

15. W. Palladin: Das Blut der Pflanzen.

(Vorläufige Mitteilung.)

(Eingegangen am 14. Februar 1908.)

Den Anlaß zu der vorliegenden Arbeit gab folgender Versuch: Weizenkeime¹⁾ wurden einen Tag lang unter einer dünnen Wasserschicht eingeweicht, dann mit Wasser und Chloroform im Überschuß versetzt und bei Zimmertemperatur behufs Selbstverdauung belassen. In den ersten Tagen wurden keine Veränderungen wahrgenommen; nach Ablauf von 10 Tagen ist die Oberfläche der Flüssigkeit dunkelbraun geworden; diese dunkle Färbung verschwand beim Umrühren. Die oxydierte Schicht der Flüssigkeit wurde also durch die Keime wieder reduziert. Nach einigem Stehenlassen färbte sich aber die oberste Flüssigkeitsschicht wieder dunkelbraun; ihre Dicke nahm allmählich zu, die unterste Schicht und die Keime selbst blieben dagegen farblos. Nach Ablauf von einem Monate wurden die Keime abfiltriert; das dunkelgelbe Filtrat ist beim Umrühren und Luftzutritt erst dunkelrot, dann schwarzbraun geworden. Die abfiltrierten und in einer dünnen Schicht ausgebreiteten Keime oxydierten sich bei Luftzutritt und nahmen erst eine violette, dann eine dunkelbraune Färbung an. Es hat sich also bei der Selbstverdauung der Keime unter anderen Spaltungsprodukten der Eiweißkörper eine (oder mehrere?) Substanz gebildet, die bei allmählicher Oxydation verschiedenartig gefärbte Pigmente liefert. Diese Oxydation kommt unter Mitwirkung der in den Keimen vorhandenen Peroxydase zustande. In Weizenkeimen bildet sich also die chromogene Substanz erst nach erfolgter Selbstverdauung, in vielen anderen Pflanzen ist dieselbe in mehr oder weniger bedeutender Menge zu jeder Zeit vorhanden. Es genügt, auf die interessanten Untersuchungen BERTRANDS²⁾ über die Lakkase hinzuweisen. Neuerdings haben BERTRAND und MUTTERMILCH³⁾ dargetan, daß die Färbung des Schwarzbrottes (pain bis) von denselben beiden Prozessen herrührt, die ich bei der Selbstverdauung

1) Bezogen von MAGGI, Stadtmühle, Zürich.

2) G. BERTRAND, Annales de chimie et de physique, série 7, tome 12, 1897, S. 115.

3) G. BERTRAND et MUTTERMILCH, Comptes rendus, tome 144, 1907, S. 1444, 1285.

der Weizenkeime beobachtete: zuerst werden Eiweißstoffe durch proteolytisches Enzym gespalten, dann wird ein Spaltungsprodukt, Tyrosin, durch Tyrosinase oxydiert unter Bildung von einem dunkelbraunen Pigment. CHODAT und STAUB¹⁾ untersuchten die Einwirkung der Tyrosinase auf verschiedene Spaltungsprodukte der Eiweißstoffe. Die gegenwärtig verbreitete Ansicht, daß das Schwarzwerden der Pflanzensäfte auf einer Oxydation des Tyrosins beruht, wird jedoch von E. SCHULZE²⁾ in Abrede gestellt. Auf Grund dieser genauen Arbeit glaube ich, daß das Vorhandensein schwarzer und roter Pigmente in Pflanzensäften wohl nicht immer auf eine Oxydation des Tyrosins zurückzuführen ist.

Welche Bedeutung besitzen die genannten Pigmente im Pflanzenleben? Darüber finden wir in der einschlägigen Literatur meistens keine bestimmten Hinweise. Nur REINKE³⁾ hat schon längst die große physiologische Bedeutung der uns interessierenden Pigmente berücksichtigt. REINKE bezeichnet diese Stoffe als „Autoxydatoren“ und schreibt ihnen große Bedeutung im Atmungsprozesse zu: „Daß derartige Stoffe, die, wenn sie auch nur in geringer Menge im Protoplasma gebildet werden, durch ihre eigene Oxydation auch die Verbrennung schwieriger oxydierbarer Stoffe einleiten können, hat MORITZ TRAUBE hervorgehoben, und es bildet diese Tatsache die Grundlage der von ihm aufgestellten Theorie der Atmung⁴⁾. Im Anschluß daran habe ich die Vorstellung entwickelt, daß solche Stoffe, wie das Rhodogen, welche sich direkt mit dem Sauerstoff der Luft verbinden können, im Protoplasma entstehen und bei ihrer Oxydation, wie alle Autoxydatoren dies tun, zugleich atomistischen Sauerstoff erzeugen, der nun seinerseits imstande ist, Kohlenhydrate, Fette oder Säuren direkt zu verbrennen⁵⁾.“ Diese Ansicht muß nun auf Grund der gegenwärtig bekannt gewordenen Tatsachen in zwei Beziehungen modifiziert werden: erstens gehen diese Pigmente nicht direkt, sondern durch Vermittelung der Oxydase mit dem Sauerstoff der Luft Verbindungen ein, zweitens werden durch die genannten Pigmente nicht direkt Kohlenhydrate oxydiert, sondern deren Spaltungsprodukte, die ohne Eingriff des molekularen Sauerstoffs erzeugt

1) CHODAT et STAUB, Archives des sciences phys. et naturelles (4), t. 23, 1907; t. 24, 1907.

2) E. SCHULZE, Zeitschrift für physiol. Chemie, Band 50, 1907, S. 508.

3) REINKE, Zeitschrift für physiol. Chemie. VI, 1882, S. 213. Botanische Zeitung, 1883, S. 65.

4) M. TRAUBE, Gesammelte Abhandlungen, S. 396 ff.

5) REINKE, Einleitung in die theoretische Biologie. 1901, S. 281.

werden. Der Atmungsprozeß ist also in Wirklichkeit bedeutend komplizierter, als es den Anschauungen REINKEs nach der Fall sein sollte. Bei der Erforschung der physiologischen Bedeutung der genannten Pigmente muß in Betracht gezogen werden, daß diese sich in lebenden Pflanzen nicht auffinden lassen; erst nachdem die Pflanze ohne Zerstörung der oxydierenden Enzyme getötet wird, kommen die Pigmente zum Vorschein. Dies ist die Ursache davon, daß diese Substanzen als Abfallstoffe betrachtet wurden. Es liegt wohl die Annahme nahe, daß Pigmentbildungen als reversible Reaktionen aufzufassen sind, daß folglich ein in lebender Zelle gebildetes Pigment sofort wieder reduziert wird, indem es den gebundenen Sauerstoff auf andere Stoffe überträgt und auf diese Weise in einer lebenden Zelle niemals angehäuft werden kann. Wird aber mit dem Tode der Zelle die Tätigkeit der Oxydase verstärkt, oder diejenige reduzierender Stoffe gehemmt, so kommt dadurch eine rasche Anhäufung des Pigmentes zustande. Die von mir ausgeführten Versuche zeigen, daß Atmungspigmente tatsächlich reduziert werden. Weizenkeime wurden nach einer 2 Monate dauernden Selbstverdauung im Chloroformwasser, bei Luftzutritt, abfiltriert. Das dunkelbraune Filtrat konnte durch Ammoniumsulfid und durch schweflige Säure teilweise reduziert werden, besonders gut und schnell aber durch Zinkstaub in Gegenwart der Essigsäure; es wurde dabei eine strohgelbe Lösung erhalten, deren Oberfläche sich bei Luftzutritt wieder dunkel färbte. Behufs Lösung der Frage, ob man hier wirklich mit einem Autoxydatoren, d. h. mit einem molekularen Sauerstoff selbständig absorbierenden Stoffe, zu tun hat, wurde eine andere Portion des dunkeln Filtrates ausgekocht und der dabei entstandene Eiweißniederschlag abfiltriert. Das ausgekochte Pigment verhielt sich gegenüber Ammoniumsulfid, schwefliger Säure und Zinnstaub in essigsaurer Lösung ebenso wie das nicht ausgekochte. Ein wesentlicher Unterschied bestand aber darin, daß eine ausgekochte und durch atomistischen Wasserstoff reduzierte Lösung sich bei Luftzutritt nicht wieder oxydierte. Eine Oxydation erfolgte erst nach Zusatz der nach dem Verfahren von CHODAT und BACH aus Meerrettich dargestellten Peroxydase und des Wasserstoffsperoxyds. Ich erhielt dabei eine rote Lösung; Schwarzwerden wurde nicht wahrgenommen. Das Atmungspigment der Weizenkeime wird also nicht unmittelbar durch molekularen Sauerstoff oxydiert; diese Oxydation kommt nur in Gegenwart einer Oxydase zustande. Das Atmungspigment kann nicht nur durch entsprechende Chemikalien, sondern auch durch die Pflanzen selbst reduziert

werden; die von den Weizenkeimen abfiltrierte dunkelbraune Flüssigkeit wird durch Weizenkeime (mit Chloroform) bei Sauerstoffabschluß in eine hellgelbe Lösung reduziert.

Aus obigen Versuchen ist ersichtlich, daß spezielle Enzyme, die sogenannten Reduktasen, in Pflanzen vorkommen müssen. Das Vorhandensein der genannten Enzyme in Tiergeweben ist eine durch die Arbeiten EHRlich's¹⁾ und anderer Forscher bereits festgestellte Tatsache. Nicht so in Betreff der Pflanzen, denn gegenwärtig wird die Aufmerksamkeit der Physiologen hauptsächlich auf Oxydasen gerichtet. Nur die reduzierenden Eigenschaften der Bakterien wurden Gegenstand zahlreicher Untersuchungen²⁾. HAHN hat eine Reduktase in der Hefe aufgefunden³⁾; hinsichtlich der Samenpflanzen verfügen wir jedoch nur über spärliche Andeutungen; so hat REY-PAILHADE⁴⁾ darauf hingewiesen, daß Pflanzenzellen unter Umständen reduzierendes Vermögen besitzen.

Mit dem Zwecke, unsere lückenhaften Kenntnisse über die Reduktasen der Samenpflanzen etwas zu erweitern, habe ich einige Versuche ausgeführt. Zum Nachweis der Reduktasen benutzte ich einige leicht zu reduzierende Stoffe, wie zum Beispiel Methylenblau, Alizarinblau S, Indigotin, indigschwefelsaures Natrium, Indigokarmin, Azolitmin, Hämatoxylin in alkalischer Lösung, Alkannin, essigsäures Rosanilin und selenigsaures Natrium. In Wasser eingeweichte Weizenkeime wurden lebend oder erfroren mit einigen Tropfen Chloroform in große Reagenzgläser hineingetan, und mit einem der genannten Reagenzien übergossen. Die Reagenzgläser wurden dann luftdicht verschlossen. Nach Ablauf von 1—2 Tagen (je nach der Konzentration des betreffenden Farbstoffes) wurde die Lösung entfärbt; nach dem Öffnen der Reagenzgläser kam eine Oxydation zustande, und die Lösungen nahmen wieder ihre ursprüngliche Farbe an. Eine durch Bakterien reduzierte farblose Lösung des selenigsauren Natriums scheidet metallisches

1) EHRlich, Das Sauerstoffbedürfnis des Organismus. Eine farbenanalytische Studie. 1885.

2) BEYERINCK, Archives Néerlandaises, série II, tome IX, 1904, p. 131.

3) E. BUCHNER, H. BUCHNER und M. HAHN, Zymasegärung, 1903, S. 341.

4) REY-PAILHADE, Comptes rendus. 106, p. 1683; 118, p. 1201; Comptes rendus de la société de biologie. 48, p. 479; 49, p. 334, 519, 670; 50, p. 372, 1153. POZZI-ESCOT, Etat actuel de nos connaissances sur les oxydases et les reductases. Paris. 1902.

Selen als roten Niederschlag aus¹⁾. Weizenkeime erzeugten ebenfalls eine orangefarbene Fällung in großer Menge.

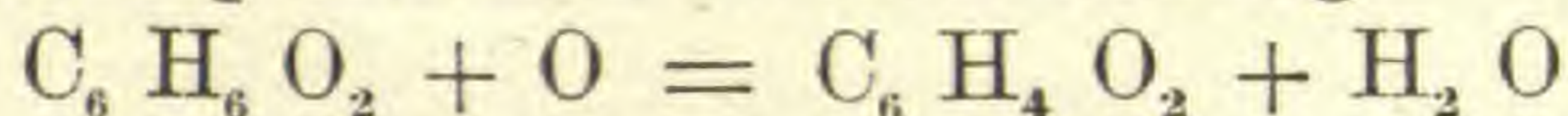
Durch obige Versuche mit Farbstoffen wird die Anwesenheit der Reduktasen in Samenpflanzen festgestellt. Diese Enzyme reduzieren die Atmungspigmente und dürfen also bei dem Studium der Atmungs- und Gärungsprozesse nicht außer acht gelassen werden. Auch ist es ersichtlich, daß beide genannten Prozesse bedeutend komplizierter sind, als es auf Grund der bis heute bekannt gewordenen Tatsachen der Fall zu sein schien.

Bei dem Atmungsprozesse werden Oxydasen, Atmungspigmente, Reduktasen, Katalase und anaerobe Enzyme (Zymase und andere) in Mitleidenschaft gezogen. Der primäre Grundprozeß ist bei Pflanzen, ebenso wie bei Tieren, eine anaerobe Spaltung komplizierter organischer Verbindungen in einfachere Körper. Dieser Prozeß wird durch besondere anaerobe Enzyme hervorgerufen. Von den anaeroben Prozessen ist bei Samenpflanzen die Alkoholgärung am meisten verbreitet. In der Hefe wird Zuckerspaltung nicht durch Zymase allein bedingt, denn Reduktase und Katalase sind in Hefe reichlich vorhanden und bleiben freilich nicht ohne Einfluß auf den anaeroben Spaltungsprozeß des Zuckers unter Bildung von Kohlensäure und Äthylalkohol. Nicht nur in lebender Hefe, sondern auch in käuflichem Zymin habe ich immer Reduktase und Katalase in großen Mengen gefunden. Reduktasen sind anaeroben Enzymen beizuzählen, denn sie werden besonders häufig bei Organismen aufgefunden, die einen mehr oder weniger beträchtlichen Teil ihres Lebens bei Sauerstoffmangel verbringen, namentlich bei Hefe und Bakterien. Ebenso ist Katalase ein anaerobes Enzym, denn sie findet sich auch in sehr beträchtlicher Menge in anaeroben Organismen.

Bei Sauerstoffzutritt werden die Spaltungsprodukte des anaeroben Stoffwechsels weiter oxydiert. Es bleibt noch dahingestellt, ob nur fertige Spaltungsprodukte (wie z. B. Alkohol) der Oxydation anheimfallen, oder ob bei Sauerstoffzutritt überhaupt kein Alkohol gebildet wird, indem anderweitige Zwischenprodukte oxydiert werden. Diese Oxydation muß ebenfalls unter Mitwirkung der Reduktasen stattfinden. Den Zusammenhang der Oxydationsprozesse stelle ich mir folgendermaßen vor: Der molekulare Sauerstoff wird durch Oxydasen (Lakkase, Tyrosinase, Peroxydase) nur

1) SCHEURLLEN, Zeitschrift für Hygiene. XXXIII. 1900. S. 135.
KLETT, ibid. S. 137.

auf Chromogen übertragen. Dadurch wird die Rolle der Atmungsoxydasen erschöpft. BERTRAND¹⁾ hat nachgewiesen, daß das Oxydationsvermögen der Pflanzenoxydasen sehr beschränkt ist. Es ist dabei bemerkenswert, daß auch solche Stoffe, deren Oxydation durch die Oxydase möglich ist, niemals zu CO₂ und H₂O verbrannt, sondern nur unvollständig oxydiert werden; das Endprodukt dieser Oxydation scheint immer ein gefärbter Körper, d. h. ein Pigment, zu sein. So wird z. B. Hydrochinon nur zu rotem Chinon oxydiert, unter Sauerstoffabsorption und Wasserbildung:



Pyrogallal wird nur zu rotem Purpurogallin oxydiert. Eine durch unvollständige Oxydation verschiedener organischer Verbindungen entstehende Pigmentbildung liegt allen Farbenreaktionen der Oxydasen zugrunde. Die Atmungsoxydasen sind als pigmentbildende Enzyme aufzufassen. Sie absorbieren molekularen Sauerstoff und übertragen ihn alsdann auf die Atmungschromogene.

Die Atmungspigmente sind in lebenden Pflanzen als farblose Chromogene enthalten. Zum Nachweis der Atmungspigmente ist eine Steigerung der Oxydationsprozesse oder Hemmung der Reduktionsprozesse erforderlich (weiße Zuckerrübe, Kartoffelknollen). Da das fragliche Pigment ein Abbauprodukt der Eiweißkörper ist, so muß bei den vielen zu untersuchenden Pflanzen eine weitgehende Eiweißspaltung durch Selbstverdauung stattfinden (Weizenkeime). Es gibt noch eine Kategorie der Pflanzen, die selbst nach erfolgter Selbstverdauung beinahe farblose Säfte liefern, denen die Oxydation der betreffenden Chromogene durch Peroxydase allein nicht möglich ist: es bedarf dazu noch der Anwesenheit von einem Superoxyd. Nach Zusatz des Wasserstoffsuperoxyds tritt Rotfärbung ein (gewöhnliche Lauchzwiebeln). Die Pigmentbildung wird unter Umständen durch schwach alkalische Reaktion der Flüssigkeit befördert.

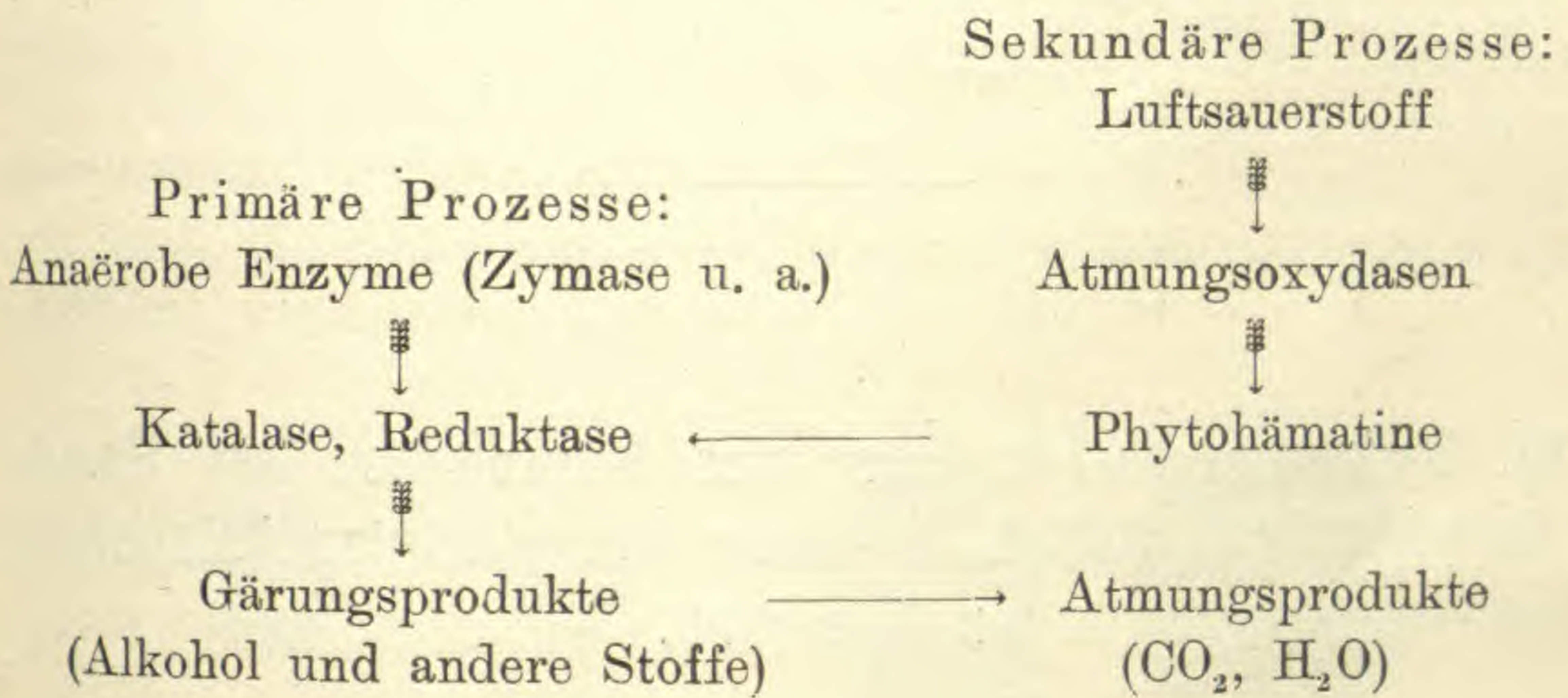
Zu den Atmungspigmenten sind auch verschiedene in den Pflanzen vorkommende Farbstoffe beizuzählen. Verschiedene Farbstoffe höherer Pilze²⁾ gehören zweifellos zu den Atmungspigmenten: eine derartige Vermutung wurde z. B. von NADSON ausgesprochen. Zu derselben Kategorie gehören auch die Flechtenfarbstoffe. Von den Samenpflanzen sind die sogenannten Indigopflanzen zu berücksichtigen.

1) G. BERTRAND, Comptes rendus t. 122, 1896, p. 1132.

2) ZOPF, SCHENK's Handbuch d. Botanik. IV. 1890, S. 418. NADSON, Die Pigmente der Pilze, 1891 (russisch).

Sämtliche Atmungspigmente der Pflanzen schlage ich vor, ohne Rücksicht auf deren chemische Struktur, als *Phytohämatine* zu bezeichnen; dadurch wird die Identität ihrer physiologischen Bedeutung mit derjenigen des *Bluthamätins* hervorgehoben.

Auf Grund der oben entwickelten Anschauungen wird der Atmungsprozeß der Pflanzen durch folgendes Schema dargestellt.



Auf diese Weise wird die Lehre von einheitlicher Atmung der Pflanzen und der Tiere aufgestellt. Es ist zwar bis heute die Ansicht vorherrschend, daß bei höheren Tieren der molekulare Sauerstoff unmittelbar durch das *Hämochromogen* resorbiert und zur Bildung des *Hämätins* verwendet wird; nachdem aber Oxydasen im Blute aufgefunden worden waren, scheint es wahrscheinlicher zu sein, daß der molekulare Sauerstoff durch Oxydasen auf das *Hämochromogen* übertragen wird. BREDIG schreibt: „Das Oxyhämoglobin spielt also bei den Oxydationen im Blutlauf nicht die Rolle des Sauerstoffkatalysators, sondern nur die des Sauerstoffspeichers, wie etwa das Wasserstoffsperoxyd bei der Oxydation des Indigos. Die eigentlichen Sauerstoffüberträger sind nach dem heutigen Stande der Forschung die neben dem Oxyhämoglobin vorhandenen Oxydationsfermente, welche im Stroma und in den Geweben enthalten sind und welche dieselbe Rolle spielen, wie das katalysierende Platin bei der Oxydation des Indigos“¹⁾. Niedere Tiere stehen den Pflanzen noch näher²⁾; das Blut der niederen Tiere ist an und für sich farblos, nur bei Luftzutritt wird es, gewiß unter Mitwirkung der Oxydasen, gefärbt. Auch sind die Blutfarbstoffe der niederen Tiere, ebenso wie diejenigen der

1) BREDIG, Anorganische Fermente, 1901, S. 87.

2) O. VON FÜRTH, Vergleichende chemische Physiologie der niederen Tiere. Jena. 1903. S. 43.

Pflanzen, verschiedenartig gefärbt und zusammengesetzt. Danach halte ich die Annahme für wohl berechtigt, daß der Zellsaft der Pflanzen als Pflanzenblut betrachtet werden kann.

Eine ausführliche Mitteilung über die Atmungspigmente der Pflanzen und der Tiere wird in der „Zeitschrift für physiologische Chemie“ erscheinen.

St. Petersburg, Pflanzenphysiologisches Institut der Universität.

16. W. Sukatscheff: Über das Vorkommen der Samen von *Euryale ferox* Salisb. in einer interglazialen Ablagerung in Russland.

(Mit 6 Textfiguren.)

(Eingegangen am 14. Februar 1908)

Im Sommer des Jahres 1906 machte ich bei der Untersuchung der interglazialen Ablagerung bei Lichwin im Gouvernement Kaluga den Fund zweier Samen, die zu bestimmen keineswegs gelang. Der größere von den beiden Samen erinnerte etwas an den Kern eines *Prunus*, der kleinere aber besaß ein so eigentümliches Aussehen, daß ich ihn Dr. C. A. WEBER, dem bekannten Spezialisten für fossile diluviale Pflanzen zu senden beschloß. Herr Dr. C. A. WEBER, welcher in zuvorkommendster Weise sich bereit erklärte, die Bestimmung zu übernehmen, kam zu dem Ergebnis, daß der ihm gesandte Same der Form und dem Bau nach wohl in verwandtschaftlicher Beziehung zu den Samen der ostasiatischen *Euryale ferox* Salisb. stehe, jedoch aber in Rücksicht auf bedeutende Abweichungen als eine besondere, jetzt ausgestorbene, von ihm *Euryale europaea* nov. sp. foss. benannte Art anzusehen sei¹⁾.

Das Interesse, das Dr. C. A. WEBERs Bestimmung mir einflößte, bewog mich, mir (aus dem Kaiserlichen St. Petersburger Botanischen Garten) in Peking gesammelte Samen von *Euryale ferox* Salisb. zu verschaffen; eine vergleichende Untersuchung ergab große Ähnlichkeit dieser Samen mit dem größeren in Lichwin gefundenen.

1) C. A. WEBER. *Euryale europaea* nov. sp. foss. Berichte der Deutschen botanisch. Gesellschaft. 1907. Bd. XXV, Heft 3.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: [26a](#)

Autor(en)/Author(s): Palladin Wladimir Iwanowitsch

Artikel/Article: [Das Blut der Pflanzen. 125-132](#)