

Die Atmung der Pflanzen.

Beiträge nach eigenen Versuchen im pflanzenphysiologischen Institute
der Wiener Universität.

Von

Dr. Joh. Hruby,

Wien, k. k. Gymnasiallehrer.

Mit 3 Abbildungen im Text.

Es gibt im gesamten Gebiete der Pflanzenphysiologie wohl kaum ein gleiches Beispiel, daß zwei Prozesse, die anscheinend einander direkt entgegengesetzt sind, doch die weitgehendsten Beziehungen zu einander aufweisen; demzufolge werden wir nicht überrascht sein, wenn in wissenschaftlichen Werken und Aufsätzen fast stets bei Besprechung des einen Prozesses Analogien bei dem anderen sich auffinden lassen. Diese beiden so merkwürdigen Prozesse sind Atmung und Kohlensäureassimilation, und einige interessante Ergebnisse, die Herr Prof. Molisch bei Versuchen über CO_2 -Assimilation mit Zuhilfenahme der Leuchtbakterienmethode erzielte und die er in einem kleinen Aufsätze ¹⁾ niederlegte, gaben die Veranlassung zu vorliegender Arbeit. Er wollte beweisen, daß die CO_2 -Assimilation auch außerhalb der Pflanze bei Gegenwart von Chlorophyll stattfindet, und verwendete hierzu die aus Blättern durch Verreiben mit Wasser oder durch Pressen gewonnenen, am Filterpapier aufgefangenen Reste und das Filtrat. Wirklich ließ sich O-Ausscheidung in allen Fällen konstatieren, in denen das grüne Filtrat des Blattgereibsels oder des Preßsaftes Plasmateile und Chlorophyllkörper enthielt, sonst nicht. Es war damit erwiesen, daß die Kohlensäureassimilation unabhängig von der lebenden Zelle vor sich gehen kann. Von Bedeutung ist nun die von Molisch gemachte Wahrnehmung, daß auch die bei niederen Temperaturgraden getrockneten Blätter gewisser Pflanzen, z. B. *Lanium*, mit Wasser verrieben und filtriert, eine wenn auch schwächere O-Ausscheidung

¹⁾ Molisch, Über Kohlensäureassimilationsversuche mittelst der Leuchtbakterienmethode. (Bot. Zeit. 1904. Heft I.)

als das Filtrat frischer, nach ihm lebender Blätter wahrnehmen lassen (postmortale CO_2 -Assimilation), und erklärt sich das Ausbleiben derselben in den übrigen Fällen durch andere, nebenher verlaufende Vorgänge, welche die Reaktion verhindern. Aus dem nach einiger Zeit eintretenden Verluste der Fähigkeit, O zu entbinden, schließt er auf einen sehr empfindlichen Körper, vielleicht ein Ferment, das die CO_2 -Assimilation auch außerhalb der Zelle vermittelt. Analoge Vorgänge hatte man auch bei der Atmung beobachtet, und kreuzten sich die Ansichten der Physiologen vorzüglich in der Frage nach dem Vorhandensein einer postmortalen Atmung. Man glaubte vielfach die Sache mit der Annahme abzutun, daß durch das Trocknen das Blatt getötet würde, Verbrauch an O in diesen Fällen der gewöhnlichen Oxydation zuzuschreiben sei (Pfeffer, Jost u. a.). Es ist begreiflich, daß damit nichts gewonnen ist, umso mehr, als in zahlreichen Versuchen mit getrockneten Blättern unbedingt sich eine Kohlensäureabgabe nachweisen läßt, und es handelte sich nun darum, eine Erklärung hierfür zu erbringen. Mein hochverdienter Lehrer, Herr Hofrat D. Jul. Wiesner, schon lange mit der Sache beschäftigt, aber zufolge der durch seine Vielseitigkeit auf dem Gesamtgebiete der Botanik veranlaßten Überladung mit Arbeit an der Ausführung der zahlreichen, zeitraubenden Versuche verhindert, beehrte mich mit dieser Arbeit und stand mir in seiner gewohnten Liebenswürdigkeit mit Rat und Tat zur Seite, wofür ich mir hier den geziemenden Dank auszusprechen gestatte. Von meinem Plane, die Literatur über das gewählte Kapitel möglichst zu erschöpfen, ging ich deshalb ab, da dies in den größeren Werken bereits getan wurde. Überdies bediene ich mich zum Beweise meiner Resultate und Anschauungen der Worte berühmter Meister, was entschieden wirksamer ist als die sonst geübte bloße Umschreibung mit eigenen Worten.

Um einen Plan in die vorliegende Arbeit zu bringen, sei es mir gestattet, vorerst die Versuche vorzuführen, und anknüpfend an dieselben mich über das gewählte Thema zu verbreiten.

1. Kapitel. Versuche.

Die Versuche wurden im Dunkeln mit Blättern angestellt. Die annähernd gleich beschaffenen Blätter einer Pflanzenart wurden in 3 Partien zu je 8 g geteilt und die eine (A) sofort in eine Absorptionsröhre gefüllt und über Kalilauge aufgestellt, während die zweite (B) zunächst an der Sonne völlig lufttrocken gemacht und hierauf auf das ursprüngliche Gewicht mit Leitungswasser angefeuchtet gleichfalls eingefüllt und aufgestellt wurde; dieselbe Prozedur machte schließlich auch die dritte Partie (C) durch, nachdem sie vorher auf 120°C erhitzt worden war. Die Absorptionsröhren waren von gleichem Rauminhalt; indem die ausgeschiedene Kohlensäure von KOH aufgenommen wurde, stieg die Lauge entsprechend der Kohlensäureabgabe der Blätter empor. Da sich dabei einige Unbequemlichkeiten in der Messung der Steighöhen ergaben, stellte ich in der Folgezeit die Röhren zuerst über Quecksilber auf und

beobachtete, hob nach 12 Stunden dieselben in die über dem Quecksilber stehende Lauge, welche alsbald aufstieg. Nachdem die Steigung einen stationären Zustand eingenommen hatte, wurde die Marke angebracht und dann weiter beobachtet; gleichzeitig wurde auch die Temperatur abgelesen. Da die Pflanzen angefeuchtet in das Gefäß kamen, so befanden sie sich fortwährend im dunstgesättigten Raume und bewahrten ihren Turgor auch während der relativ langen Beobachtungszeit fast unverändert. Ich brauche wohl kaum hinzuzufügen, daß jeder Versuch mehrmals (zumeist 3 mal) wiederholt wurde.

Im Anschlusse daran führte ich die bezeichneten Versuche (A, B und C) auch mit Ätherisierung (entsprechend D, E und F) durch; zu diesem Zwecke verwendete ich 2 l fassende Glaszylinder, welche durch geschliffene Glasscheiben unter Zuhilfenahme von Fett gut abgesperrt wurden. In diese Zylinder kamen die Blätter und auf Urschälchen oder mit einem aufgehängten Wattepfropf die bestimmte Äthermenge (0,4—7 g); der Einwirkung des Narkotikums wurden die Blätter 12 h hindurch ausgesetzt. In Fällen, wo sich die Menge des Äthers als zu groß oder zu klein erwies, wurden Abänderungen getroffen und Versuche mit verschiedener Menge desselben gemacht. Von den zahlreichen Versuchen seien hier folgende angeführt:

1. *Lamium purpureum* (ohne Blattstiele, ausgewachsene Blätter).

		nach 12 h Zuwachs		nach 24 h				
{	A	11,7	. . . . .	5,9	. . . . .	17,6	D . . . 4,4 (1,1) 5,5 ccm ³ Lauge	
	B	11,3	. . . . .	3,5	. . . . .	14,8		E . . . 2,0 (0,6) 2,6 auf-
	C	9,4	. . . . .	2,9	. . . . .	12,3		F . . . 1,8 (0,3) 2,1 gestiegen

Temperatur: 22—24° C (im Schatten).

Diese Versuche ließen sich leicht durchführen, da die Blätter der Taubnessel gegen Fäulnis mehr widerstandsfähig sind als die des Spinats, welche zufolge ihrer fleischigen Konsistenz minder tauglich, zufolge ihrer großen Atemenergie jedoch besonders instruktiv sich bewährten. Wenn ich mich bei dieser Pflanze wie oben nur auf Anführung des einen Versuches beschränke, so geschieht dies deshalb, da die Abweichungen gering waren und ihre Ursache in der Verschiedenheit der Blätter (Größe, Zahl, Alter) hatten; junge Blätter atmen bekanntlich energischer als ältere.

2. *Spinacea oleracea* (ohne Blattstiele).

		nach 12 h Zuwachs		nach 24 h				
{	A	23,7	. . . . .	1,1	. . . . .	24,8	D . . 19,2 (0,8) 20,0 ccm ³ Lauge	
	B	14,0	. . . . .	0,6	. . . . .	14,7		E . . 12,8 (0,4) 13,2 auf-
	C	12,1	. . . . .	0,5	. . . . .	12,6		F . . 12,6 (0,2) 12,8 gestiegen.

Temperatur: 24° C (im Schatten).

3. *Eupatorium Adenophorum* (ohne Blattstiele).

a) Versuch im Sommer 1905 (Temp.: 22—24° C im Schatten).

{	A	12,3	. . . . .	5,8	. . . . .	18,1	D 11,2 (3,7) 14,8 ccm ³	
	B	10,3	. . . . .	4,1	. . . . .	14,4		E 8,8 (2,0) 10,8
	C	5,8	. . . . .	2,6	. . . . .	8,4		F 6,5 (1,1) 7,6

b) Versuch im Herbst 1905 (Temp.: 14—18° C im Schatten).

{	A	12,0	4,8	16,8	|	D	9,9 (2,5)	12,4	ccm ³
	B	9,6	3,6	13,2		E	4,7 (1,9)	6,6	
	C	4,8	2,1	6,9		F	1,6 (0,7)	2,3	

Nach diesen beiden (mehrfach durchgeführten) in der bezeichneten Weise angestellten Versuchen änderte ich die als C bezeichneten derart ab, daß ich die bei 120° getrockneten Blätter in die sterilisierte Röhre brachte und hierauf die Blätter mit Wasserdampf auf ihr ursprüngliches Gewicht anfeuchtete; die Röhre wurde vorher und nach Abkühlung gewogen und so das Gewicht bestimmt. Erst nach Abkühlung wurde die Röhre aufgestellt und es stieg nach 24 h in zwei Fällen die Kalilauge um 4,9 ccm³, in einem um 4,8 ccm³ empor:

C nach 24 h 4,8 bis 4,9 ccm³.

Ferner verfuhr ich in gleicher Weise mit Blättern, die bei 360° getrocknet wurden; nach 12 h war die Kalilauge um 0,7 ccm³, nach 36 h um 2,3 ccm³ gestiegen, was in mehreren Fällen sich wiederholte. Dagegen blieb bei veraschten Blättern dieser Effekt gänzlich aus: die Kalilauge stieg nicht auf.

Noch eine Reihe von weichblättrigen Pflanzen, wie *Lolium*, *Philadelphus*, *Papaver*, *Taraxacum* u. a. wurden untersucht und schließen sich hinsichtlich der Resultate enge an die beiden ersten Versuche an. *Phaseolus*blätter bereiten durch verschiedenen Charakter zahlreiche Schwierigkeiten; auch hier zeigten die jüngeren, zarten Blätter lebhaftere Atmung als die derberen älteren.

- Wie wichtig es ist, zu jedem Versuche stets frische Blätter bereit zu halten, ersah ich an dem ledrigen Laube des Lorbeerbaumes.

4. *Laurus nobilis*.

a) frisch gepflückt:

{	A	14,2	3,5	17,7	|	D	6,2 (2,3)	8,8	ccm ³
	B	9,5	2,8	12,3		E	2,4 (0,9)	3,3	
	C	5,2	1,1	6,3		F	1,2 (0,8)	2,0	

b) die Blätter lagen 14 Tage im Kalthause:

{	A	13,9	1,1	15,0
	B	9,9	0,9	18,8
	C	2,4	0,2	2,6

c) eine Woche später:

{	A	10,6	1,8	11,4
	B	8,0	1,5	9,5
	C	2,0	0,3	2,3

Eine sehr weitgehende Ähnlichkeit hiermit zeigten in der Folgezeit Versuche mit den ledrigen Blättern anderer Pflanzen: *Buxus*, *Hedera* u. ä.

Wenn wir unbefangen die Resultate dieser Versuche betrachten, so müssen wir eine Abnahme der Menge aufsteigender Kalilauge mit dem Grade der Austrocknungstemperatur, eine Steigerung derselben bei den frisch eingefüllten Blättern mit erhöhter Temperatur

und im Aufsteigen derselben selbst bei Blättern, die unter 360° getrocknet wurden, konstatieren. Der Einblick in die Vorgänge, welche sich in den einzelnen Versuchen abspielen, wird uns aber erst im Laufe der nachfolgenden Betrachtung des Atmungsprozesses klar werden.

2. Kapitel. **Atmung.**

Der Begriff Atmung kann allgemein gleich gesetzt werden der Gewinnung der dem Organismus nötigen Betriebsenergie; es bleibt sich dabei ganz gleich, wie und woraus diese Energie gewonnen wird. Zunächst versteht man unter Atmung jenen Prozeß, bei welchem der Sauerstoff zur Oxydation organischer Körper in der Pflanze aufgenommen (veratmet) und Kohlensäure abgegeben (ausgeatmet) wird, also den entgegengesetzten Vorgang der Kohlensäureassimilation. Der zur Oxydation notwendige Sauerstoff wird, und das ist normalerweise der Fall, aus der umgebenden Luft genommen, oder es wird der an organische Verbindungen in der Zelle gebundene Sauerstoff zur Kohlensäurebildung aufgebraucht. Man unterscheidet darnach die äußere oder gewöhnliche und die innere oder intramolekulare Atmung; erstere wird auch Sauerstoffatmung (aërobe A.), letztere zufolge der sich bei dem Prozesse abspielenden Spaltungsvorgänge Spaltungsatmung (anaërobe A.) genannt. Intramolekular, sagt man, atmet die Pflanze, sobald ihr der O der Luft entzogen wird; meist steht diese Atmung an Energie der normalen Atmung weit nach und nimmt mit dem allmählichen Schwinden des nötigen Atmungsmaterials in der Zelle stetig ab, womit auch die Pflanze abstirbt.

Eine Unterscheidung der normalen Atmung von der intramolekularen glaubt unter anderen Pfeffer¹⁾ damit herbeizuführen, daß er die Produkte, welche in beiden Fällen entstehen, miteinander vergleicht, gibt jedoch zu, daß beide von denselben primären Ursachen abhängen, welche offenbar in der Lebenstätigkeit des Protoplasma liegen. Beide haben das gleiche Endziel, die Erhaltung des Lebens, erstere bei normalen Bedingungen, letztere bei mangelhafter oder fehlender Sauerstoffzufuhr. Es wäre sicher nicht schwer, den engen Zusammenhang beider sich klar zu machen, wenn man die einzelnen Phasen beider Prozesse näher kennen würde. Nachweisbar²⁾ findet sich innerhalb der Zelle wohl kaum freier Sauerstoff selbst in sehr geringer Menge vor, und man ist zu der Annahme berechtigt, daß der neutrale Sauerstoff durch die im Protoplasma entwickelten Sauerstoffaffinitäten in den Stoffwechsel ohne vorhergehende Aktivierung einbezogen wird. Auf Grund der mit Hinblick auf die nur geahnte weitgehende Verkettung der einzelnen Lebensprozesse freilich nicht völlig beweiskräftigen Tatsache keineswegs gegen alle Körper des Plasmas gerichteten Oxydationswirkung²⁾ müssen wir in der Pflanzenzelle bestimmte Körper

¹⁾ Pfeffer, Über intramolekulare Atmung.

²⁾ Pfeffer, Über Oxydationsvorgänge in der lebenden Zelle. (Ber. d. D. Bot. Ges. Bd. VII. 1889. Heft 2.)

als fortwährend die Atmung besorgende Faktoren annehmen. Diese „autoxydabeln“ Substanzen können nun entsprechend der Pflanzenart oder dem Organe sehr verschiedener Natur sein, da dem Plasma verschiedener Pflanzen und -teile auch eine verschiedene Konstitution zukommt; sicherlich sind dieselben Stoffe in der einen Pflanze leichter, in der anderen schwerer oxydierbar, stets müssen wir aber die nicht in den Atmungsprozeß hineingerissenen anderen oxydablen Verbindungen hierbei außer Acht lassen, die durch besondere Einrichtungen des Plasmas vor der Wirkung des freien Sauerstoffs geschützt werden. Es sind nun zwei Fälle möglich: Entweder sind die autoxydablen Verbindungen oder Stoffe stets in solcher Menge vorrätig, daß sie die Atmung in ausreichendem Maße bestreiten können oder sie vermitteln die Veratmung von unter sonstigen Bedingungen schwer oxydablen Verbindungen. Beides dürfte in der Zelle realisiert sein und zwar entweder getrennt oder gleichzeitig auftretend, je nachdem es der spezifischen Beschaffenheit entspricht. Ersteres wird verständlich, wenn wir wie z. B. bei den Succulenten sehen, daß trotz des Überschusses von Sauerstoff organische Säuren, also noch weitere oxydable Körper entstehen; auch ohne Zerkümmerung von Kohlenstoffverbindungen und anderen organischen Gebilden ist Oxydation möglich, indem von der Zelle fortwährend oxydable Körper erzeugt werden, die der Atmung anheimfallen. Bezüglich der „bradoxydabeln“ Substanzen ist man wohl berechtigt anzunehmen, daß sie den verschiedensten Kategorien angehören können; trotzdem läßt sich nachweisen, daß auch von diesen nur ganz bestimmte jeweilig im Atmungsprozesse zerstört werden, was sich gleichfalls nach der Natur des Plasmas richtet. Damit sind wir aber genötigt, den autoxydabeln Substanzen, welche den Spaltungsprozeß einleiten, einen spezifischen Charakter beizulegen; es ist dies um so mehr berechtigt, als wir offenbar nicht im Sauerstoff die primäre Ursache der Atmung zu suchen haben, sondern in den vom lebenden Plasma gebotenen Dispositionen.¹⁾ Die Natur der autoxydabeln Substanzen ist vielfach gedeutet worden. In einfacher und vorzüglicher Weise spricht sich Wiesner²⁾ in dieser Hinsicht aus: „Entweder werden durch die Einwirkung von Fermenten die zu veratmenden Substanzen in einen Zustand versetzt, in welchem sie leichter oxydierbar sind, oder es werden durch den Chemismus des lebenden Protoplasma fortwährend Substanzen erzeugt, die den Sauerstoff begierig an sich ziehen“. Auch hier wird es sich beweisen lassen, daß beide Fälle innerhalb der Zelle getrennt oder vereint stattfinden können. Auf Grund der bisher erzielten Resultate ist anzunehmen, daß in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Atmung durch Vermittelung von Enzymen, welche das Protoplasma erzeugt, erfolgt. Immer mehr dringt die Ansicht durch, daß man es hier, ähnlich wie bei den übrigen Lebensprozessen des Organismus, mit katalytisch wirkenden Elementen, mit Enzymen zu tun habe, die man Oxydasen nannte, und welche den Sauerstoff der autoxy-

¹⁾ Pfeffer, Lehrbuch der Physiologie, I. 7. Atmung.

²⁾ Wiesner, Elemente der wissensch. Bot. I, S. 247. Wien 1898.

dabeln Substanzen an die „bradoxydabeln“ übertragen; die Autoxydation erfolgt unter Vermittelung des Plasma (Pfeffer). Die Enzyme, die Träger der chemischen Umsetzung in der Zelle, sind Katalysatoren kolloidaler Beschaffenheit und ändern als solche das Tempo der Reaktion, verschieben jedoch niemals den endlichen Gleichgewichtszustand, wirken schon in sehr kleinen Mengen in sehr energischer Weise und erscheinen niemals in den Endprodukten der Reaktion. Daß man Fermenten noch bestimmte Eigenschaften zuschreibt, wie Zerstörbarkeit durch Hitze und dergleichen, welche den übrigen Katalysatoren an sich nicht zukommen brauchen, erklärt sich zum Teil aus der kolloidalen Natur derselben und steht im Zusammenhange mit den Leistungen, welche sie durchzuführen haben. Wichtig ist die Erscheinung, daß Enzymlösungen durch starke Beleuchtung rasch zerstört werden, was im Vakuum nicht der Fall ist; es dürfte sich dabei also um Oxydationsvorgänge handeln.¹⁾ Dies ist für die Natur der Oxydasen von größter Bedeutung, da wir so den sichersten Beleg für ihre Wirksamkeit gewinnen. Bei den Fermentwirkungen handelt es sich um Kontaktwirkungen; die fermentativen Stoffe finden sich wahrscheinlich in ungemein feiner Verteilung zwischen den Molekeln der anderen Verbindungen der Zelle und übertragen sofort den aufgenommenen O auf die letzteren, weshalb dieser nirgends frei in der Zelle vorkommt. Sowie nun für die anorganischen Verbindungen oxydierend-katalytischer Natur vielfache Förderung durch Schwermetallsalze beobachtet wurde, so dürfte auch die Wirkung der Oxydasen durch solche Verbindungen oder ähnliche Stoffe, welche den O der Luft an sich reißen, befördert werden, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß dem für die Pflanzenwelt so wichtigen Eisen dabei eine wichtige Rolle zufällt.²⁾ Doch können die Enzyme ebenso durch bestimmte Stoffe, katalytisch wirkende Säuren, durch Anwesenheit bestimmter Verbindungen geschützt, ja ihre Wirkung durch sogenannte Autoxydasen herabgesetzt bis vernichtet werden. Wird ein Vorgang beschleunigt, so muß das im selben Sinne auch bei dem ihm entgegengesetzten geschehen, sodaß ein Gleichgewichtszustand eintritt, die Reaktion also nicht zu Ende geht.³⁾ Dies ist wichtig für jene Fälle, wo die Atmungsbedingungen nicht dieselben bleiben; denn während gewöhnlich nur so viel O verbraucht wird, als von der oxydabeln Substanz benötigt wird und zufolge der Einrichtungen aufgenommen werden kann, muß bei reichlicher Zufuhr von O die Wirksamkeit der Oxydasen herabgesetzt, bei mangelhafter Zufuhr jedoch erhöht werden. Wie bekannt, steigert sich die Wirksamkeit der Oxydasen mit Erhöhung der Temperatur bis zu einem Optimum, auf das ein verhältnismäßig rasches Fallen derselben folgt; auch

¹⁾ Czapek, Biochemie der Pflanze. Jena 1905. 2. Kap.: Osswald. Z. Ph. S. 17438 und 34510.

²⁾ Wiesner, Entstehung des Chlorophylls. Wien 1877. S. 23 u. f.; Molisch. Die Pflanze in ihrer Beziehung zum Eisen. Jena 1892; Erico Pantanelli. Abhäng. der Sauerstoffausscheidung belichteter Pflanzen von äußeren Bedingungen. (Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 39. Heft 2.)

³⁾ Ostwald, l. c.

in diesen Fällen sind Einrichtungen in der Zelle getroffen, welche den Vorgang in passender Weise regeln.¹⁾ Da nun die Wirkung der Enzyme durch die Reaktion des Mediums, sowie durch Beigabe von Stoffen beschleunigt oder verlangsamt wird, so vermag die Pflanze auch mit solchen Hilfsmitteln die Aktion der Fermente zu regulieren.²⁾ Es ist bisher kein Versuch gemacht worden, die verschiedenen Einrichtungen zur Regulation der Atmung zusammenfassend zu untersuchen und zu behandeln, obgleich solche tatsächlich bestehen und allgemein angenommen werden.

3. Kapitel. Innere Atmung.

In erster Richtung haben wir die Atmung im Zusammenhange mit dem zur Verfügung stehenden O zu betrachten. Pfeffer³⁾ hat gefunden, daß sich bis zum Verhältnis Luft $\frac{1}{5}$ und Wasserstoff $\frac{1}{5}$ kein merklicher Unterschied gegenüber der Atmung in gewöhnlicher Umgebung zeigte, daß aber die Kohlensäureproduktion erheblich sank, als das im Gasometer hergestellte Gasgemisch aus $\frac{19}{20}$ H und $\frac{1}{20}$ Luft bestand. Wenn wir nun sehen, daß auch bei Luftabschluß die Pflanze eine zeitlang noch Kohlensäure produziert, so muß sich jetzt ein anderer Prozeß in der Zelle abspielen, bei dem gleichfalls Oxydation eintritt. Auch nach Entziehung des O bestehen die O-Affinitäten fort,³⁾ die Enzyme, des neutralen O beraubt, entziehen den Sauerstoff den O-reichen organischen Verbindungen und übertragen ihn an die zu veratmenden Körper, ein Vorgang, der so wie die gewöhnliche Atmung zur Erhaltung des Lebens beiträgt. Der Unterschied zwischen normaler und intramolekularer Atmung beruht also darin, daß mit Entziehung des freien O verwickelte Spaltungsprozesse ganz anderer Natur eintreten als bei Vorhandensein desselben, und daß erstere so lange währt, als das lebende Plasma genügend freien O vorfindet, letztere aber nur bis zu dem Punkte, als die den O liefernden Verbindungen in genügender Menge vorrätig sind; sobald es also in der Zelle an der bestimmten Menge von O mangelt, was durch Zertrümmerung der O-führenden Verbindungen allmählich eintreten muß, hört auch jede Atmung und das Leben überhaupt auf. Daß die Spaltungsatmung wirklich ein Lebensprozeß ist, ist klar, da bei Zufuhr des nötigen O nach einer nicht zu langen O-Entziehung die Pflanze wieder normal atmet. Leicht verständlich wird uns der Übergang von normaler zu innerer Atmung in den in der Natur sich häufig abspielenden Fällen, wo der O-Gehalt der Luft sich ändert und damit auch die Atmungsenergie der Pflanze, wo sicher auch kleine Änderungen bestimmend auf den Organismus wirken werden; entziehen wir jedoch auf einmal der Pflanze den Sauerstoff, so sehen wir graduell die Spaltungsatmung (I) einsetzen, in wenigen Fällen mit derselben Energie (z. B. bei *Vicia Faba*, *Ricinus comm.*, $\frac{I}{N} = 1$)³⁾, zumeist aber mit, wie voraussichtlich, bedeutend niedrigerer Energie, die in extremen

¹⁾ Ostwald, l. c.

²⁾ Czapek, l. c.

³⁾ Pfeffer. Intram. Atmung.

Fällen (*Penicillium gl.*)¹⁾ nahezu auszubleiben scheint (es dürften sich jedoch hierbei andere Prozesse abspielen, die den Atmungsprozeß verdecken; *Penicillium* stirbt nach raschem O-Entzug nicht sofort ab, sondern bleibt noch lange erhalten, was bei Ausbleiben der Atmung nicht der Fall sein könnte). Pfeffer¹⁾ selbst bezeichnet die Atmung durch Spaltung nicht als einen Absterbeprozeß, sondern als Komplex von Prozessen, welche sich unter Bewahrung der vollen Lebensenergie (wenigstens anfangs) in der lebenden Zelle sofort einstellen, sobald der zur normalen Atmung nötige O mangelt. Diese volle Lebensenergie, schreibt er,²⁾ wird freilich nur beschränkte Zeit bewahrt, weil die intramolekulare Atmung zur Erhaltung der vollen Lebensenergie nicht ausreicht, und deshalb bei verlängertem O-Entzug endlich gänzlich Absterben erfolgt; es erfolgt daher im allgemeinen ein ganz allmählicher Rückgang der normalen Atmung und Zunahme der intramolekularen Atmung. Wenn nun die Spaltungsatmung sofort nach O-Entzug gleich einsetzt, so hat dies seinen Grund darin, daß die autoxydablen Stoffe oder die Enzyme mangels freien O die O-reichen Verbindungen der Zelle angreifen, die bis dahin vor der Wirkung der Oxydablen, sei es bloß durch das Vorhandensein freien O in ausreichender Menge, oder durch Autoxydasen geschützt wurden. In einzelnen Fällen geht die Anpassung an Mangel freien O so weit, daß die Organismen auch in reichlichem O nicht mehr zur normalen Atmung gebracht werden (obligate Anaeroben), und daran reihen sich die Fälle von fakultativen Anaeroben, zu denen im gewissen Grade alle übrigen Pflanzen gehören.³⁾ Überhaupt ist auch bei den obligaten Aeroben die Sauerstoffmenge des Atemmediums eine ganz bestimmte (Landpflanzen, Wasserpflanzen, Wurzeln), den natürlichen Verhältnissen entsprechende, und eine überreiche Zufuhr von O führt ebenso wie zu weite Entziehung zum Tode des Individuums. Die Größe der Atmung hängt ab, gleiche äußere Bedingungen vorausgesetzt, von der Art der Pflanze und ihrem Entwicklungszustand;¹⁾ ebenso ist auch das Verhältnis von innerer und äußerer Atmung nicht nur bei verschiedenen Arten, sondern selbst in verschiedenen Wachstumsstadien derselben Pflanze, sowie für verschiedene Temperaturen nicht gleichbleibend.

Während bei den obligaten Anaeroben die Spaltungsatmung die normale ist, stellt dieselbe bei den Aeroben meist einen pathologischen Zustand dar; da die Atmung zu den ersten Grundbedingungen des Lebens gehört,¹⁾ wird die Pflanze wohl solche Vorkehrungen treffen, daß bei mangelnder O-Zufuhr ihr Leben bis zu einer gewissen Grenze gesichert wird, und wenn man ihr längere Zeit hindurch die nötige O-Menge entzieht, so tritt nach Herstellung der ursprünglichen Zustände die normale Atmung nicht sofort mit der ursprünglichen Energie auf, sondern die Pflanze erholt sich erst allmählich, manchmal nach längerer Zeit aus ihrem krypto-

1) Pfeffer. Über intramolekulare Atmung.

2) Pfeffer, Intr. A. S. 638.

3) Wiesner, El. d. wiss. Bot. I, S. 248, Anmerk. 1.

biotischen Leben. Aus der Tatsache, daß die Kohlensäurebildung nach Entziehung des O eine Zeitlang konstant bleibt und erst hernach ein allmählicher Rückgang erfolgt, sowie aus dem entgegengesetzt verlaufenden Vorgange bei Rückkehr der normalen Atmung muß man die innere Atmung als Funktion des lebenden Organismus ansehen.¹⁾ Die Größe der inneren Atmung hängt ab von den zur Atmung verwendeten Stoffen, von deren Reichtum in der Zelle und dem Vorhandensein der sie zerstörenden Fermenten; danach werden sich verschieden hohe Grade der Fähigkeit intramolekularer Atmung ergeben. Wo diese durch die autoxydablen Stoffe allein bestritten wird, müssen letztere fortwährend regeneriert werden, und diese entreißen den O sauerstoffreichen, organischen Substanzen, die vor dem gegen Zerstörung geschützt waren. In diesem Falle wird sowohl durch die Quantität der fermentartig wirkenden Autoxydablen, als auch durch die jeweilige Menge des O-reichen Materials die Atmungsgröße bestimmt. Viel verbreiteter ist sicherlich die Art innerer Atmung, bei der durch Oxydasen die Verbrennung vermittelt wird, welche in ihrer Wirkung durch zahlreiche andere, mit der abnormalen Lebenslage hervorgerufenen Prozesse unterstützt wird; es kommt eben dabei zu weitgehenden Umlagerungen, was auch in den Endprodukten dieser Atmung gekennzeichnet ist. Ist nun genügend Atemmaterial vorhanden, das durch reichlich produzierte Fermente schnell verarbeitet werden kann, so kann die intramolekulare Atmung der normalen an Größe gleichkommen; aus der Art des Atmungsmaterials läßt sich auch ein begründeter Schluß auf die tätigen Enzyme ziehen (*Vicia*, *Ricinus*).²⁾ In anderen Fällen trifft beides in verschieden hohem Grade zu, und demgemäß fällt auch die Größe der Atmung aus; ebenso hängt dieselbe von der Größe der zur Atmung noch hinreichenden Sauerstoffmenge (Minimum von O bei intramolekularer Atmung) ab, die ja für verschiedene Pflanzen verschieden ist. So trägt die intramolekulare Atmung zur Erhaltung des Lebens im O-freien Raume bei, wenn auch unter diesen Bedingungen die Gesamtheit der zur vollen Lebensenergie nötigen Funktionen nicht vollzogen wird, und schon deshalb die Fortdauer des Lebens eine begrenzte sein muß.³⁾

Die intramolekulare Atmung repräsentiert demnach eine Anpassung der Pflanzen an ungünstige Atmungsbedingungen. Normale Atmung, d. i. Atmung bei hinreichender Menge freien Sauerstoffs, und intramolekulare Atmung, d. i. Atmung beim Minimum desselben und von da abwärts, sind die Abschnitte einer für die Pflanze kontinuierlich sich ändernden Reihe von Atmungsgrößen, sobald sich die Luft in bezug auf ihren O-Gehalt ändert. Am besten dürfte nachstehendes Bild das Verhältnis beider wiedergeben. Die eine wird durch die andere substituiert; die innere beginnt, sobald die

¹⁾ Pfeffer, Intr. At. Vergleiche hierzu auch Kap. 5 dieser Arbeit und Molisch, Über Kohlens.-Ass.

²⁾ Besondere Formen der Atmung sind: Vinculationsatm. und Insolationsatm. (Detmer, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, Breslau 1883; 3. Kap. Hier auch Literatur.)

³⁾ Pfeffer, Intr. At.

äußere nicht mehr zureichend ist, und setzt mit voller Kraft bei jeglichem Mangel freien O ein, um mit dem Minimum an gebundenem O (oder an Atemmateriale) zu enden. Die äußere Atmung hat zwei Minima, eines bei zu geringem Prozentgehalt an O in Luft, ein zweites beim Maximum des Prozentgehaltes von O in Luft (für die Pflanze). Der Verlauf der Kurve (ihre Länge und ihre Abstände von der Basis Luft) ist in den einzelnen Fällen wohl stets verschieden und muß empirisch gefunden werden. Ebenso verschieden lang sind die beiden Kurvenabschnitte und die Strecke ihres gemeinsamen Laufes.

Viel schwerer als das Optimum des Prozentgehaltes von O in der Luft ist das der Temperatur für die Pflanze zu ermitteln, da die hierbei betroffenen organischen Verbindungen, in erster Linie die oxydierenden Enzyme, chemisch noch viel zu wenig bekannt

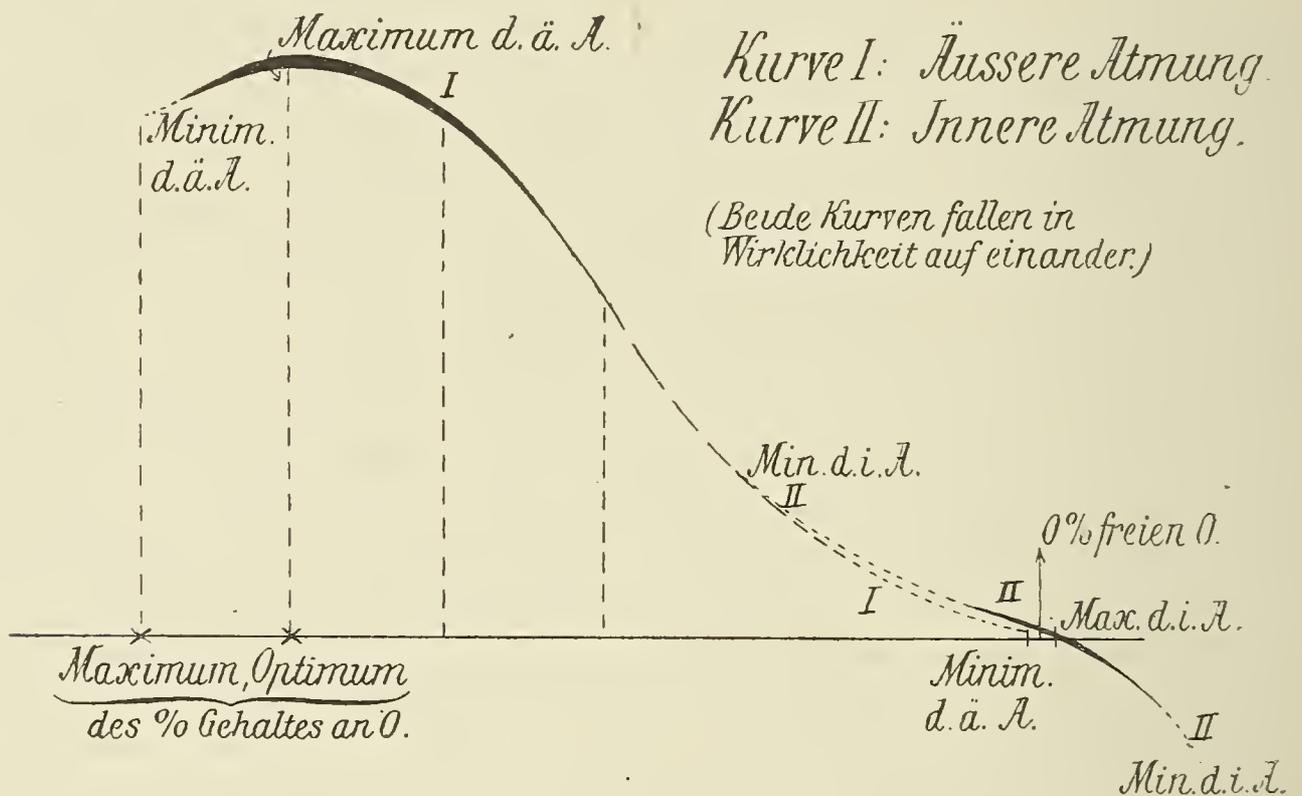


Fig. 1.

sind. Wie in anderen Fällen wird die Pflanze auch solche Einrichtungen getroffen haben, welche diese kolloidalen Substanzen vor ungünstigen Temperatureinflüssen bis zu einem gewissen Grade schützen, und dies um so eher bei einem für sie so hochwertigen Prozesse, wie es die Atmung ist. Während das Wachstum bei Überschreitung seines Temperaturoptimums abnimmt, kann die Atmung bei der gleichen Temperatur noch immer zunehmen und richtet sich zunächst ganz und gar nicht nach dem Wachstum: ihr Optimum liegt sicherlich viel höher, ihre Grenzen sind wahrscheinlich die weitesten aller Lebensprozesse der Pflanze, was aus der hohen Bedeutung derselben für den Organismus resultiert. Stellen wir nun Vergleiche in bezug auf Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturschwankungen zwischen den Hauptfaktoren dieser Prozesse an, so sind wir berechtigt anzunehmen, daß für die Oxydasen ein höheres Optimum und tieferes Minimum der Temperatur bestehen wird; ebenso wird das Gleiche für die enzymatisch

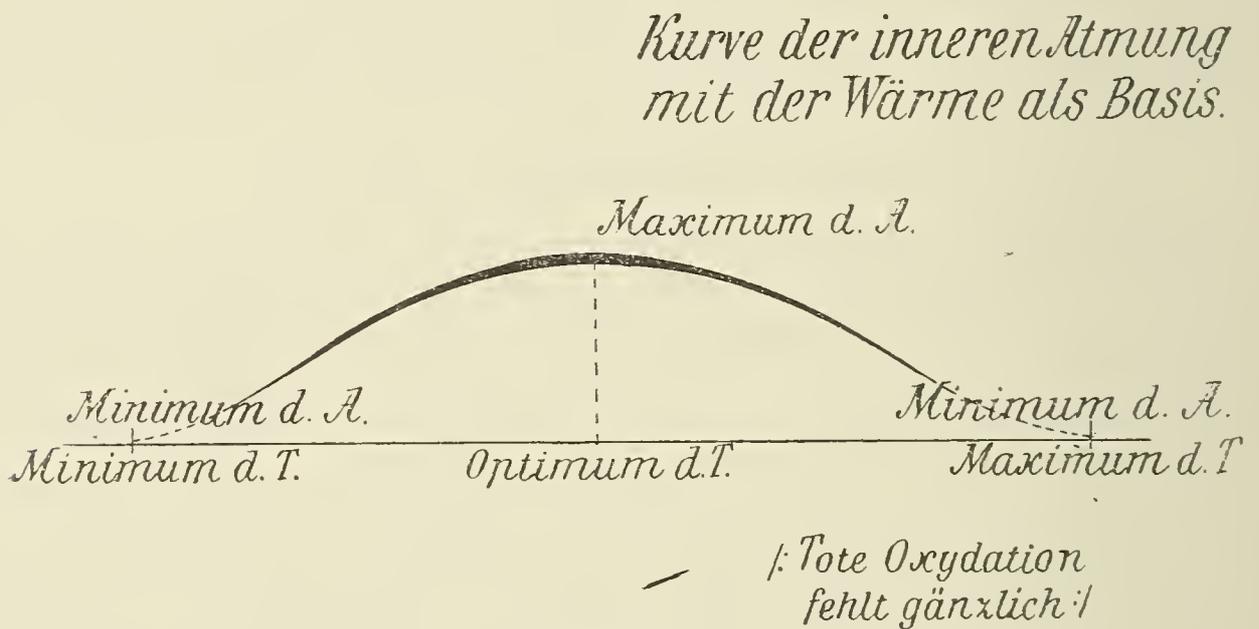
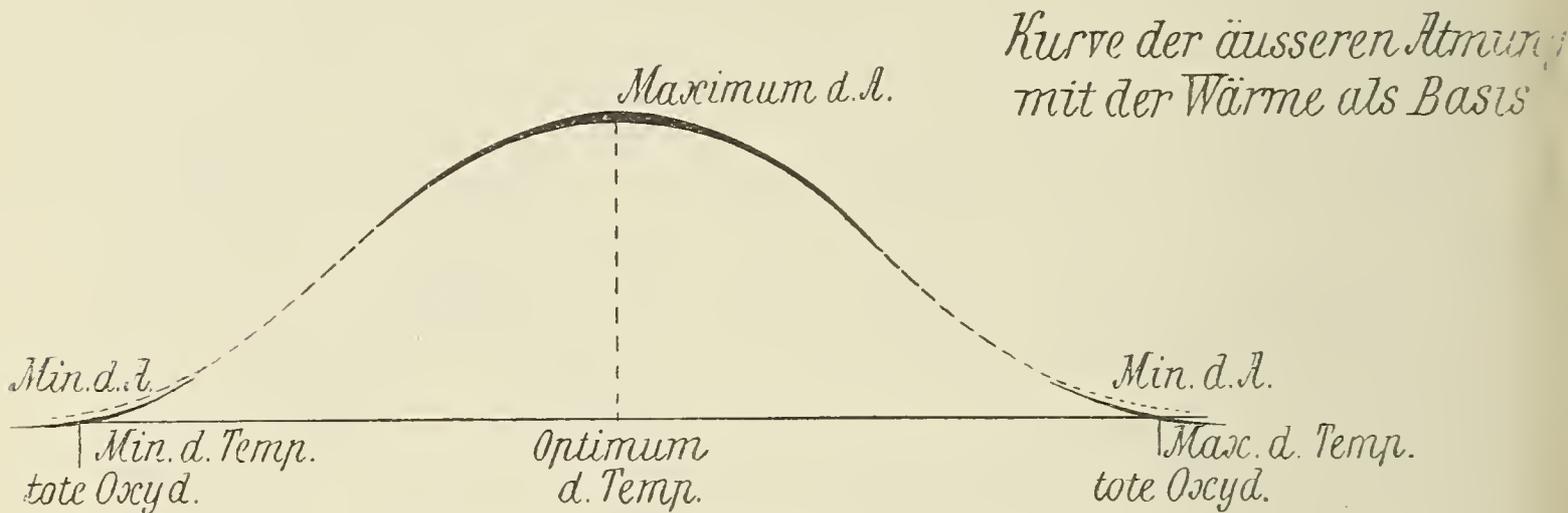
wirkenden organischen Autoxydabeln gelten. Wenn wir nun wissen, daß bei hinlänglich reichem Atemmateriale die Atmung an die Quantität und den Energiezustand dieser fermentativen Körper gebunden ist, so bezeichnet die Zerstörung letzterer bei Temperaturen um das Maximum ein Aufhören der Atmung, somit ein Aufhören des Lebens der Zelle überhaupt, den Tod der Pflanze. Mit dem Überschreiten des Temperaturmaximums hört die Pflanze zwar zu wachsen auf, die Pflanze lebt jedoch bis zum Abschluß der Atmung fort, der durch die verlorene Fähigkeit des Plasmas, weiter oxydable Substanzen und Fermente zu produzieren, herbeigeführt wird; da jedoch die Atmung als Betriebsstoffwechsel mit den übrigen Stoffwechselfvorgängen der Zelle im engen Zusammenhange steht, die Oxydation der schwerer verbrennbaren Substanzen erst durch die Tätigkeit im Plasma ermöglicht und der Eingriff des freien O reguliert wird, zudem die Enzyme vom Protoplasma ausgebildet und nötigenfalls immer wieder regeneriert werden, so haben wir in dem Vorhandensein einer Atmung mit Kohlensäureabgabe den sichersten Anhaltspunkt für die Untersuchungen, wie lange mit gesteigerter Temperatur das Plasma lebensfähig bleibt. Dieses Thema ist bisher in der Pflanzenphysiologie wegen der zahlreichen Schwierigkeiten, die in der komplizierten chemischen und physikalischen Natur des Plasma liegen, noch nicht, wie es nötig wäre, in Angriff genommen worden. Mit dem Tode des Plasma hört auch die Atmung auf, indem jetzt auch die am meisten resistenten Plasmagebilde, die Oxydasen bzw. organischen Autoxydabeln zerstört sind.

4. Kapitel. Postmortale Atmung.

Selbst in der neuesten Literatur findet man noch vielfach die Atmung bei höheren Temperaturen (siehe Figur 2 u. 3) als postmortale Atmung bezeichnet, da man annimmt, daß z. B. schon lufttrockene Blätter völlig abgestorben sind (siehe 1. Kapitel. Versuche): Wenn wir jedoch eine bedeutende Kohlensäureabgabe selbst bei Blättern, die bei 120° C getrocknet wurden, konstatieren müssen und das vorher über den Zusammenhang von Atmung und Temperatur mit der Lebensfähigkeit des Plasma Gesagte genügend berücksichtigen, so muß noch Leben, wenn auch nicht das vollkräftige des normalen Zustandes, den Blättern innewohnen, somit das Plasma noch nicht völlig zerstört sein. Daher überrascht es auch nicht, daß ich bei meinen Versuchen je nach der Höhe der Temperatur, der die Blätter ausgesetzt wurden, eine verschiedene Atmungsgröße erzielte, die gegen das Maximum der Temperatur hin beträchtlich abnimmt.

Im Versuche 3 (*Eupatorium*) übersieht man nicht nur die Änderung der Atmungsgröße mit dem Wechsel der Temperatur, sondern mit Rücksicht auf die verschiedene Art des Vorganges bei dem Versuche — die Blätter wurden bei einer Reihe von Teilversuchen doppelt solange Zeit der bezeichneten Temperatur ausgesetzt; auch ist es von großer Bedeutung, ob die Blätter plötzlich der höheren Temperatur ausgesetzt werden, oder ob die Umgebungstemperatur allmählich bis zur gewünschten Höhe gesteigert wird — auch die Änderungen bei gleichen Temperaturgraden.

Reinke hat sich in dieser Hinsicht in bestimmter Weise ausgesprochen, indem er die Atmung von der postmortalen Oxydation scheidet; treffend führt er aus, die letztere unterscheidet sich von der intramolekularen Atmung sofort darin, daß sie mit Entziehung des O der Luft sofort aufhört, wie jede gewöhnliche Oxydation, während letztere fort dauert. Wenn wir uns fragen, wodurch die postmortale Atmung, also jene Oxydation, welche nach dem Eintritt des Todes des Plasmas stattfindet, bei der jedoch keine Kohlensäure produziert, sondern nur O der Luft entzogen wird, herbeigeführt wird, müssen wir wie bei der gewöhnlichen Oxydation nach jenen anorganischen



Autoxydabeln der Zelle suchen, die den O der Luft heftig an sich ziehen. Da auch die Atmung ein Oxydationsprozeß ist, hat man passend vorgeschlagen, diesen Vorgang physiologische Oxydation zu nennen;¹⁾ charakteristisch ist für diese, daß die Körper, die wie z. B. Zucker außerhalb der Zelle schwer oxydabel sind, im Organismus sehr leicht verbrennen, d. i. veratmet werden, was eben durch Vermittelung von Sauerstoffüberträgern erfolgt. Sobald dem-

¹⁾ Detmer, Über physiologische Verbrennung im Protoplasma der Pflanzenzelle. (Bot. Zeit. 1888, S. 43); Johannsen, Über Fortdauer der Atmungs-oxydation nach dem Tode. (Bot. Zeit. 1887, S. 763)

nach das Plasma getötet ist, tritt die postmortale Oxydation ein, und hierbei werden die anorganischen autoxydablen Körper der Zelle oxydiert; nach der Menge dieser Körper richtet sich die Größe der Oxydation. Sicherlich spielt sich am Ausgange des Lebens neben der eben noch kenntlichen physiologischen Verbrennung (äußere A.) bereits ein kräftiger Prozeß der gewöhnlichen Oxydation ab, der sich solange erhält, bis sämtliche oxydierbaren Substanzen verbrannt sind, was bei der Veraschung der Pflanze unmittelbar erfolgt (daher keine Änderung in dem Gasvolumen der Röhre, während bei den unter 360 ° getrockneten Blättern, wo ganz sicher nur mehr tote Oxydation statthat, durch den O Entzug bei der Verbrennung das Volumen der Gase in der Röhre verringert wird, und die Kalilauge unter dem jetzt größeren Druck der umgebenden Luft in die Röhre gedrängt wird [auch Quecksilber ohne Lauge]). Mit dem allmählichen Ausklingen des Lebens dürfte die tote Oxydation mehr und mehr zur Geltung kommen; eine scharfe Grenze zwischen Leben und Tod läßt sich jedoch immerhin insofern ziehen, daß man die tote Oxydation durch Entziehung des O der Luft hintanhält und nun beobachtet, ob die Pflanze atmet. Die nachstehenden zwei Figuren sollen uns ungefähr ein Bild von der Abhängigkeit des Lebens von der Temperatur geben, wobei wie oben (Kapitel 2) kein spezieller Fall beachtet wurde.

Die Figur 3 gilt auch als Atmungskurve obligater Anaeroben. Das Minimum der Atmung wurde in Figur 2 absichtlich nicht ganz scharf bezeichnet, um den Austausch von Atmung gegen gewöhnliche (tote) Oxydation deutlicher zum Ausdruck bringen zu können. Im übrigen gilt hier das Gleiche wie bei Figur 1: Der Verlauf der Kurve (Länge ihrer Abschnitte, Abstand von der Basis) ist begründet in der spezifischen Natur des untersuchten Objektes.

Um Wiederholungen zu vermeiden, verweise ich auf die im Texte gegebenen Erklärungen, und sind dort die gewonnenen Resultate verzeichnet, sodaß ich auf die weitere Besprechung der Versuche verzichten kann; es ist klar, daß sich in allen A-Versuchen zuerst normale Atmung, mit Verbrauch des freien O intramolekulare Atmung einstellte und damit das Leben abschloß, in den B-Versuchen sicherlich anfangs noch eine geringere äußere Atmung und hierauf intramolekulare, in den C-Versuchen schließlich nur mehr intramolekular geatmet wurde, sobald wir annehmen, daß bei der Temperatur von 120 Grad C. die Oxydasen noch nicht vernichtet sind, widrigenfalls wir es, wie in Versuch 2, bei 360 Grad nur mit gewöhnlicher Oxydation zu tun hätten, was aber bei der durchschnittlich höheren Größe des aufgestiegenen Kalilaugequantums nicht wahrscheinlich ist, sondern vielmehr das Entgegengesetzte vermuten läßt.

5. Kapitel. Ätherisierungsverfahren und Rückschlüsse auf die Atmung.

Nach den gegenwärtig noch freilich sehr lückenhaften Kenntnissen scheint sich die zeitweilig lähmende Einwirkung der Narcotica auf sämtliche Organismen und auf sämtliche eigentlich vitalen

Funktionen zu erstrecken, während diejenigen Erscheinungen, welche nur indirekt von der Lebenstätigkeit abhängen, von dieser nicht direkt beeinflußt werden.¹⁾ Dies gilt jedoch wohl meist nur für größere Mengen des angewandten Betäubungsmittels, sonst veranlassen Äther, Chloroform und andere Giftstoffe in „submaximaler“ Dosis eine Beschleunigung der Tätigkeit. So hat Johannsen gefunden, daß schwache Ätherdosen eine inzitierende Wirkung auf das Wachstum ausüben, und gezeigt, wie man dieselbe in der Gärtnerei praktisch verwendet; ähnlich wirke auch Chloroform.²⁾ Im übrigen ist die Anwendung der Narcotica bei Versuchen verschiedener Art noch nicht allgemein geübt und wird in der Literatur nur gelegentlich berührt. Die Schwierigkeit liegt in der großen Flüchtigkeit des Betäubungsmittels, aus der selbst bei genau durchgeführten Versuchen sich nur zu häufig Fehler ergeben. Ich habe schon im Kapitel 1 (Versuche) hervorgehoben, daß man nicht in sämtlichen Fällen mit der gleichen Äthermenge arbeiten darf, ohne die Resultate gänzlich zu verfehlen, sondern man muß durch zahlreiche Versuche mit verschiedenen Ätherquantitäten die richtigen Werte herauszufinden trachten, was bei längerer Übung nicht so schwer ist. Der Grund hierfür liegt in der spezifischen Beschaffenheit der Blätter (weiche : ledrige, frische : welke) und ist von ihrem Wassergehalte, ihrer Größe und Menge abhängig; bei den getrockneten Blättern werden durch die Befeuchtung auf das ursprüngliche Gewicht nahezu normal turgescente Verhältnisse geschaffen.

Obgleich bisher keine speziellen Untersuchungen über Einwirkung von Giften auf die Atmung vorliegen, so läßt sich doch die weitgehendste Übereinstimmung einer solchen bei allen wichtigeren Prozessen in der Zelle konstatieren. Von größerer Bedeutung sind in dieser Beziehung zwei Arbeiten, die ich hier anführen möchte: „Über die vorübergehende Aufhebung der Assimilationsfähigkeit im Chlorophyllkorn“ von Pfeffer (Leipzig 1896) und: „Über Einwirkung der Anästhetica auf das Protoplasma“ von Karl Kaufmann (Inaug.-Diss., Erlangen 1899), da ich bei meinen Versuchen ganz ähnliche Ergebnisse erzielte. Bei Anwendung entsprechender Ätherdosen kann man eine transitorische Inaktivierung der Chlorophyllkörner erzielen; auch bestimmte Temperaturen, Mangel an O, Einwirkung bestimmter Gifte vermögen die Assimilationstätigkeit für kurze Zeit oder völlig zu sistieren. Eine dem Absterben vorausgehende Schwächung der Leistung ist eine verbreitete Erscheinung. Da nicht der Farbstoff, sondern der gesamte Aufbau und Zustand des Chlorophyllkorns als lebendes Gebilde³⁾ für die Tätigkeit entscheidend ist, bedarf es einer gewissen Zeit zur Regeneration des normalen Zustandes, wenn die Struktur des Protoplasmas durch

¹⁾ Rothe, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 39, 1903, Heft I: er nimmt jedoch die Atmung aus.

²⁾ Johannsen, Über Rausch und Betäubung der Pflanzen usw. („Natur“, Bd. XVIII, Nr. 9 und 10.) Über Anwendung von Chloroform. („Gartenwelt“, 1901, Nr. 23.) Das Ätherverfahren beim Frühlreiben usw. Jena 1900. Er gibt auch Literatur an.

³⁾ Wiesner, An. u. Phys. d. Pfl. VII. Chlorophyll.

niedrige Temperatur oder Gifte in sichtbarer Weise deformiert worden ist; eben die Regeneration ist ein Nachweis, ob nur eine Störung oder bereits der Tod eingetreten ist. Mit der Sistierung der Chlorophyllfunktion ist die Atmungsfunktion noch nicht suspendiert, und das muß auch sein, da ohne diese Betriebskraft die zur Regeneration notwendigen Bedingungen fehlen. In sehr ausführlicher Weise demonstriert Kaufmann die Einwirkung der Anästhetica auf das Plasma und Wachstum der Pflanze. Am einschneidendsten greife Chloroform in die Tätigkeit des Protoplasmas ein, weniger Äther und andere Gifte; zu starke Dosen töten das Plasma, schwächere führen ein dem Quantum des verwendeten Giftes entsprechendes Herabsinken des Wachstumseffektes herbei. Von größtem Einfluß auf das Resultat seien auch Temperatur und Dauer der Beobachtungszeit. Bei Ermittlung des Gewichtsverlustes, welchen die Versuchspflanzen unter Einfluß der Anästhetica während ihrer Entwicklung erlitten, findet er bedeutend höheren Wert als bei normal wachsenden Pflanzen und glaubt den Grund hierfür nicht nur in der durch die weniger gute Entwicklung bedingten geringeren Assimilationsfähigkeit, sondern auch in einer Erhöhung der Atmung suchen zu müssen. Zufolge der Anästhetica bedürfe die Pflanze einer um so größeren Kraftquelle und spezifischen Lebensenergie, als unter normalen Verhältnissen, wenn sie nicht dem schädlichen Einflusse jener Stoffe erliegen soll; daher würde durch letztere die Atmung gesteigert. Treffend sagt er in seiner Schlußbetrachtung, daß die durch Einwirkung jener Gifte herbeigeführten Veränderungen der Lebenserscheinungen in der Pflanze nur sekundäre Folgen des hierdurch in der vollen Entfaltung seiner Lebenskraft behinderten Plasmas seien. „Erleidet dieses in seiner chemischen und physikalischen Struktur durch äußere Einflüsse eine dauernde Schädigung, so ist damit auch ein Aufhören jeglicher Lebenserscheinung verbunden; sind die in die Tätigkeit des Plasmas hemmend eingreifenden Faktoren nur vorübergehend, so wird der normale Entwicklungsgang der betreffenden Pflanze in der Regel nur so lange unterbrochen oder verzögert, als sich jene geltend machen.“

Genau das Gleiche fand auch ich in allen meinen Versuchen, wenn ich den Äther in bestimmter Menge kürzere Zeit hindurch auf die Blätter einwirken ließ. Alle Versuche, die ich oben mit D, E und F bezeichne, wurden mit ungefähr gleicher, besser gesagt, von Fall zu Fall passend bestimmter Ätherquantität innerhalb 24 Stunden ausgeführt; durch das erwähnte Verfahren vermochte ich wohl eine Lähmung herbeizuführen, ohne die Blätter abzutöten. Die völlige Sistierung der Atmung, sei es nun innere oder äußere Atmung, führt unfehlbar zum Tode des Individuums; bei geeigneter Wahl der Giftdosis kann man die Atmung herabstimmen und nun einen, der normalen Atemkurve entsprechenden oder nur wenig abweichenden Verlauf der Atemenergie leicht beobachten. Wie bei den ohne Äther angestellten Versuchen richtet sich deren Größe nach dem Zustande des Protoplasmas und genügt nur ein Blick auf die angeführten Zahlen, um uns von den bereits bei der normalen

Atmung dargelegten Verhältnissen aufs neue zu überzeugen. Bemerkenswert ist die in dem Einwirken des Giftes während der ersten 30 Minuten (ungefähr) hervorgerufene merkliche Steigerung der Atmung, welche jedoch bald zufolge der längeren schädlichen Einwirkung des Äthers ausbleibt und meist unbeobachtet auch ohne Nachwirkung auf die späteren Resultate ist.

Resumé.

Nachdem ich, so gut es anging, meine Ansichten möglichst kurz auseinandergesetzt und durch Versuche und Belegstellen der Literatur gestützt habe, will ich noch das Gesagte am Schlusse in Kürze zusammenfassen:

A. (Normale) Atmung findet unter sonstigen normalen Umständen bei Gegenwart der für jede Pflanze bestimmten günstigen Menge freien Sauerstoffs statt; sobald derselbe in unzureichender Menge zur Verfügung steht, wird auch der in der Zelle vorhandene gebundene Sauerstoff verbraucht (intramol. A.), was selbst bei gänzlichem Mangel freien Sauerstoffs wenigstens solange das Leben erhalten kann, als passendes Atemmaterial vorrätig ist.

B. Die Atmung kann vor sich gehen:

1. durch spezifische autoxydable Substanzen, welche infolge des Verbrauchs stets erneuert werden, oder welche bloß als Vermittler der Atmung dienen und den Sauerstoff auf die weniger zur O-Aufnahme befähigten organischen Verbindungen übertragen; oder

2. durch bestimmte Dispositionen des Plasmas für die Aufnahme des Sauerstoffs (Entwicklung von Sauerstoffaffinitäten), welche auch durch spezifische Fermente (Oxydasen) vermittelt oder erleichtert werden kann. Der Vorgang kann sich durch Hinzutreten besonderer Schutzeinrichtungen komplizieren.

C. Die Atmung ist an die lebende Protoplasmasubstanz gebunden und nimmt mit Schwächung der Leistungen derselben proportional an Intensität ab; mit dem Tode der Pflanze hört jede Atmung auf. Wird das Plasma durch äußere Faktoren, wie Temperaturen weit ab vom Optimum, Gifte u. ä., schädlich beeinflusst, so sinkt dementsprechend auch die Atmungsgröße.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Centralblatt](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [BH_21_1](#)

Autor(en)/Author(s): Hruby Johann

Artikel/Article: [Die Atmung der Pflanzen 156-172](#)