

### 34. W. Palladin: Über den verschiedenen Ursprung der während der Atmung der Pflanzen ausgeschiedenen Kohlensäure.

Vorläufige Mitteilung.

Mit einer Abbildung.

Eingegangen am 10. Juni 1905.

Die Entdeckung der Enzyme der Alkoholgärung im Presssaft der Hefe durch E. BUCHNER hat eine Reihe interessanter Untersuchungen in der Physiologie hervorgerufen. Die Acetonmethode<sup>1)</sup> hat auch eine grosse Bedeutung für die Untersuchung der Enzyme gehabt, aber sie genügt nicht für alle Objekte: die höheren Pflanzen enthalten viel Wasser, und man würde bessere Resultate erhalten, wenn man, um sie zu töten, anstatt Aceton niedrige Temperaturen anwendete. Interessante Resultate erhält man durch Benutzung von niedrigen Temperaturen beim Untersuchen der Atmungsenzyme der Samenpflanzen. So haben in den Untersuchungen von Fräulein T. KRASNOSSELSKY<sup>2)</sup>, die auf meinen Vorschlag ausgeführt waren, die gefrorenen Zwiebeln von *Allium Cepa* nach dem Auftauen grosse Kohlensäuremengen ausgeschieden; dieses zeigt, dass die Zwiebeln „getötet“ waren und nicht „gestorben“<sup>3)</sup>. In den unten beschriebenen Versuchen wurde folgende Kältemischung benutzt: Salpetersaures Ammoniak, Kochsalz und Schnee oder Eis<sup>4)</sup>. Man legte die Pflanzenteile in Probierrgläser von 95—100 *ccm* Inhalt, die mit Kautschukpfropfen geschlossen waren. Nach kurzer Zeit sank die Temperatur bis  $-20^{\circ}$  und niedriger.

Die Entdeckung von BUCHNER hatte die Aufmerksamkeit der Forscher so ausschliesslich auf die Enzyme des Presssaftes gelenkt, dass man die ausgepresste Substanz ausser Acht liess. Man vergass, dass ein unlöslicher Teil des Protoplasmas in dieser Substanz bleibt, und vielleicht auch Enzyme, die im Presssaft unlöslich sind. Die Arbeit von NICLOUX<sup>5)</sup> zeigt, dass das Enzym, das die Fette in Samen von *Ricinus* spaltet, unlöslich im Presssaft und dazu eng mit dem Protoplasma verbunden ist.

1) E. BUCHNER, Die Zymasegärung. 1903, S. 265.

2) T. KRASNOSSELSKY. Diese Berichte 1905, S. 142.

3) TROMMSDORF. Centralblatt für Bakteriologie, II. Abt., 1902, S. 87.

4) WELTHER, Tiefe Temperaturen.

5) NICLOUX. Comptes rendus CXXXVIII, 1904, S. 1352.

Es lässt sich die Frage aufwerfen, ob die Pflanzenatmung nur von den Prozessen enzymatischer Natur abhängt oder auch von dem Protoplasma unmittelbar. In manchen meiner Untersuchungen wollte ich beweisen, dass die Atmungsenergie der Pflanzen von der Menge der Nukleoproteide abhängt; d. h. von der Menge des Protoplasmas<sup>1)</sup>. Meine letzten Untersuchungen brachten mich zu der Folgerung, dass die Atmungskohlensäure der Pflanzen wenigstens dreifachen Ursprung hat. Ich unterscheide: 1. Nukleokohlensäure, d. h. die Kohlensäure, welche zum Teil durch im Presssaft unlösliche, zum Teil lösliche, mit dem Protoplasma verbundene Enzyme hervorgerufen wird. 2. Reizkohlensäure, d. h. die Kohlensäure, welche von dem Protoplasma selbst (wie es scheint unmittelbar) unter der Wirkung verschiedener Reize gebildet wird. 3. Oxydasekohlensäure, d. h. die Kohlensäure, welche durch verschiedene Oxydasen (Katalase, Oxydase usw.) hervorgerufen wird.

Die folgenden Versuche zeigen, dass in einigen Fällen der Presssaft bedeutend weniger Kohlensäure ausscheidet als der ausgepresste Kuchen. Die Untersuchung von BURLAKOW<sup>2)</sup>, welche auf meinen Vorschlag gemacht war, zeigt, dass Weizenkeimlinge<sup>3)</sup> sehr energisch atmen. Eine bestimmte Quantität der Keimlinge atmete zehnmal so energisch wie dieselbe Quantität der Weizenkörner. Wider Erwarten fand dagegen KOVCHOFF<sup>4)</sup>, dass 100 *ccm* Presssaft aus Weizenkeimlingen nur Spuren von Kohlensäure ausscheiden.

### Versuch I.

Die Weizenkeime werden während 10 Stunden in Wasser gehalten, darauf brachte man sie zum Erfrieren. Zum Auftauen wurden sie in dünner Schicht während 2 Stunden unter einer Glasglocke in Toluoldämpfen gehalten. Dann wurden 34 *g* Weizenkeime in den PETTENKOFER'schen Apparat gelegt, durch welchen die mit Toluoldämpfen gesättigte Luft gezogen wurde.

2 Stunden (21°) . . . . .	46,0 <i>mg</i> CO <sub>2</sub>
2     "     . . . . .	46,0     "     "

### Versuch II.

Die Weizenkeime waren 10 Stunden in Wasser gehalten, darauf erfroren und in einem Mörser zerrieben. Ein Teil des Saftes wurde abgepresst und die übrige Masse mit Aceton bearbeitet. 12 *g* des Acetonpräparates + 50 *ccm* 20prozentiger Glukose haben während 4 Stunden 21,6 *mg* CO<sub>2</sub> ausgeschieden.

1) W. PALLADIN. Revue générale de botanique, 1893, S. 449; 1896; 1899, S. 81.

2) BURLAKOW. Arbeiten der Charkower Naturf. Ges. XXXI, 1897.

3) Zu beziehen bei MAGGI, Zürich, Stadtmühle.

4) Noch nicht publizierte Arbeit.

Beide Versuche zeigen, dass die Kohlensäureausscheidung nicht vom Presssaft abhängt, da der Saft nur geringe Kohlensäuremengen ausschied, sondern von der festen Substanz, d. h. von dem unlöslichen Enzyme.

### Versuch III.

Man presst aus erfrorenen Zwiebeln von *Gladiolus Lemoinei*<sup>1)</sup> den Saft. Die ausgepresste Substanz und der Saft haben folgende Mengen von Kohlensäure während 21 Stunden ausgeschieden:

50 ccm Saft	50 ccm Saft + 10 g der aus- ausgepressten Substanz	60 ccm 10proz. Glykose + 10 g der ausgepressten Substanz + 1 g NaCl
2,0 mg CO <sub>2</sub>	11,8 mg CO <sub>2</sub>	12,2 mg CO <sub>2</sub>

Auf Grund solcher Versuche kommt man zu folgendem Schlusse: Ein Teil der von den Pflanzen ausgeschiedenen Kohlensäure rührt von dem Enzyme her, das dicht mit dem Protoplasma verbunden und im Presssaft unlöslich ist. Aceton und niedere Temperaturen töten zwar das Protoplasma, heben aber die Arbeitstätigkeit der Enzyme nicht auf.

Je mehr Protoplasma eine Pflanze oder ein pflanzliches Organ enthält, desto grösser wird die Kohlensäureausscheidung bei sonst gleichen Bedingungen. Die Menge der Nukleoproteide hängt aber von der Menge des Protoplasmas ab. Wenn man die Resultate der Untersuchungen von SMIRNOFF<sup>2)</sup>, KOVCHOFF<sup>3)</sup> und KRASNOSSELSKY<sup>4)</sup> zusammenstellt, sieht man, dass die durch Enzyme der abgetöteten Pflanzen ausgeschiedene Kohlensäure von der Menge der Nukleoproteide abhängt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Fig. 1 dargestellt. Die Kurve (b) der Atmung der erfrorenen Zwiebeln ist ganz gleich der Kurve (a) der Nukleoproteidenmenge.

Auf Grund dieser Ergebnisse schlage ich vor, die CO<sub>2</sub>, welche durch Enzyme des Protoplasmas erzeugt wird und deren Menge von der Menge der Nukleoproteide abhängig ist, Nukleokohlensäure zu nennen. Das Enzym selbst schlage ich vor Karbonase zu nennen. Spätere Untersuchungen müssen zeigen, in welcher Beziehung die Karbonase zu den Enzymen der Alkoholgärung steht. Karbonase unterscheidet sich von diesen Enzymen dadurch, dass sie von Kieselguhr vollkommen absorbiert wird. So hat z. B. Fräulein KRASNOSSELSKY<sup>5)</sup> gefunden, dass 100 ccm Presssaft aus verletzten und erfrorenen Zwiebeln ohne Kieselguhr dargestellt während 27 Stunden 31,2 mg CO<sub>2</sub> ausgeschieden haben. Aber 100 ccm Presssaft aus den-

1) Von SCHILPZAND und ZONEN. Hillegom bei Haarlem.

2) SMIRNOFF. *Revue gén. de Botanique*, 1903, p. 28.

3) KOVCHOFF. *Revue gén. de Botanique*, 1902, p. 459.

4) KRASNOSSELSKY. *Diese Berichte* 1905, Versuch V, S. 150.

5) KRASNOSSELSKY. *Diese Berichte* 1905, S. 152.

selben Zwiebeln mit Kieselguhr dargestellt haben während derselben Zeit nur 2,0 mg CO<sub>2</sub> ausgeschieden.

MAXIMOW<sup>1)</sup> und KRASNOSSELSKY haben gefunden, dass Presssaft von *Aspergillus niger* und aus erfrorenen verletzten Zwiebeln von *Allium Cepa* sowohl in normaler, als auch in Wasserstoffatmosphäre gleiche Kohlensäuremengen ausscheidet. Dieselben Resultate erhielt ich ebenfalls im Folgenden.

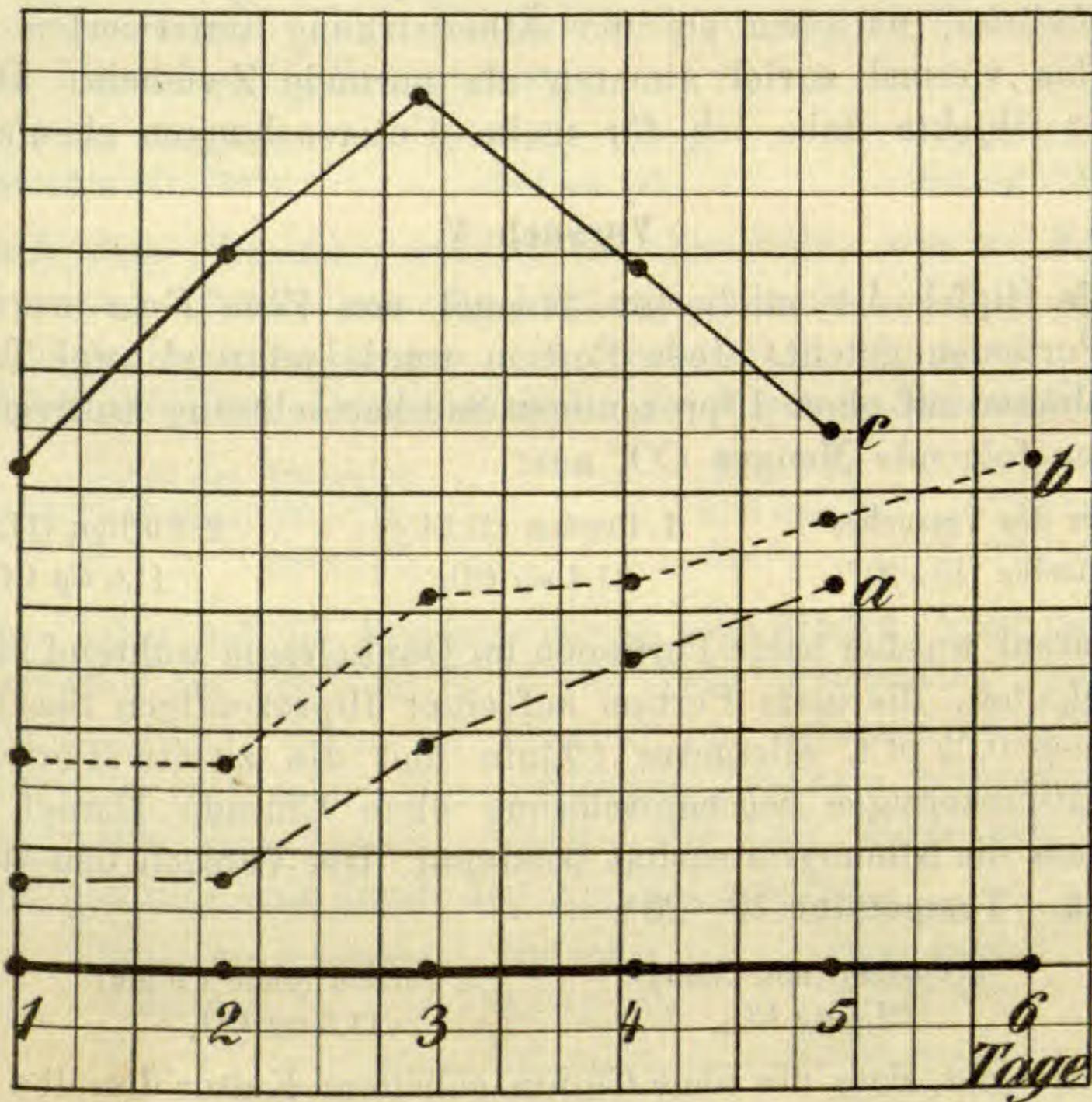


Fig. 1.

a Nukleoproteidenbildung in verletzten Zwiebeln von *Allium Cepa* nach KOVCHOFF.  
 b Die Kohlensäureausscheidung der verletzten und erfrorenen Zwiebeln nach KRASNOSSELSKY. c Die Kohlensäureausscheidung der verletzten Zwiebeln nach SMIRNOFF.

### Versuch IV.

Presssaft aus erfrorenen Gipfeln etiolierter Stengel von *Vicia Faba*. Zwei Portionen je 37 ccm. Der Versuch dauerte zwei Stunden. Temperatur 21° C.

- 1. Luft . . . . . 8,0 mg CO<sub>2</sub>
- 2. Wasserstoff. . . . . 8,0 " "

Also die Karbonase bewirkt eine exothermische Reaktion der Kohlensäurebildung ohne Teilnahme des Sauerstoffes.

1) MAXIMOW. Diese Berichte 1904, S. 225.

Wenn die Nukleokohlensäure durch ein mit dem Protoplasma verbundenes Enzym gebildet wird, so wird die Reizkohlensäure, wie es scheint, durch das Protoplasma selbst gebildet. MORKOWIN<sup>1)</sup> fand, dass die Gipfel etiolierter Stengel von *Vicia Faba*, welche auf einer Zuckerlösung mit salzsaurem Chinin kultiviert waren, zweimal energischer atmeten als gleiche Gipfel, die auf Zucker allein kultiviert waren. Ausserdem hatte noch ZALESKI<sup>2)</sup> gefunden, dass die Zwiebeln von *Gladiolus*, nachdem sie der Ätherwirkung unterworfen waren, drei- bis viermal soviel atmeten als normale Zwiebeln. Die genannten Objekte habe ich für meine Untersuchungen ebenfalls benutzt.

### Versuch V.

Die Gipfel der etiolierten Stengel von *Vicia Faba* wurden in zwei Portionen geteilt. Jede Portion wurde während zwei Tage im Dunkelraum auf einer 10prozentigen Saccharoselösung kultiviert. Sie schieden folgende Mengen CO<sub>2</sub> aus:

Dauer des Versuches	1. Portion (11,81 g)	2. Portion (11,20 g)
2 Stunden (19—20°)	11,4 mg CO <sub>2</sub>	11,0 mg CO <sub>2</sub>

Darauf wurden beide Portionen im Dunkelraum während 21 Stunden gehalten, die erste Portion auf einer 10prozentigen Saccharoselösung + 0,05 pCt. salzsaures Chinin und die zweite Portion auf einer 10prozentigen Saccharoselösung ohne Chinin. Darauf wurde wiederum die Atmungsintensität bestimmt. Der Versuch dauerte zwei Stunden. Temperatur 19—20°.

1. Portion (mit Chinin)	2. Portion (ohne Chinin)
21,4 mg CO <sub>2</sub>	11,3 mg CO <sub>2</sub>

Man sieht, dass die ohne Chinin gehaltene Kultur dieselbe Menge Kohlensäure ausschied wie im ersten Versuche. In der Kultur mit Chinin wurde die CO<sub>2</sub>-Ausscheidung zweimal so gross als früher.

Darauf wurden beide Portionen während 21 Stunden zum Erfrieren gebracht. Die erfrorenen Gipfel wurden, ohne sie zu zerkleinern, in den PETTENKOFER'schen Apparat gelegt. Durch die V-förmige Röhre mit den erfrorenen Gipfeln wurde mit Toluoldämpfen gesättigte Luft gezogen. Temperatur 18,5—20°.

Dauer des Versuches	Mit Chinin	Ohne Chinin
6 Stunden . . . . .	23,2 mg CO <sub>2</sub>	21,6 mg CO <sub>2</sub>
19 " . . . . .	14,0 " "	16,0 " "
	<u>37,2 mg CO<sub>2</sub></u>	<u>37,6 mg CO<sub>2</sub></u>

Es wurde keine CO<sub>2</sub> mehr ausgeschieden.

1) MORKOWIN. Revue gén. de Botanique 1901, S. 215.

2) ZALESKI, Zur Frage über die Wirkung der Reize auf die Atmung der Pflanzen. Warschau 1902. (Russisch.)

Nach dem Tode des Protoplasmas schieden beide Portionen gleiche Kohlensäuremengen aus. Daraus sieht man, dass Chinin unmittelbar das Protoplasma stimulierte und dass nach seinem Tode die gesteigerte Ausscheidung der Kohlensäure aufhörte.

### Versuch VI.

Am 11. April wurden zwei Portionen Zwiebeln von *Gladiolus Lemoinei* genommen. Jede Portion bestand aus 12 Zwiebeln. Sie schieden folgende CO<sub>2</sub>-Mengen aus:

Dauer des Versuches	1. Portion (166 g)	2. Portion (165 g)
2 Stunden (21–22°)	28,4 mg CO <sub>2</sub>	23,2 mg CO <sub>2</sub>

Nach dem Versuche wurden die Zwiebeln, wie es ZALESKI machte, unter Glasglocken (7,5 l Inhalt) gebracht und dort während 18 Stunden die erste Portion mit 8 ccm Äther, die zweite Portion ohne Äther gehalten. Darauf schieden sie folgende Mengen CO<sub>2</sub> aus:

Dauer des Versuches	Mit Äther	Ohne Äther
1 Stunde 30 Minuten (20–21°) . . . . .	41,6 mg CO <sub>2</sub>	18,8 mg CO <sub>2</sub>
1 „ 30 „ (20–21°) . . . . .	40,4 „ „	18,0 „ „

Also Äther hat die Atmungsenergie sehr erhöht. Nach dem Versuche wurden die Zwiebeln in je vier Teile zerschnitten (um sie in die Probiertgläschen legen zu können) und während 18½ Stunden zum Erfrieren gebracht. Die erfrorenen Zwiebeln wurden in den PETTENKOFER'schen Apparat gelegt. Die Luft wurde mit Toluoldämpfen gesättigt und durch den Apparat gezogen.

Dauer des Versuches	Mit Äther	Ohne Äther
6 Stunden . . . . .	24,2 mg CO <sub>2</sub>	18,6 mg CO <sub>2</sub>
18 „ . . . . .	17,4 „ „	19,6 „ „
	<hr/> 41,6 mg CO <sub>2</sub>	<hr/> 38,2 mg CO <sub>2</sub>

Es wurde keine CO<sub>2</sub> mehr ausgeschieden. Die Resultate sind dieselben wie in dem oben beschriebenen Versuche. Nach dem Tode des Protoplasmas schieden beide Portionen gleiche Kohlensäuremengen aus.

Ein typisches Zeichen des Lebens ist die Fähigkeit, auf Reize zu reagieren. Die durch Reize hervorgerufene Kohlensäure kann als Zeichen der Empfindlichkeit des Organismus gegen äussere Agentien dienen. Nach dem Erlöschen des Lebens, nach dem Tode des Protoplasmas, endet auch diese Kohlensäureausscheidung. Solch eine eng mit dem Leben des Protoplasmas verbundene Kohlensäure nenne ich Reizkohlensäure.

Die Verletzung der Zwiebeln von *Allium Cepa* bewirkt nach SMIRNOFF eine starke Ausscheidung von Kohlensäure. Diese Kohlensäure ist meistens Reizkohlensäure (Fig. 1, c). In den erfrorenen Zwiebeln hat KRASNOSSELSKY keine solche Kohlensäure gefunden.

Die Kurve hat eine ganz andere Form bekommen (Fig. 1, *b*). Diese letzte ist ganz gleich der Kurve der Nukleoproteide. Folglich ist die Kohlensäure der lebenden verletzten Zwiebel in den ersten Tagen nach ihrer Verletzung meistens Reizkohlensäure und nur später vorzugsweise Nukleokohlensäure.

Es gibt in dem Presssaft auch manche andere Erzeugnisse, die Kohlensäure ausscheiden. Ein Teil dieser Kohlensäure entsteht durch die Tätigkeit der Gärungsenzyme. Ein anderer Teil ist das Erzeugnis der verschiedenen Oxydasen (Katalyse, Peroxydase, Hyperoxydase usw.). Diese letzte Kohlensäure nenne ich Oxydasekohlen-säure.

### Versuch VII.

Der abfiltrierte Presssaft aus den erfrorenen Zwiebeln von *Gla-diolus Lemoinei* wurde in fünf Portionen von je 50 *ccm* geteilt. Zu drei von ihnen wurde 3 pCt.  $H_2O_2$  hinzugefügt, zu den zwei letzten 20 pCt. Pyrogallussäure und 3 pCt.  $H_2O_2$ <sup>1)</sup>. Man erhielt folgende  $CO_2$ -Mengen:

Portionen	Zugefügte Stoffe	Dauer des Versuchs	Menge der $CO_2$ in <i>mg</i>
1	5 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	2 Stunden 30 Minuten	7,0
	5 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	18 Stunden	6,2
			13,2
2	10 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	19 Stunden	13,6
3	20 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	18 Stunden	13,2
4	5 <i>ccm</i> $C_6H_6O_3$ . . . . .	40 Minuten	0,0
	10 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	2 Stunden 25 Minuten	58,4
	—	30 Minuten	0,0
	10 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	19 Stunden 25 Minuten	23,3
	—	25 Minuten	0,0
	10 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	1 Stunde	0,0
	5 <i>ccm</i> $C_6H_6O_3$ . . . . .	3 Stunden	0,0
			81,7
5	10 <i>ccm</i> $C_6H_6O_3$ . . . . .	40 Minuten	0,0
	10 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	2 Stunden 25 Minuten	53,6
	—	30 Minuten	0,0
	10 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	19 Stunden 25 Minuten	28,8
	—	25 Minuten	0,0
	10 <i>ccm</i> $H_2O_2$ . . . . .	1 Stunde	0,0
	10 <i>ccm</i> $C_6H_6O_3$ . . . . .	3 Stunden	0,0
			80,4

1) Ein Versuch mit Pyrogallussäure war von Fräulein GRIGORIEW ausgeführt.

Aus diesem Versuche sieht man, dass der Presssaft aus den Zwiebeln von *Gladiolus Lemoinei*, welcher nur Spuren von Kohlensäure ausscheidet (Versuch III), nach dem Zufügen von  $H_2O_2$  grosse  $CO_2$ -Mengen auszuschleiden anfing. Der Überschuss von  $H_2O_2$  wirkt aber auf die  $CO_2$ -Ausscheidung des Saftes nicht. Diese  $CO_2$ -Ausscheidung wird noch grösser, wenn man ausser  $H_2O_2$  noch Pyrogallussäure hinzufügt<sup>1)</sup>. Diese Erscheinung kann man durch die im Saft befindlichen Enzyme erklären, die durch Kochen des Saftes vernichtet werden. Das Zufügen der Pyrogallussäure und  $H_2O_2$  kann zur quantitativen Messung der Menge der im Saft existierenden Oxydase dienen.

Dies ist mein Schema der Pflanzenatmung. Spätere Untersuchungen müssen vieles in ihm verbessern und ergänzen. Der Prozess, welcher das Pflanzen- und Tierleben charakterisiert, besteht in der Nukleokohlensäureausscheidung, welche ohne Teilnahme des Luftsaauerstoffes durch Spaltung gebildet wird. Also die intramolekulare Atmung ist eine primäre Erscheinung. Die Kohlensäure der intramolekularen Atmung ist vorzugsweise Nukleokohlensäure und in einigen Fällen auch Reizkohlensäure<sup>2)</sup>. Aber die Alkoholgärung ist nach den letzten Untersuchungen<sup>3)</sup> keine einfache Erscheinung. Alkohol als Endprodukt der Alkoholgärung wird gebildet durch die Arbeit mehrerer Enzyme. Aus einigen Tatsachen, die von KOSTYTSCHEW<sup>4)</sup> festgestellt sind, sieht man, dass zwischen intramolekularer Atmung und Alkoholgärung ein Unterschied ist.

Die ausführliche Arbeit wird an einem anderen Orte publiziert werden.

St. Petersburg, Pflanzenphysiolog. Institut der Universität.

1) BERTRAND. Annales de chim. et de phys., 7. série, XII. t., 1897, p. 115.

2) Bei Reizwirkungen. Z. B. MORKOWIN, diese Berichte 1903, S. 72.

3) Literatur bei E. BUCHNER und J. MEISENHEIMER. Berichte der Chem. Gesellschaft, XXXVIII, 1905, S. 620.

4) KOSTYTSCHEW. Centralblatt für Bakteriologie, II. Abt., XIII, 1904, S. 490.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [23](#)

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

Artikel/Article: [Über den verschiedenen Ursprung der während der Atmung der Pflanzen ausgeschiedenen Kohlensäure 240-247](#)