

Sitzung am 27. Februar 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens. Herr König als Gast:
Führung durch die Sternwarte mit einleitendem Vortrag.

Sitzung am 1. Juni 1927.

Vorsitzender: Herr Wilckens.

1. Herr Dahm:

Chemismus der Pflanzenatmung¹⁾.

Wenn man im täglichen Leben von Atmung spricht, so meint man in der Regel damit das Ein- und Ausatmen, wie wir es ja bei uns selbst jederzeit beobachten können. Dieser Vorgang des Ein- und Ausatmens ist aber nur das Anfangs- bzw. Endglied einer ganzen Reihe von Vorgängen, die alle mit zur „Atmung“ zu rechnen sind. Das Wesentliche bei der Atmung spielt sich in den einzelnen Zellen ab, aus denen ja alle Lebewesen zusammengesetzt sind. Als Atmungsmaterial dient dabei, wenigstens für die Pflanzen, der Traubenzucker. Alle lebenden Zellen atmen bei Tier und Pflanze Tag und Nacht. Diese Vorgänge für die Pflanzenzellen etwas näher zu beleuchten, soll die Aufgabe des folgenden sein.

Zum Verständnis des ganzen ist es nötig, sich stets vor Augen zu halten, dass die Pflanze kein einfaches chemisches System darstellt, sondern ein lebender Organismus ist, der vor allem die Fähigkeit zur Selbststeuerung hat. Pfeffer (1), der Mitbegründer der modernen Pflanzenphysiologie, sagt dazu: „In den im lebenden Organismus gebotenen Dispositionen, nicht im Sauerstoff liegt die primäre Ursache der Atmung. Die Sauerstoffaffinitäten müssen in jedem Augenblick in begrenzten Mengen geboten sein, aber fortlaufend entwickelt werden; denn nur so erklärt es sich, dass die Ausgiebigkeit der Atmung in weiten Grenzen von der Partiärpressung unabhängig ist“. Unsere Fragestellung muss also lauten: 1. Wie schafft die Pflanze die erwähnten Dispositionen und 2. welche chemischen Umsetzungen gehen von dem Atmungsmaterial aus bis zu den uns sichtbaren Atmungsschlacken vor sich?

Zur ersten Frage, wie die Pflanze die Zustände schafft, die zur Spaltung der Zuckermoleküle führen, nimmt man allgemein an, dass es die vom Plasma erzeugten Enzyme sind, die auf die Spaltung der zu veratmenden Stoffe hinarbeiten. Dafür spricht z. B. die Tatsache, dass Pflanzenpressäfte oder durch Kälte abgetötete Zellen Zucker unter CO_2 Abgabe zu spalten vermögen. Die Spaltung bleibt aber aus, wenn man die Pflanzenpressäfte kocht, wodurch die Enzyme zerstört werden. Die Annahme von der Beteiligung

1) gekürzt veröffentlicht.

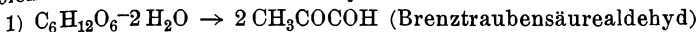
der Enzyme ist auch deshalb erforderlich, weil man sonst nicht verstehen kann, wie Stoffe, die ausserhalb der Zelle nicht miteinander reagieren, in der Zelle aufeinander einwirken, ferner, warum gerade der Traubenzucker und nicht die anderen in der Zelle befindlichen organischen Stoffe oxydiert werden. Alles das ist aber leicht zu erklären, wenn wir die Beteiligung spezifisch wirkender Enzyme annehmen. Auf die einzelne Enzyme werde ich im Zusammenhang mit unserer zweiten Frage eingehen: Welche Zwischenprodukte entstehen bei der typischen Atmung, d. h. bei der Spaltung des Zuckers zu Kohlensäure und Wasser?

Grundlegend für unsere heutige Ansicht über den Chemismus der Atmung war die Feststellung Pflügers, dass bei der Tieratmung auch unter Sauerstoffabschluss die CO_2 Abscheidung weiter vor sich gehe. Pflüger nannte diesen Vorgang intramolekulare Atmung, weil es sich dabei um Spaltungen innerhalb der Moleküle ohne Zufuhr von Sauerstoff handelt. Nach Ansicht des Autors ist sie keine pathologische Erscheinung, sie soll vielmehr eine ständige Vorstufe der normalen Atmung bei den Tieren bilden. Die Ansicht Pflügers fand bei den Botanikern seiner Zeit wenig Anklang, erst Pfeffer hat für die Pflanzen auf die Möglichkeit des Voraushens einer intramolekularen Spaltung vor dem Angriff des Sauerstoffs hingewiesen (2): „Hiernach ist in der Tat möglich, dass auch bei Anwesenheit von Sauerstoff die intramolekulare Atmung bis zur Bildung von Alkohol oder allgemein bis zur Bildung der Endprodukte durchlaufen wird, welche dann, wie sie entstehen, weiter oxydiert werden. Es ist jedenfalls zulässig und für das Verständnis am einfachsten, wenn wir fernerhin den genetischen Zusammenhang zwischen intramolekularer und Sauerstoffatmung in der besagten Weise auffassen“. In seiner Pflanzenphysiologie (3) ist Pfeffer allerdings etwas zurückhaltender hinsichtlich seiner Ansicht über den Zusammenhang zwischen aerober und anerober Atmung. Erst nach der Entdeckung der Zymase in der Hefe durch Buchner und dem Nachweis des gleichen Enzyms in den höheren Pflanzen brach sich die Ansicht vom Zusammenhang der intramolekularen und der Sauerstoffatmung immer mehr Bahn.

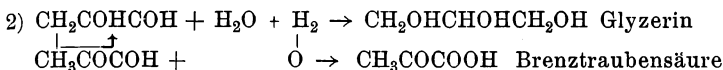
Die weiteren grundlegenden Versuche für unsere heutige Auffassung von den Zwischenprodukten der normalen Atmung verdanken wir den Forschungen Neubergs und seiner Schule¹⁾ auf dem Gebiete der alkoholischen Gärung. Nach Neuberg findet bei der Vergärung des Zuckers zu Alkohol und Kohlensäure etwa folgendes statt:

1) Veröffentlicht in der Biochem. Zeitschr. seit 1911, ferner Sammelbericht Ber. Chem. Ges. 1922. 55₃, 3624.

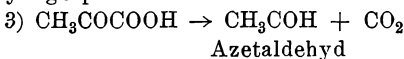
Der Traubenzucker zerfällt unter Wasserabspaltung in zwei Moleküle Brenztraubensäurealdehyd.



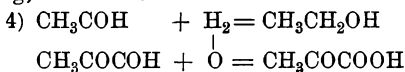
Wir müssen dabei die Mitwirkung von Enzymen annehmen und wollen sie nach Neuberg und Oppenheimer (4) Enzyme des ersten Angriffs nennen. Durch Wasseranlagerung an die beiden Brenztraubensäurealdehydmoleküle entsteht alsdann Glyzerin und Brenztraubensäure. Dabei wirkt eine Oxyreduktase mit, die wir auch Dehydrase nennen können.



Die Brenztraubensäure wird durch Carboxylase in Azetaldehyd und Kohlendioxyd gespalten.



Der Azetaldehyd tritt nun mit weiterem Brenztraubensäurealdehyd — Entstehung nach 1) — in Beziehung, wieder unter Wasserbeteiligung, wobei Brenztraubensäure und Alkohol entstehen:



Die Brenztraubensäure zerfällt wieder nach Gleichung 3).

In Gleichung 2) und 4) haben wir es mit einer Disproportionierung zu tun, d. h. Wasser wird an ein Molekül derart angelagert, dass das H₂ das eine Molekül in eine Verbindung mit niedriger Oxydationsstufe und das O das andere Molekül in eine solche mit höherer Oxydationsstufe verwandelt.

Wenn wir annehmen, dass der Sauerstoffaufnahme eine intramolekulare Spaltung des Zuckers vorausgeht, so liegt der Schluss nahe, dass die intramolekularen Spaltungen, die bei der Veratmung des Zuckers zunächst ohne Sauerstoffanteilmahme vor sich gehen, denen bei der alkoholischen Hefegärung ähnlich sind. In diesem Falle müssten sich bei der typischen Pflanzenatmung die gleichen Atmungszwischenprodukte nachweisen lassen wie bei der alkoholischen Gärung. Es war nun Neuberg gelungen, eine Stabilisierung der Zwischenprodukte bei der Gärung durchzuführen, wenn er dem Gärgut sekundäres Alkalisulfit zusetzte. Dadurch lässt sich nämlich Aldehyd in Form des Aldehydkomplexsalzes abfangen. Die Menge des gebildeten Alkohols geht stark zurück. Wollte man nun bei der Pflanzenatmung die gleichen Zwischenprodukte, insbesondere den Azetaldehyd, abfangen, so hätte man der Pflanzenzelle Alkalisulfit begeben müssen. Das ist aber nicht möglich, weil es nicht in lebende Zellen eindringt. Neuberg und seine Schüler suchten daher nach einem anderen Abfangmittel, das dieselbe

Wirkung hätte, wie das Alkalisulfit, aber in die Zelle eindrange und wenig giftig wäre. Sie fanden es in dem Dimedon, einer komplizierten organischen Verbindung, an das sich die Aldehyde leicht anlagern. Es fällt dann das so entstehende Aldehyddimedon unlöslich aus. Durch Behandeln mit verd. Alkohol kann die Verbindung rein gewonnen und bestimmt werden. Es gelang nun Neuberg und Gottschalk auf diese Weise, bei der anaeroben Atmung der höheren Pflanzen verhältnismässig grosse Mengen von Azetaldehyd nachzuweisen.

Wichtige Untersuchungen über die Spaltprodukte bei der Atmung haben neuerdings Klein und seine Schüler (5) angestellt, wobei sie sich u. a. der Dimedonabfangmethode bedienen. Sie stellten z. B. abgeschnittene Pflanzenteile in eine Dimedonlösung von mässiger Konzentration, wodurch eine leidliche Durchtränkung des Gewebes mit dem Abfangmittel erreicht wurde. Dabei konnte eine messbare Menge von Azetaldehyd nachgewiesen werden. Demnach scheint es also wahrscheinlich zu sein, dass die aerobe Atmung zunächst bis zum Azetaldehyd denselben Verlauf nimmt wie die anaerobe. Hier trennen sich die Wege: Im ersten Falle mit O-Zutritt entstehen Kohlensäure und Wasser, bei der Hefegärung ohne O-Zutritt Kohlensäure und Alkohol.

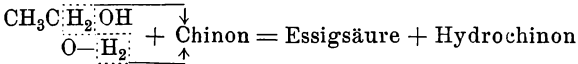
Man hat sich eingehend mit der Frage befasst, wie es kommt, dass Vorgänge in der Zelle so schnell vor sich gehen wie hier die Oxydation von Zucker, die ausserhalb der Zelle so langsam verlaufen. Zur Erklärung hat man angenommen, dass der Sauerstoff in der Zelle aktiviert werde. Durch den aktivierten Sauerstoff solle dann der Wasserstoff aus dem zu veratmenden Stoff unter Bildung von Wasser herausgenommen werden.

Gegen diese Theorie erheben sich die Bedenken, dass besonders oxydable Stoffe wie Oxalsäure und Ameisensäure und dergleichen im Organismus schwer verbrennen. Wieland (6) hat daher angenommen, dass es nicht der Sauerstoff ist, der aktiviert wird, sondern der Wasserstoff der zu veratmenden Verbindung. Dieser soll alsdann auf einen Akzeptor, die Atmungspigmente, und schliesslich auf den Luftsauerstoff abgeladen werden. In diesem Falle müsste der Wasserstoff aus organischen Stoffen auch ausserhalb der Zelle und in Abwesenheit von O aktiviert werden können. Das zu zeigen, ist nun Wieland in der Tat gelungen. Wenn er zu einer Traubenzuckerlösung Palladiumschwarz als Katalysator zusetzte, so trat Verbrennung des Traubenzuckers ein. Vom Palladiumschwarz konnte der Wasserstoff des Traubenzuckers aufgenommen und in Freiheit gesetzt werden, aber schon bald hörte die Reaktion auf, weil sich das Palladiumschwarz mit Wasserstoff beladen hatte und dadurch unwirksam geworden war. Wieland setzte nun dem

System einen Wasserstoffakzeptor zu, das ist eine Verbindung, die zu Wasserstoff mehr Affinität hat als der Stoff, der durch den Wasserstoffentzug entsteht.

Bei Zusatz eines solchen Stoffes läuft die Verbrennung unter Wasserstoffentzug solange weiter fort, als der Akzeptor noch Wasserstoff aufzunehmen vermag.

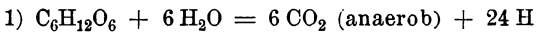
Die „Dehydrierungstheorie“ Wieland's stösst auf Schwierigkeiten, wenn die Oxydation eines Stoffes nicht auf Wasserstoffentzug fusst. Hier nimmt Wieland an, dass der Dehydrierung eine Anlagerung von Wasser vorausgeht. Einen wichtigen Beweis für diese Ansicht erbrachte Wieland (6) dadurch, dass es ihm gelang, mit einem Extrakt von Essigsäurebakterien Alkohol unter Luftabschluss bei Gegenwart von Chinon als H-Akzeptor zu Essigsäure zu oxydieren.



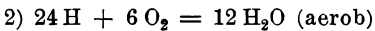
Dabei konnte Azetaldehyd als Zwischenprodukt nachgewiesen werden. Dieses selbst konnte man analog zu Essigsäure oxydieren.

Wir müssen annehmen, dass dabei anstelle des als Katalysator wirkenden Palladiumschwarz eine dem Organismus entstammende Verbindung, ein Enzym, mitgewirkt hat.

Nach Wieland soll, wie oben erwähnt, manchmal der Dehydrierung die Anlagerung von Wasser vorausgehen. Palladin (7) geht noch weiter und stellt die Hypothese auf: Alles bei der Atmung abgegebene Kohlendioxyd ist anaeroben, alles dabei abgegebene Wasser aeroben Ursprungs. Am klarsten wird die Folgerung aus dieser Theorie nach dem von Jost im Lehrbuch der Botanik für Hochschulen angegebenen Schema:



Traubenzucker



Der Wasserstoff müsste also aus dem Zuckerhydrat bei Anwesenheit von Atmungsfermenten auf leicht oxydierbare Substanzen, Atmungspigmente, übertragen werden. Von hier ginge der Wasserstoff alsdann an den Sauerstoff der Luft, wobei wir ebenfalls die Beteiligung von Fermenten annehmen müssen.

Nach Warburg (8) ist die Atmung an die Struktur der Zellen gebunden. Ferner ist bei der Atmung die Mitwirkung wenigstens einer geringeren Menge von Eisen vorauszusetzen. Dieses spielt durch Hin- und Herpendeln zwischen dem zwei- und dreiwertigen Zustand die Rolle des Sauerstoffüberträgers. Das Atmungspigment wird als die Summe der katalytisch wirksamen Eisenverbindungen definiert. Dagegen konnte nun Willstätter (9) zeigen, dass die Wirk-

samkeit der Atmungsfermente nach Zugabe von Eisen nicht grösser wird. Im Gegenteil stellte er fest, dass bei fortgesetzter Reinigung des Enzyms der Eisengehalt abnahm, während die Wirkungsweise intensiver wurde. Das feste und stete Anhaften von ganz geringen Eisensparten an den Atmungsenzymen spricht allerdings auch Willstätter dafür, dass die Reaktion in eisenhaltigen Systemen vor sich gehe.

Blicken wir auf die sich zum Teil widersprechenden Theorien über den Chemismus der Pflanzenatmung zurück, so zeigt sich uns folgendes Bild: Es scheint der aeroben Atmung bei den höheren und niederen Pflanzen eine anaerobe Spaltung vorauszu gehen, wie wir sie bei der Hefe als Regel haben. Ob der wesentliche Vorgang dabei die Aktivierung des Sauerstoffs oder des Wasserstoffs ist, lässt sich zur Zeit noch nicht entscheiden. Beteiligt an der Atmung sind spezifisch wirkende Enzyme, die die Aufnahme von O oder Abgabe von H vermitteln. So erklärt sich am besten die Oxydation bei so geringer Temperatur, die spezifische Auswahl von organischen Stoffen zur Atmung und die Unabhängigkeit der Atmung vom Sauerstoffdruck.

Angeführte Literatur.

- 1) Pfeffer, W., Beiträge zur Kenntnis der Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen Leipzig 1887.
- 2) Ders. Das Wesen und die Bedeutung der Atmung in der Pflanzenzelle. Landw. Jahrb. 1878.
- 3) Ders. Pflanzenphysiologie 2. Aufl. Leipzig 1897
- 4) Neuberg, C. Oppenheimer, C., Zur Nomenklatur der Gärungsfermente und Oxydasen Bioch. Zeitschr. 1925.
- 5) Klein, G., Pirschle K., Azetaldehyd als Zwischenprodukt der Pflanzenatmung. Bioch. Zeitschr. 1926.
- Pirschle, K., Azetaldehyd als Zwischenprodukt bei der Keimung fetthaltiger Samen. Bioch. Zeitschr. 1926.
- 6) Wieland, H., Über den Mechanismus der Oxydationsvorgänge. Erg. der Physiol. 1922.
- Ders. Über den Verlauf der Oxydationsvorgänge. Ber. Chem. Ges. 1922. 55 s 3639.
- 7) Palladin, W., Über die Bedeutung des Wassers bei den Prozessen der alkoholischen Gärung und der Atmung der Pflanzen. Bioch. Zeitschr. 1914.
- 8) Warburg, O., Über Eisen, den sauerstoffübertragenden Bestandteil des Atmungsfermentes. Bioch. Zeitschr. 1924.
- 9) Willstätter, R., Über Sauerstoffübertragung in der lebenden Zelle. Ber. Chem. Ges. 1926. 59 2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: [84](#)

Autor(en)/Author(s): Dahm Carl

Artikel/Article: [Chemismus der Pflanzenatmung A021-A026](#)