nährlösung beschickt. Auf diesem Substrat war das Wachstum von *Aspergillus niger* ausgezeichnet: am zweiten Tage nach der Impfung hatten sich immer kräftige, die ganze Oberfläche der Flüssigkeit deckende Mycelien gebildet. Man darf daher wohl annehmen, daß Chinasäure als Kohlenstoffquelle für *Aspergillus* dem Rohrzucker nicht nachsteht.

Über den Verlauf der anaeroben Atmung bei dieser Art von Ernährung geben folgende zwei Versuche Auskunft.

Versuch 1.

Viertägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 204 ccm.

Temp. 16,5–18°.

Stickstoffperiode: a) = 12 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,80\%$, $\text{N}_2 = 97,20\%$.

$\text{CO}_2 = 5,3$ ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 27 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 3,80\%$, $\text{N}_2 = 96,20\%$.
 $\text{CO}_2 = 7,2$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 22 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 3,91\%$, $\text{N}_2 = 96,09\%$.
 $\text{CO}_2 = 7,3$ ccm bei 0° und 760 mm.

Nun wurde der Versuch unterbrochen; eine mikroskopische Untersuchung ergab, daß die Pilzzellen die Fähigkeit zur Plasmo-lyse nicht eingebüßt haben.

Trockengewicht des Myceliums = 0,5450 g.

Atmungsenergie pro 10 Std.

Stickstoffperiode: a) $\text{CO}_2 = 4,4$ ccm,

b) $\text{CO}_2 = 0,7$ "

c) $\text{CO}_2 =$ Spur.

Versuch 2.

Viertägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 206 ccm. Temp. $16-18^\circ$.

Stickstoffperiode: a) = 12 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,60\%$, $\text{N}_2 = 98,40\%$.
 $\text{CO}_2 = 3,0$ ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 27 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,31\%$, $\text{N}_2 = 97,69\%$.
 $\text{CO}_2 = 4,3$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 22 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,58\%$, $\text{N}_2 = 97,42\%$.
 $\text{CO}_2 = 4,7$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,4260 g.

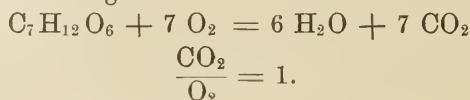
Atmungsenergie pro 10 Std.

Stickstoffperiode: a) $\text{CO}_2 = 2,5$ ccm,

b) $\text{CO}_2 = 0,5$ "

c) $\text{CO}_2 = 0,2$ "

Somit ist nachgewiesen, daß die anaerobe Atmung auch bei der Ernährung mit Chinasäure stattfindet; nur scheint dabei die Kohlensäureausscheidung schneller zum Stillstand zu kommen, als dies in der Peptonserie der Fall war. Die nächsten Versuche haben den Zweck, zu erforschen, welche Änderungen in der Sauerstoffatmung unter dem Einfluß einer zeitweiligen Sauerstoffentziehung auftreten. Es sei hier bemerkt, daß die Formel der Chinasäure $\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_6$ bei totaler Verbrennung in CO_2 und H_2O folgendes Volumverhältnis verlangt:



Versuch 3.

Dreitägige Kultur (Anfang der Sporenbildung). Gesamtgasvolumen = 209 ccm.
Temp. 16—17°.

I. Luftperiode = 1 Stunde.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 4,99\%$, $\text{O}_2 = 15,81\%$, i. G. = 79,20%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,00.$$

$\text{CO}_2 = 9,6$ ccm bei 0° und 760 mm.

2 Stunden im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode = 15 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,71\%$, $\text{N}_2 = 99,29\%$.

$\text{CO}_2 = 1,4$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

III. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,72\%$, $\text{O}_2 = 19,95\%$, i. G. = 79,33%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,85.$$

$\text{CO}_2 = 1,4$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,3385 g.

Atmungsenergie pro 10 Std.

I. Luftperiode . . . $\text{CO}_2 = 96,0$ ccm,

II. Stickstoffperiode . $\text{CO}_2 = 0,9$ "

III. Luftperiode . . . $\text{CO}_2 = 7,0$ "

Das Verhältnis $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ am Anfang des Versuches deutet auf eine totale Verbrennung der Chinasäure im Atmungsprozeß hin. Dieses Verhältnis wird durch den Einfluß einer zeitweiligen Sauerstoffentziehung nur unbedeutend verändert, obgleich die Energie der Sauerstoffatmung gleichzeitig sehr abgeschwächt erscheint. Der nächstfolgende Versuch soll die Änderungen der Sauerstoffatmung ausführlicher erläutern und gleichzeitig darüber Aufschluß geben, wie die anaerobe Atmung während der ersten Stunden der Stickstoffperiode verläuft.

Versuch 4.

Viertägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 218 ccm. Temp. 16,5—17,5°.

I. Luftperiode = 1 Stunde.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,27\%$, $\text{O}_2 = 18,47\%$, i. G. = 79,26%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,97.$$

$\text{CO}_2 = 4,5$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode: a) = 3 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0\%$, $\text{N}_2 = 100\%$.

b) Weitere 15 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,04\%$, $\text{N}_2 = 97,96\%$.

$\text{CO}_2 = 4,3$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

III. Luftperiode = 3 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,88\%$, $\text{O}_2 = 18,51\%$, i. G. = $79,64\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,78.$$

$\text{CO}_2 = 3,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

$2\frac{1}{2}$ Stunden im Luftstrome.

IV. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,29\%$, $\text{O}_2 = 19,36\%$, i. G. = $79,35\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,87.$$

$\text{CO}_2 = 2,7$ ccm bei 0° und 760 mm.

15 Stunden im Luftstrome.

V. Luftperiode = 3 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 3,42\%$, $\text{O}_2 = 17,46\%$, i. G. $79,12\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,03.$$

$\text{CO}_2 = 7,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = $0,7625$ g.

Atmungsenergie pro 10 Std.		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 45,0$ ccm . .	0,97,
II. Stickstoffperiode	a) $\text{CO}_2 = 0$ " . .	—
	b) $\text{CO}_2 = 2,9$ " . .	—
III. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 13,0$ " . .	0,78,
IV. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 13,0$ " . .	0,87,
V. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 23,7$ " . .	1,03.

Die Energie der Sauerstoffatmung wird durch zeitweilige Sauerstoffentziehung bedeutend abgeschwächt, dann nimmt sie wieder zu. Es wäre natürlich vollständig aussichtslos gewesen, wenn man versucht hätte, die Atmungsenergie nach der Stickstoffperiode wieder bis zur ursprünglichen Größe zu steigern, denn bei Beginn und zu Ende des Versuches liegen verschiedene Strecken der großen Atmungskurve vor. Ich habe mich darum in allen derartigen Fällen damit begnügt, den Versuch so lange fortzudauern zu lassen, bis das durch die Anaërobiose veränderte Verhältnis $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ wieder seine ursprüngliche Größe erreicht hatte; dies war für mich ein Zeichen, daß der normale Gang des Verbrennungsprozesses wieder hergestellt war. Daß im Verlauf der drei ersten Stunden der Stickstoffperiode keine Kohlensäurebildung beobachtet wurde, darf kaum

lediglich durch die Grenzen der Empfindlichkeit der gasometrischen Methode erklärt werden, denn wenn wir sogar annehmen, daß die Kohlensäureausscheidung während der ganzen Stickstoffperiode gleichmäßig verlief, so müßten in den drei ersten Stunden ca. 0,3% CO₂ entwickelt werden. Wir können darnach vermuten, daß die anaerobe Atmung der erwachsenen Kulturen anfänglich mit höchst geringer Intensität verläuft.

Überblicken wir die beschriebenen Versuche der Chinasäureserie, so bemerken wir, daß im Versuch 3, wo mit einer jüngeren Pilzkultur experimentiert wurde, die Energie der anaeroben Atmung eine sehr schwache war. Dies ist um so unerwarteter, als die Sauerstoffatmung derselben Kultur im Anfang des Versuches eine sehr ausgiebige gewesen war. Dieser Umstand zwang mich, noch einige Versuche mit jungen Kulturen vorzunehmen, welche höchst merkwürdige Resultate ergaben.

Versuch 5.

Zweitägige Kultur ohne Sporenbildung. Gesamtgasvolumen = 197 ccm. Temp. 18–18,5°.

I. Luftperiode = 1 Stunde 20 Min.

Gasanalyse: CO₂ = 10,35%, O₂ = 10,71%, i. G. = 78,94%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,02.$$

1 Stunde im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode: a) 2 Stunden 20 Minuten.

Gasanalyse: CO₂ = 0,68%, N₂ = 99,32%.

CO₂ = 1,2 ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 12 Stunden.

Gasanalyse: CO₂ = 0,67%, N₂ = 99,33%.

CO₂ = 1,2 ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 12 Stunden.

Gasanalyse: CO₂ = 0,70%, N₂ = 99,30%.

CO₂ = 1,2 ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

III. Luftperiode: 2 Stunden.

Gasanalysen: Spuren von CO₂.

Trockengewicht des Myceliums = 0,1835 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden:

I. Luftperiode	CO ₂ = 133,5 ccm,
II. Stickstoffperiode a)	CO ₂ = 5,2 "
	b) CO ₂ = 0 "
	c) CO ₂ = 0 "
III. Luftperiode	CO ₂ = 0 "

Versuch 6.

Zweitägige Kultur ohne Sporenbildung. Gesamtgasvolumen = 218 ccm. Temp. = 18°.

I. Luftperiode = 1 Stunde 10 Min.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 7,43\%$, $\text{O}_2 = 13,36\%$, i. G. = 79,21%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,00.$$

$\text{CO}_2 = 14,2$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Stickstoffstrom.

II. Stickstoffperiode: a) = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,40\%$, $\text{N}_2 = 99,60\%$.

$\text{CO}_2 = 0,8$ ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 11 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,47\%$, $\text{N}_2 = 99,53\%$.

$\text{CO}_2 = 0,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 12 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,48\%$, $\text{N}_2 = 99,52\%$.

$\text{CO}_2 = 0,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

2 Stunden im Luftstrom.

III. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,84\%$, $\text{O}_2 = 19,80\%$, i. G. = 79,36%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,81.$$

$\text{CO}_2 = 1,6$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,1620 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden:

I. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 121,7$ ccm,
II. Stickstoffperiode a)	$\text{CO}_2 = 4,0$ "
" b)	$\text{CO}_2 = 0$ "
" c)	$\text{CO}_2 = 0$ "
III. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 8,0$ "

Versuch 7.

Zweitägige Kultur ohne Sporenbildung. Gesamtgasvolumen = 200 ccm. Temp. = 18,5°.

I. Luftperiode = 1 Stunde.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 6,38\%$, $\text{O}_2 = 14,48\%$, i. G. = 79,14%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,01.$$

$\text{CO}_2 = 11,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Stickstoffstrom.

II. Stickstoffperiode: a) = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,40\%$, $\text{N}_2 = 99,60\%$.

$\text{CO}_2 = 0,7$ ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 12 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,53\%$, $\text{N}_2 = 99,47\%$.

$\text{CO}_2 = 0,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 10 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,57\%$, $\text{N}_2 = 99,43\%$.

$\text{CO}_2 = 1,0$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrom.

III. Luftperiode: 1 Stunde 40 Min.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,01\%$, $\text{O}_2 = 19,27\%$, i. G. = $79,72\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,60.$$

$\text{CO}_2 = 1,8$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrom.

IV. Luftperiode = 11 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,47\%$, $\text{O}_2 = 19,95\%$, i. G. = $79,60\%$.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,50.$$

$\text{CO}_2 = 0,8$ ccm bei 0° und 760 ccm.

Trockengewicht des Myceliums = $0,1425$ g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 111,0$ ccm . .	1,01
II. Stickstoffperiode	a) $\text{CO}_2 = 3,6$ ccm . .	—
"	b) $\text{CO}_2 = 0,2$ " . .	—
"	c) $\text{CO}_2 =$ Spur . .	—
III. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 10,8$ " . .	0,60
IV. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 0,7$ " . .	0,50

Es ergibt sich also, daß Kulturen, die zwei Tage alt sind, gegen die Anaërobiose viel empfindlicher sind, als die vier Tage alten. Bei jungen Kulturen wird im Anfang der Stickstoffperiode die anaërobe Atmung sofort in Gang gesetzt, doch wird sie durch die tödliche Wirkung der Sauerstoffentziehung schnell zum Stillstand gebracht. Die normale Atmung erfährt bei jungen Kulturen infolge zeitweiliger Anaërobiose eine kolossale Depression; möglicherweise tritt bald der Tod ein, doch will ich hier noch einmal den Leser darauf aufmerksam machen, daß das Erlöschen der Kohlensäurebildung noch kein sicheres Zeichen des Todes ist.

Auf Grund der drei letzten Versuche in der Chinasäureserie muß das Verhalten junger Kulturen gegen die Sauerstoffentziehung von dem älterer (fruktifizierender) Kulturen scharf unterschieden werden.

Die qualitativ-chemische Untersuchung ergab, daß bei der Ernährung mit Chinasäure unter allen Aërationsbedingungen keine Spur von Oxalsäure und Glykogen gebildet wurde. Was die die Fehlingsche Lösung reduzierenden Substanzen betrifft, so wurde durch eine mehrfach wiederholte Prüfung festgestellt, daß sich diese

Substanzen bei Kulturen, welche einer Sauerstoffentziehung nicht ausgesetzt waren, in keinem Entwicklungsstadium anhäufen. In der Stickstoffatmosphäre bilden dagegen viertägige Kulturen beträchtliche Mengen einer Fehlingsche Lösung unmittelbar reduzierenden Substanz, welche leider einstweilen noch nicht näher untersucht worden ist. Wenn diese Substanz ein Kohlehydrat ist (was gewiß sehr wahrscheinlich ist), so wird jeglicher prinzipielle Unterschied zwischen der anaëroben Atmung von *Aspergillus* auf Zucker und auf Chinasäure aufgehoben. Merkwürdig ist es, daß die fragliche Substanz bei Sauerstoffabschluß von den zwei Tage alten Kulturen garnicht, oder nur in minimalen Spuren gebildet wird.

Zusammenfassung der Resultate der Chinasäureserie:

1. Die anaërobe Atmung von *Aspergillus* kann auch bei der Ernährung mit Chinasäure stattfinden.

2. Ältere (viertägige) Kulturen können eine tagelang dauernde Sauerstoffentziehung ertragen, ohne daß infolgedessen der Tod eintritt. Der Gang der anaëroben Atmung ist in diesem Falle demjenigen bei den Peptonkulturen ganz ähnlich.

3. Junge (zweitägige) Kulturen werden durch die Anaërobie schnell getötet; der größte Teil der bei Sauerstoffabschluß ausgeschiedenen CO_2 fällt auf die ersten zwei Stunden der Stickstoffperiode; doch ist auch diese Quantität sehr unbedeutend.

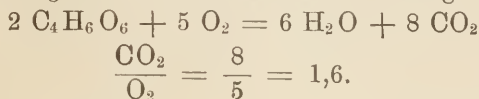
4. Man darf vermuten, daß bei Sauerstoffabschluß im Substrat der Chinasäurekulturen sich eine zuckerartige Substanz anhäuft; wenn dies tatsächlich der Fall sein sollte, so wäre die anaërobe Atmung auf dem Zuckersubstrat der auf dem Chinasäuresubstrat in chemischer Hinsicht sehr ähnlich.

5. Die Energie der Sauerstoffatmung älterer Kulturen wird durch Einwirkung der Sauerstoffentziehung zeitweilig stark herabgedrückt. $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ ist nach der Stickstoffperiode nicht sehr stark verändert und erreicht nach Verlauf einiger Zeit wieder seine ursprüngliche Größe.

III. Serie. Kohlenstoffquelle: Weinsäure.

Nährlösung: Raulinsche Flüssigkeit ohne ZnSO_4 und K_2SiO_3 und unter Ersatz des Zuckers durch freie Weinsäure (5 g Weinsäure in 100 ccm Flüssigkeit). Jeder Versuchskolben enthielt 50 ccm Nährlösung.

Der erste Versuch hatte nur den Zweck, einen allgemeinen Begriff von dem Gang der anaeroben Atmung und von dem Charakter der Einwirkung einer zeitweiligen Sauerstoffentziehung auf die Sauerstoffatmung zu geben. Ich will hier bemerken, daß die Formel der Weinsäure $C_4H_6O_6$ bei totaler Verbrennung in CO_2 und H_2O folgendes Volumenverhältnis verlangt:



Versuch 1.

Fünftägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 190 ccm. Temp. = 17–18,5°.

I. Luftperiode = 1 Stunde 15 Min.

Gasanalyse: $CO_2 = 3,79\%$, $O_2 = 17,44\%$, i. G. = 78,77%.

$$\frac{CO_2}{O_2} = 1,54.$$

$CO_2 = 7,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode: a) = 12 Stunden.

Gasanalyse: $CO_2 = 0,80\%$, $N_2 = 99,20\%$.

$CO_2 = 1,4$ ccm bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 24 Stunden.

Gasanalyse: $CO_2 = 1,05\%$, $N_2 = 98,95\%$.

$CO_2 = 1,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 8 Stunden.

Gasanalyse: $CO_2 = 1,02\%$, $N_2 = 98,98\%$.

$CO_2 = 1,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

2 Stunden im Luftstrome.

III. Luftperiode = 17 Stunden.

Gasanalyse: $CO_2 = 0,91\%$, $O_2 = 19,56\%$, i. G. = 79,53%.

$$\frac{CO_2}{O_2} = 0,68.$$

$CO_2 = 1,7$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,0875 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden		$\frac{CO_2}{O_2}$
I. Luftperiode	$CO_2 = 56,8$ ccm . . .	1,54
II. Stickstoffperiode	a) $CO_2 = 1,2$ " . . .	—
	b) $CO_2 = 0,2$ " . . .	—
	c) $CO_2 = 0$ " . . .	—
III. Luftperiode	$CO_2 = 1,0$ " . . .	0,68

Merkwürdig ist die starke Depression von $\frac{CO_2}{O_2}$ unter dem Einflusse der Anaerobiose. Folgende zwei Versuche sollen diesen Umstand, sowie den Verlauf der anaeroben Atmung ausführlicher erläutern.

Versuch 2.

Fünftägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 209 ccm.
Temp. 18—19°.

I. Luftperiode = 1 Stunde 10 Min.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 4,74\%$, $\text{O}_2 = 17,91\%$, i. G. = 77,35%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,89^1)$$

$\text{CO}_2 = 9,3$ ccm bei 0° und 760 mm.

1½ Stunden im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode: a) = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0\%$, $\text{N}_2 = 100\%$.

b) Weitere 17 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,77\%$, $\text{N}_2 = 99,23\%$.

$\text{CO}_2 = 1,5$ ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 8½ Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,78\%$, $\text{N}_2 = 99,22\%$.

$\text{CO}_2 = 1,5$ ccm bei 0° und 760 mm

1½ Stunden im Luftstrome.

III. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,57\%$, $\text{O}_2 = 19,37\%$, i. G. = 80,06%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,34$$

$\text{CO}_2 = 1,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

IV. Luftperiode = 9 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,83\%$, $\text{O}_2 = 19,67\%$, i. G. = 79,60%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,67$$

$\text{CO}_2 = 1,6$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,1755 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 79,7$ ccm . .	1,89
II. Stickstoffperiode a)	$\text{CO}_2 = 0$ " . .	—
" b)	$\text{CO}_2 = 0,9$ " . .	—
" c)	$\text{CO}_2 = 0$ " . .	—
III. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 5,5$ " . .	0,34
IV. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 1,8$ " . .	0,67

1) Es blieb unaufgeklärt, warum in diesem und im folgenden Versuche der beobachtete Wert für CO_2 den theoretisch berechneten übertrifft. Die Gasanalysen wurden wiederholt, das Resultat blieb aber unverändert.

Versuch 3.

Fünftägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 208 ccm. Temp. 17,5—19°.

I. Luftperiode = 1 Stunde 10 Min.

Gasanalyse: CO₂ = 3,90%, O₂ = 18,32%, i. G. = 77,67%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,85^1)$$

CO₂ = 8,0 ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Stickstoffstrom.

II. Stickstoffperiode a) = 2 Stunden.

Gasanalyse: CO₂ = 0%, N₂ = 100%.

b) Weitere 16 Stunden.

Gasanalyse: CO₂ = 0,83%, N₂ = 99,17%.CO₂ = 1,6 ccm bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 8 Stunden.

Gasanalyse: CO₂ = 0,92%, N₂ = 99,08%.CO₂ = 1,8 ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrom.

III. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: CO₂ = 0,38%, O₂ = 20,08%, i. G. = 79,54%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,47.$$

CO₂ = 0,7 ccm bei 0° und 760 mm.

6 Stunden im Luftstrom.

IV. Luftperiode = 6 Stunden.

Gasanalyse: CO₂ = 0,95%, O₂ = 20,11%, i. G. = 78,94%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,53.$$

CO₂ = 1,9 ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,2900 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	CO ₂ = 68,6 ccm . .	1,85
II. Stickstoffperiode	a) CO ₂ = 0 " . .	—
"	b) CO ₂ = 1,0 " . .	—
"	c) CO ₂ = Spur . .	—
III. Luftperiode	CO ₂ = 3,7 " . .	0,47
IV. Luftperiode	CO ₂ = 3,1 " . .	1,43

Aus den beschriebenen Versuchen ist ersichtlich, daß die anaerobe Atmung von *Aspergillus* bei der Weinsäureernährung denselben Verlauf hat, wie bei Pepton- und Chinasäureernährung. Während der ersten zwei Stunden der Stickstoffperiode ist die Energie der anaeroben Atmung unmeßbar gering; der größte Teil

1) Siehe Anmerkung p. 584.

der ausgeschiedenen Kohlensäure fällt auf die nächstfolgenden 12 bis 15 Stunden; alsdann wird die Kohlensäureausscheidung allmählich zum Stillstand gebracht.

Wieder kommt in der Weinsäureserie die schon früher bekannt gewordene Tatsache zum Vorschein, daß das Leben auch ohne merkbare Kohlensäureausscheidung fort dauern kann. Die Energie der Sauerstoffatmung erscheint nach der Stickstoffperiode sehr abgeschwächt. Auch wird $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ durch die Einwirkung einer zeitweiligen Sauerstoffentziehung sehr stark herabgedrückt; nach Verlauf einiger Zeit nimmt $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ allmählich wieder zu, obgleich die Atmungsenergie noch schwächer wird. Dieser Umstand deutet darauf hin, daß Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffabsorbierung keine untrennbar miteinander verknüpften Prozesse sind.

Bei all den beschriebenen Versuchen der Weinsäureserie erfuhr die Energie der Sauerstoffatmung nach der Stickstoffperiode eine starke Depression, welche nach Verlauf einiger Zeit noch bedeutender wurde. Ist dies aber ein Zeichen des Absterbens? Diese Frage zu lösen erscheint umso interessanter, als die Sauerstoffatmung in den Versuchen 1 und 2 schließlich so schwach war, daß sie kaum als Energiequelle gelten konnte. In dem nächsten Versuche, welcher zur Entscheidung dieser Frage angestellt wurde, wurde die Stickstoffperiode absichtlich nur auf wenige Stunden beschränkt.

Versuch 4.

Siebtägige, fruktifizierende Kultur. Gesamtgasvolumen = 220 ccm. Temp. 17–18°.

I. Luftperiode = 50 Minuten.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,50\%$, $\text{O}_2 = 19,73\%$, i. G. = 78,77%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,56.$$

$\text{CO}_2 = 2,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Stickstoffstrom.

II. Stickstoffperiode = 4 Stunden.

Gasanalyse: Spur von CO_2 .

$\frac{1}{2}$ Stunde im Luftstrom.

III. Luftperiode = 2 Stunden

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,90\%$, $\text{O}_2 = 19,43\%$, i. G. = 79,67%.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,60.$$

$\text{CO}_2 = 1,9$ ccm bei 0° und 760 mm.

2 Stunden im Luftstrom.

IV. Luftperiode = 15 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,51\%$, $\text{O}_2 = 19,04\%$, i. G. = 79,45 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,83.$$

 $\text{CO}_2 = 3,2$ ccm bei 0° und 760 mm.

6 Stunden im Luftstrom.

V. Luftperiode = 22 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 6,34\%$, $\text{O}_2 = 15,13\%$, i. G. = 78,53 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,16.$$

 $\text{CO}_2 = 13,2$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrom.

VI. Luftperiode = 23 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 14,57\%$, $\text{O}_2 = 9,27\%$, i. G. = 76,16 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,36.$$

 $\text{CO}_2 = 30,5$ ccm bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrom.

VII. Luftperiode = 20 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 16,66\%$, $\text{O}_2 = 8,63\%$, i. G. = 74,71 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,52.$$

 $\text{CO}_2 = 36,1$ ccm bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,4105 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 34,8$ ccm . .	1,56
II. Stickstoffperiode	$\text{CO}_2 =$ Spur . .	—
III. Luftperiode	$\text{CO}_2 = 9,5$ ccm . .	0,60
IV. "	$\text{CO}_2 = 2,1$ " . .	0,83
V. "	$\text{CO}_2 = 6,0$ " . .	1,16
VI. "	$\text{CO}_2 = 16,6$ " . .	1,36
VII. "	$\text{CO}_2 = 18,1$ " . .	1,52

Die mikroskopische Untersuchung hat gezeigt, daß die Sporen des Myceliums nicht gekeimt hatten. Dieser Versuch ist sehr lehrreich. Das durch die zeitweilige Sauerstoffentziehung stark herabgedrückte Verhältnis $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ nimmt alsdann ganz regelmäßig zu, bis es seine ursprüngliche Größe erreicht hat, welche eine totale Verbrennung der Weinsäure andeutet. Die Energie der aeroben Kohlensäureausscheidung, welche schon während der Luftperiode II stark verringert erscheint, nimmt nachher noch mehr ab; die Atmungsenergie der Luftperiode IV scheint ein rasches Absterben anzuzeigen. Statt dessen beginnt jedoch die Atmungsenergie all-

mählich zuzunehmen. Die Vermutung, daß Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffabsorbierung zwei gesonderte Vorgänge sind, wird noch überzeugender durch folgenden Versuch bewiesen, wobei mit einer Pilzkultur experimentiert wurde, die ein sehr kräftiges Aussehen hatte, am vierten Tage nach der Aussaat ausnahmsweise noch keine Sporenbildung aufwies und eine intensive anaerobe Kohlensäureausscheidung zeigte.

Versuch 5.

Viertägige Kultur ohne Sporenbildung. Gesamtgasvolumen = 201 cem. Temp. 18—18,5°.

I. Luftperiode = 1 Stunde 15 Min.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 3,54 \%$, $\text{O}_2 = 18,22 \%$, i. G. = 78,24 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,52.$$

$\text{CO}_2 = 6,7$ cem bei 0° und 760 mm.

2 Stunden im Stickstoffstrome.

II. Stickstoffperiode: a) = 4 Stunden 20 Min.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 0,31 \%$, $\text{N}_2 = 99,69 \%$.

$\text{CO}_2 = 0,6$ cem bei 0° und 760 mm.

b) Weitere 12 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,08 \%$, $\text{N}_2 = 98,92 \%$.

$\text{CO}_2 = 2,0$ cem bei 0° und 760 mm.

c) Weitere 24 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 2,80 \%$, $\text{N}_2 = 97,20 \%$.

$\text{CO}_2 = 5,6$ cem bei 0° und 760 mm.

d) Weitere 8 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 3,78 \%$, $\text{N}_2 = 96,22 \%$.

$\text{CO}_2 = 7,1$ cem bei 0° und 760 mm.

1½ Stunden im Luftstrome.

III. Luftperiode = 2 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 1,34 \%$, $\text{O}_2 = 15,23 \%$, i. G. = 83,43 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,20.$$

$\text{CO}_2 = 2,5$ cem bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

IV. Luftperiode = 12 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 4,97 \%$, $\text{O}_2 = 12,65 \%$, i. G. = 82,38 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 0,55.$$

$\text{CO}_2 = 9,4$ cem bei 0° und 760 mm.

1 Stunde im Luftstrome.

V. Luftperiode = 22 Stunden.

Gasanalyse: $\text{CO}_2 = 13,93 \%$, $\text{O}_2 = 11,58 \%$, i. G. = 74,49 %.

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1,55.$$

$\text{CO}_2 = 26,3$ cem bei 0° und 760 mm.

Trockengewicht des Myceliums = 0,0710 g.

Atmungsenergie pro 10 Stunden		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
I. Luftperiode	CO ₂ = 53,4 ccm . .	1,52
II. Stickstoffperiode	a) CO ₂ = 1,2 " . .	—
"	b) CO ₂ = 1,2 " . .	—
"	c) CO ₂ = 1,5 " . .	—
"	d) CO ₂ = 1,9 " . .	—
III. Luftperiode	CO ₂ = 12,5 " . .	0,20
IV. " "	CO ₂ = 7,8 " . .	0,55
V. " "	CO ₂ = 12,0 " . .	1,55

Bei diesem Versuche hat die Pilzkultur die Anaerobiose ganz gut ertragen, denn die anaerobe Kohlensäureausscheidung nahm mit der Zeit zu. Nach der Stickstoffperiode trat eine merkwürdige Erscheinung zutage: die Kohlensäureausscheidung wurde durch die zeitweilige Sauerstoffentziehung herabgedrückt, die Sauerstoffabsorbierung dagegen gesteigert. Wenn wir die Quantitäten des absorbierten Sauerstoffes während der Luftperioden I und III berechnen, so erhalten wir folgendes Resultat:

O₂ absorbiert pro 10 Stunden:

Luftperiode	I	O ₂ = 35,1 ccm bei 0° und 760 mm,
"	III	O ₂ = 62,5 " " 0° " 760 "

Der Verlauf der Sauerstoffatmung nach der Stickstoffperiode hat im allgemeinen denselben Charakter, wie im Versuch IV. Unmittelbar nach der Stickstoffperiode ist $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ gleich 0,20, was für Ernährung mit Weinsäure fast unglaublich erscheint; alsdann erreicht $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ nach und nach seine theoretische Größe. Die Atmungsenergie ist geringer während der Luftperiode IV, als unmittelbar nach der Stickstoffperiode; später beginnt sie wieder zuzunehmen. Die mehrfach wiederholte qualitativ-chemische Prüfung ergab in der Weinsäureserie immer dasselbe Resultat:

Oxalsäure	} negativ.
Glykogen	
Fehlingsche Lösung reduzierende Stoffe	

Zusammenfassung der Resultate der Weinsäureserie:

1. Die anaerobe Atmung ist bei Ernährung mit Weinsäure möglich;

2. Bei dieser Art von Ernährung kann *Aspergillus niger* eine dauernde Sauerstoffentziehung ertragen (im Versuch V dauerte die Stickstoffperiode 48 Stunden, wonach der Pilz vollständig lebensfähig blieb).

2. Wenn auch bei Sauerstoffabschluß die Kohlensäurebildung eingestellt wird, so ist dies kein Zeichen des Todes: bei erneuertem Sauerstoffzutritt fängt der Pilz wieder an zu atmen.

3. Der Verlauf der anaëroben Atmung hat denselben Charakter, wie bei der Ernährung mit Pepton und Chinasäure.

4. Die Energie der aëroben Kohlensäureausscheidung wird infolge zeitweiliger Anaërobiose stark herabgedrückt; unmittelbar nach der Stickstoffperiode ist die Atmungsenergie jedoch immer stärker, als im Verlauf der folgenden 10—15 Stunden; alsdann beginnt sie regelmäßig wieder zuzunehmen.

5. Das Verhältnis $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ wird durch zeitweilige Sauerstoffentziehung sehr stark verringert; alsdann nimmt $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ allmählich wieder zu, bis es wieder die ursprüngliche Größe erreicht.

Wenn wir nun die Resultate aller drei Versuchsserien unter einander vergleichen, so sehen wir:

1. Die anaërobe Atmung hat in all den Serien denselben Verlauf.

2. Die aërobe Kohlensäureausscheidung wird durch eine zeitweilige Sauerstoffentziehung immer unterdrückt.

3. Der Hauptunterschied zwischen den drei untersuchten Ernährungsarten besteht darin, daß $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ durch Einwirkung der Anaërobiose im Falle der Peptonernährung garnicht, im Falle der Chinasäureernährung unwesentlich, und im Falle der Weinsäureernährung sehr stark herabgedrückt wird.

Als Grundergebnis aller in dieser Abhandlung zusammengestellten Versuche resultiert die Schlußfolgerung:

Die anaërobe (intramolekulare) Atmung kann auf Kosten verschiedenartiger Stoffe stattfinden, welche bei

der Sauerstoffatmung verbrannt werden können. Es bleibt noch einstweilen unentschieden, welche Stoffumwandlungen in verschiedenen Fällen der anaeroben Atmung bei Abwesenheit von Zucker vorliegen; ob die sich dabei abspielenden Prozesse in keinem Zusammenhange mit der Alkoholgärung stehen, oder ob durch event. Vorbereitungsakte zunächst bei jeder Art von Ernährung Kohlehydrate entstehen, welche dann sofort vergärt werden? Wenn letzteres der Fall ist, so muß allerdings eine Anhäufung von Nebenstoffen stattfinden, welche bei der Alkoholgärung der Hefe nicht auftreten. Die Bearbeitung dieser Fragen möchte ich mir vorbehalten; die Resultate einer solchen Untersuchung werden jedoch gewiß ohne Einfluß bleiben auf die folgende zweite Schlußfolgerung:

Die Anschauung von dem genetischen Zusammenhange der Sauerstoffatmung mit der anaeroben Atmung wird noch dadurch bekräftigt, daß die anaerobe Atmung, ebenso wie die normale, bei verschiedener Art von Ernährung möglich ist.

Wenn man annimmt, daß der genannte genetische Zusammenhang wirklich besteht, und daß ferner Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffabsorbierung bei der normalen Atmung zwei gesonderte Erscheinungen sind (nach dem oben dargelegten ist auch diese Vermutung sehr wahrscheinlich), so liegt der Gedanke nahe, daß die biologische Bedeutung der anaeroben Atmung von den Pflanzenphysiologen meistens übertrieben wurde. Einerseits ersieht man aus obiger Darstellung, daß das Leben auch bei erloschener Kohlensäureausscheidung nicht unbedingt aufhört, andererseits ist von biologischer Seite der Umstand kaum begreiflich, daß auch solche Organismen zur anaeroben Atmung befähigt sind, welche in mehreren Generationen unter vollkommen guten Aërationsbedingungen gelebt hatten. Es wäre darum die Annahme nicht ganz unwahrscheinlich gewesen, daß die „anaerobe“ Atmung nichts anderes ist, als ein unvermeidlicher Rest von bei Luftzutritt sich abspielenden respiratorischen Vorgängen. Es ist mir tatsächlich gelungen, aus Pilzkulturen, welche fortwährend unter den günstigsten Aërationsbedingungen erzogen wurden, ein Agens zu erhalten, das auch bei Sauerstoffabschluß Kohlensäureproduktion bewirkt. Näheres darüber findet man in meiner Abhandlung „Über Atmungsenzyme der Schimmelpilze“¹⁾.

1) Kostytschew, Ber. d. Deutsch. botan. Gesellsch., 1904, Bd. XXII, p. 207.

Zum Schluß erfülle ich die angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. W. Palladin, in dessen Laboratorium diese Arbeit ausgeführt worden ist, für das beständige Interesse und die liebenswürdige Überlassung aller mir nötigen Gegenstände meinen innigsten Dank auszusprechen.

St. Petersburg, Pflanzenphysiologisches Institut
der Universität.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [40](#)

Autor(en)/Author(s): Kostytschew S.

Artikel/Article: [Über die normale und die anaerobe Atmung bei Abwesenheit von Zucker. 563-592](#)