© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Untersuchungen über die Wirkung des Kohlenoxyds auf Pflanzen.

Von

Karl Seeländer.

Es ist nicht zu verkennen, daß die Fortschritte auf botanischem und zoologischem Gebiete sich gegenseitig bedingt haben. Bei der nahen Verwandtschaft dieser beiden Wissenschaften, die sich in das Gebiet der Erforschung des Lebens teilen, ist ja eine gegenseitige Übertragung sowohl der Methode, als auch der leitenden Gesichtspunkte derartig naheliegend, daß es zu verwundern wäre, wenn nicht in ausgiebigstem Maße davon Gebrauch gemacht worden wäre. Ebenso einleuchtend aber ist es, daß diese im allgemeinen so fruchtbare Wechselwirkung unter Umständen die Ursache sein kann, daß die Forschung eine falsche Richtung einschlägt, sei es daß sie sich von einem Irrtum der anderen Seite leiten läßt, sei es daß sie die im Grunde doch vorhandene Verschiedenheit beider Gebiete nicht genügend berücksichtigt. Ein Beispiel hierfür scheint jetzt die Kohlenoxydforschung zu bieten. Ich will das näher ausführen. Die ersten Pflanzenphysiologen, die sich mit der Untersuchung der Kohlenoxydwirkung befaßten, wie de Saussure, Boussingault und andere, kamen völlig übereinstimmend zu dem Resultat, daß das Kohlenoxyd keine spezifische Wirkung auf Pflanzen ausübe, sondern sich wie ein indifferentes Gas verhalte. Nun war es in der Tierphysiologie gelungen, die schon lange beobachtete, überaus heftige Giftwirkung des Kohlenoxyds auf die höheren Tiere zurückzuführen auf die Bindung des Kohlenoxyds durch das Hämoglobin und die dadurch bedingte Verdrängung des Sauerstoffs. Unter Benutzung dieser Entdeckung ergab sich nun auch für die Pflanzenphysiologie eine ganz natürliche Erklärung für die negativen Resultate der oben angeführten Arbeiten, da ja den Pflanzen dieser Farbstoff abging und somit dem Kohlenoxyd die Angriffsstelle fehlte. Man sah damit diese Frage für erledigt an, und so finden wir in den die Ergebnisse der Forschungen zusammenfassenden Werken fast überall das Kohlenoxyd zu den unschädlichen Gasen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gerechnet. So sagt Pfeffer im ersten Teil seiner Pflanzenphysiologie 1897, p. 309: „Dabei ist das für die blutführenden Tiere so überaus giftige Kohlenoxyd für die Pflanzen selbst in größerer Menge kaum, also ungleich weniger schädlich als die Kohlensäure," und im zweiten Teil 1904, p. 335: „Da aber speziell die giftige Wirkung des Kohlenoxyds auf der Verdrängung des im Blute gebundenen Sauerstoffs beruht, so ist es begreiflich, daß dieses Gas auf Pflanzen nicht oder kaum schädlich wirkt." Ähnlich lauten die Urteile anderer Autoren[1]). Nun erschien aber im Jahre 1904 eine Arbeit von H. M. Richards und D. T. Mac Dougal[2]), in der diese beiden Forscher eine große Reihe von Versuchen über den Einfluß des Kohlenoxyds auf Pflanzen und zwar im wesentlichen Phanerogamen mitteilten und zu dem Resultat kamen, daß das Kohlenoxyd höchst giftig für die Pflanzen sei. War dies richtig, so mußten unsere bisherigen Anschauungen wesentlich modifiziert werden. Es ergab sich also daraus die Notwendigkeit, neue Untersuchungen über diesen Gegenstand unter genauer Berücksichtigung der bisherigen Arbeiten anzustellen. Auf Grund dieser Erwägung entstand der Plan zu vorliegender Arbeit, die sich dementsprechend zum Ziel gesetzt hatte, zunächst über die bestehenden Widersprüche Klarheit zu verschaffen und für den Fall, daß das Resultat für eine Wirkung des Kohlenoxyds entschied — ich will hier gleich vorwegnehmen, daß dies der Fall gewesen ist —, dieser in ihren Einzelheiten weiter nachzugehen.

Herstellung des Gases.

Das für die Versuche verwendete Kohlenoxyd wurde nach der bekannten Methode hergestellt, daß feste Oxalsäure mit konzentrierter Schwefelsäure übergossen und langsam erwärmt wurde. Die dabei gleichzeitig mit dem Kohlenoxyd entwickelte Kohlensäure wurde durch einige vorgeschaltete Waschflaschen mit Kalilauge abgefangen. Zur Kontrolle, daß auch die Kohlensäure vollständig absorbiert war, hatte der Gasstrom dann noch eine mit klarer Barytlauge gefüllte Waschflasche zu passieren. Wurde nun das Gas erst dann in den Gasometer geleitet, nachdem es den ganzen Apparat eine zeitlang durchströmt und so die darin enthaltene Luft verdrängt hatte, so waren die auch dann noch vorhandenen Spuren von Luft zu gering, als daß man sie im allgemeinen hätte in Rechnung ziehen müssen. Für die Versuche,

---

[1]) Sorauer (Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 2. Aufl. 1886. Teil 1. p. 522): „Reines Kohlenoxydgas ist ohne schädlichen Einfluß auf die Vegetation." — Loew, O. (Natürliches System der Giftwirkungen. 1893. p. 103): „Da darin (Bildung des Kohlenoxydhämoglobins nämlich) die einzige Ursache der Giftwirkung liegt, so erklärt sich, warum Kohlenoxyd weder auf niedere Tiere noch auf Pflanzen giftig wirkt." — Frank (Krankheiten der Pflanzen. 2. Aufl. 1895. Bd. 1. p. 317): „Als solche indifferente, nicht giftige Gase sind schon von Saussure das Stickstoffgas, Wasserstoffgas und Kohlenoxydgas erkannt worden."

[2]) Richards and Mac Dougal, The influence of carbon monoxide upon plants. (Bull. of the Torrey Botanical Club. 1904.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bei denen es auf vollkommene Abwesenheit von Sauerstoff besonders ankam, wurde das Gas erst noch durch alkalische Pyrogallollösung geleitet. Damit es auch nicht im Gasometer durch Diffusion aus dem Wasser noch mit Luft verunreinigt wurde, war es durch eine mehrere Zentimeter dicke Schicht von Paraffinöl davon getrennt und außerdem ausgekochtes Wasser verwendet worden [1]).

Der bei einigen Versuchen zum Vergleich herangezogene Wasserstoff wurde im Kipp'schen Apparat entwickelt aus arsenfreiem Zink und verdünnter Salzsäure. Durch Vorschalten von je einer Waschflasche mit Kalilauge und Kaliumpermanganatlösung wurde ein Mitgehen von Salzsäuredämpfen vermieden. Zur Entfernung des Sauerstoffs dienten dieselben Maßregeln wie beim Kohlenoxyd.

Sauerstoff, der zur Herstellung von Gasgemischen diente, wurde käuflichen Sauerstoffbomben entnommen. Sie enthielten noch 5 % Stickstoff.

Aufbewahrt wurden die Gase in gläsernen Gasometern. Diese waren kalibriert, so daß man in ihnen die Gasmischungen in den gewünschten Verhältnissen herstellen konnte. Hierüber sei noch Folgendes bemerkt: Damit die nacheinander durch die obere Öffnung in den Gasometer eingeleiteten Gase nicht infolge des verschiedenen Wasserstandes unter verschiedenem Druck gemessen wurden, war an dem unteren Ansatzrohr, aus dem das verdrängte Wasser ausfloß, mittels eines kurzen Gummischlauches ein dadurch bewegliches Glasrohr angebracht. Nun konnte durch Heben und Senken dieses Rohres der Wasserstand innen und außen gleichgemacht und so die Gasmengen immer unter demselben Druck von einer Atmosphäre abgelesen werden. Angewandt wurden für die Versuche Gemische von 90 % an bis herab zu ½ % Kohlenoxydgehalt. Der Sauerstoffgehalt wurde, wenn nicht der Gehalt an Kohlenoxyd (80—90 %) kleinere Mengen bedingte, dem der Luft gleichgemacht. Dieser letztere wurde dabei zu 21 % angenommen. Für das noch fehlende Gasvolumen wurde atmosphärischer Stickstoff verwendet. Dies wurde in der Weise erreicht, daß zunächst die dem beabsichtigten Kohlenoxydgehalt entsprechende Menge dieses Gases in den 25 Liter fassenden Gasometer geleitet wurde, dann ein vorher von Kohlensäure befreites und die berechnete Menge Stickstoff enthaltendes Luftvolumen und schließlich soviel Sauerstoff, daß zusammen mit dem schon in der Luft zugeführten 21 %, d. h. 5¼ Liter auf 25 Liter in dem Gasometer enthalten waren. Wenn z. B. ein Gemisch mit einem Kohlenoxydgehalt von 10 % beabsichtigt wurde, so mußten im Gasometer enthalten sein an Kohlenoxyd 2,5 Liter, an Sauerstoff 5,25 Liter und daher an Stickstoff (25—7,75) 17,25 Liter. Diesen 17,25 Litern Stickstoff entspricht aber ein Luftvolumen von 21,84 Litern, in welchem dann

---

[1]) Von Giuseppe Lopriore, in dessen Arbeit „Über die Einwirkung der Kohlensäure auf das Protoplasma der lebenden Pflanzenzelle" (Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 28. 1895) dies Verfahren angegeben ist, wurde durch Versuche festgestellt, daß die Absorptionsgröße des Paraffinöls für Sauerstoff beträchtlich hinter der des Wassers zurückbleibt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

außer dem Stickstoff noch 4,59 Liter Sauerstoff enthalten sind. Einzuleiten waren also 2,5 Liter Kohlenoxyd, 21,84 Liter Luft und (5,25 — 4,59 =) 0,66 Liter Sauerstoff. Bei diesen Mischungen aus Kohlenoxyd und Sauerstoff war nun der Umstand in Betracht zu ziehen, daß sich das Kohlenoxyd in Berührung mit Sauerstoff auch schon bei gewöhnlicher Temperatur langsam zu Kohlensäure oxidiert.[1]) Es galt daher, zunächst festzustellen, ob diese Reaktion innerhalb der angewandten Versuchszeiten zu nachweisbaren Mengen von Kohlensäure führte. Zu diesem Zweck wurden blinde Versuche angestellt, die ergaben, daß für die Versuche, in denen das Gas in ununterbrochenem Strome über die Objekte geleitet wurde, diese Reaktion überhaupt nicht in Betracht kam, und auch in den Fällen, bei denen die Objekte längere Zeit in einem abgeschlossenen Gefäß der Gasmischung ausgesetzt waren, keine erheblichen Kohlensäurequantitäten gebildet wurden, wenn das Gasgemisch öfter (es geschah dies mindestens alle 12 Stunden) erneuert wurde. Immer aber wurde die Vorsicht gebraucht, zwischen Gasometer und Versuchsapparat je eine Waschflasche mit Kalilauge und klarer Barytlauge einzuschalten, um auf jeden Fall die etwa schon im Gasometer gebildete Kohlensäure zu absorbieren.

Versuche mit Wurzelkeimlingen von Lupinus albus.

Die verhältnismäßig zahlreichen Untersuchungen über die Kohlenoxydwirkung auf Phanerogamen, über die ich hier zunächst eine Übersicht vorausschicken will, bilden drei verschiedene Gruppen.

Die erste Gruppe, aus der schon in der Einleitung de Saussure und Boussingault erwähnt wurden und zu der noch Eulenberg und Morren gehören, vertritt die Ansicht, daß das Kohlenoxyd keine schädliche Wirkung habe, sondern zu den indifferenten Gasen wie Stickstoff und Wasserstoff zu rechnen sei. De Saussure[2]) stützte sich hierbei auf Versuche, in denen er Exemplare von *Epilobium hirsutum, Lythrum salicaria* und *Polygonum persicaria* ungefähr 6 Wochen lang in reinem Kohlenoxyd beobachtete und fand, daß sie darin vollkommen gediehen wie in atmosphärischer Luft. Boussingault[3]) setzte abgeschnittene Blätter vom Kirschlorbeer ungefähr 5 Stunden lang einer Atmosphäre mit einem Kohlenoxydgehalt von etwa 38 % aus, ohne irgend eine Wirkung zu beobachten. Eulenberg[4]) stellte blühende Blumen mehrere Stunden lang unter eine Glocke, welche zum dritten Teil mit Kohlenoxydgas gefüllt war. Er konnte dann weder an

---

[1]) Potain et Drouin, Sur l'emploi du chlorure de palladium pour la recherche dans l'air de très petites quantités d'oxyde de carbone et sur la transformation de ce gaz à la temperature ordinaire en acide carbonique. (Compt. rend. T. 126. 1898.)

[2]) de Saussure, Théod., Recherches chimiques sur la végétation. Paris 1804.

[3]) Boussingault, M., Agronomie, Chimie agricole et Physiologie. T. 4. Paris 1860.

[4]) Eulenberg, Die Lehre von den schädlichen und giftigen Gasen. Braunschweig 1865. p. 55.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Farbe der Blumen noch an den Blättern eine Veränderung konstatieren. Morren[1]) experimentierte mit einer jungen Kirschbaumpflanze, die er zwei Tage lang unter einer Glocke der Wirkung eines Gemisches von Kohlenoxyd und Stickstoff aussetzte, ebenfalls ohne sichtbaren Erfolg.

Eine zweite Gruppe bilden die Untersuchungen, die den Kohlenoxydeinfluß auf die Keimung von Samen zum Gegenstande haben. Sie stimmen im wesentlichen in ihren Resultaten überein und zwar dahin, daß das Kohlenoxyd hemmend auf die Keimung einwirkt. So ergaben die Untersuchungen, die Claude Bernard[2]) anstellte, um die Wirkung des Kohlenoxyds auf den pflanzlichen und tierischen Organismus zu vergleichen, das Resultat, daß die Keimung von Kressesamen schon verhindert wurde, wenn der sechste Teil der umgebenden Atmosphäre aus Kohlenoxyd bestand. Nach ihm, aber ohne ihn zu berücksichtigen, behandelte Giglioli[3]) diese Frage und stellte fest, daß trockene Samen, auch wenn sie sehr lange (bis zu 374 Tagen) dem reinen Kohlenoxyd ausgesetzt wurden, nichts von ihrer Keimfähigkeit einbüßten. Wurden die Samen aber feucht dem reinen Kohlenoxyd ausgesetzt, so kam die Keimung während der Exposition nicht zustande, konnte aber nach Überführung der Objekte in Luft vor sich gehen, wenn der Aufenthalt im Kohlenoxyd nicht zu lange gedauert hatte. Denn schon bei 20tägiger Exposition keimten nachher nur 65 % und nach einem 61tägigen und noch längeren Aufenthalt war die Keimfähigkeit aller Samen erloschen. Von Linossier[4]) wurden die Versuche Cl. Bernards wieder aufgenommen und nachgewiesen, daß die Kohlenoxydwirkung nicht derartig eingreifend war, wie es letzterer aus seinen Versuchen folgerte. Linossier stellte nämlich fest, daß die Keimung von Samen (er verwandte Kresse, Lattich und Hirse) in einem Gemisch von 79 % Kohlenoxyd und 21 % Sauerstoff nicht verhindert, aber deutlich verzögert wurde gegenüber der Keimung in Luft, daß dagegen schon 50 % Kohlenoxyd keine deutliche Verzögerung mehr bewirkten. In Übereinstimmung mit Giglioli stellte auch Marcacci[5]) fest, daß die Keimung gequollener Samen (er verwendete Getreidesamen) in reinem Kohlenoxyd aussetzte, nach Überführung in Luft aber wieder eintrat. Er beobachtete außerdem, daß die Entwicklung dann viel lebhafter einsetzte als ohne den Aufenthalt in Kohlenoxyd. Er fand auch, daß, während in Kohlenoxyd die gequollenen Samen sich völlig in-

---

[1]) Morren, Recherches expérimentales pour déterminer l'influence de certains gaz industriels, spécialement du gaz acide sulfureux sur la végétation. (Rep. of the Intern. Horticult. Exhibition and Bot. Congress. London 1866.)

[2]) Claude Bernard, Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses. Paris 1857.

[3]) Giglioli, Italo, Resistenza dei semi e specialmente dei semi di medica, all'azione prolungata di agenti chimici gassosi e liquidi. (Gazetta chimica italiana. 1879.)

[4]) Linossier, G., Influence de l'oxyde de carbone sur la germination. (Compt. rend. hebdom. de séances et mémoires de la société de biologie. 1888.)

[5]) Marcacci, A., Le mécanisme de la mort dans l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. (Arch. di farmac. e terapeutica. Vol. I. Fasc. 1—2. 1853.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

takt erhielten, bei einem längeren Aufenthalt in Wasserstoff (in diesem speziellen Falle 5 Tage) schon die Fäulnis begann und infolgedessen auch eine Weiterentwicklung nach Überführung in Luft ausgeschlossen war. Er folgerte daraus eine konservierende Eigenschaft des Kohlenoxyds. Auch in der Arbeit von Richards und Mac Dougal, die schon in der Einleitung erwähnt wurde und in der Hauptsache in der nächsten Gruppe zu besprechen ist, finden sich einige Versuche über Keimung mitgeteilt, die im wesentlichen das Bisherige bestätigen. So beobachteten sie, daß 90 % und mehr Kohlenoxyd die Keimung gequollener Samen mit Ausnahme der Erbsen verhinderte. Diese letzteren entwickelten sich noch etwas weiter, ehe der Stillstand eintrat. Durch längere Einwirkungen solch hoher Konzentrationen trat schließlich bei allen Samen der Tod ein. Bei 70 % Kohlenoxyd keimten die Samen zwar aus, aber die Weiterentwicklung war nur kümmerlich, und schließlich ging die Pflanze zu Grunde.

Bei dieser allgemeinen Übereinstimmung über die Schädlichkeit des Kohlenoxyds für die Keimung ist es eigentlich zu verwundern, daß nicht schon hierdurch eine Revision der bestehenden Anschauungen über die Kohlenoxydwirkung veranlaßt wurde, zumal diese Arbeiten abgesehen von der letzten von Richards und Mac Dougal schon längere Zeit zurückliegen. Dies liegt aber daran, daß sich diese Untersuchungen ziemlich abseits vom Wege der allgemeinen pflanzenphysiologischen Forschung bewegten, indem sie teils von Tierphysiologen zu Vergleichszwecken angestellt wurden, teils wie bei Giglioli nur nebenher bei Gelegenheit der Untersuchung anderer Agentien. Die Folge davon war denn auch, daß sie fast völlig unbeachtet blieben und so ihre Resultate keine Verwertung für die Pflanzenphysiologie fanden.

Zur dritten Gruppe vereinigen sich die Untersuchungen, welche eine schädliche Wirkung des Kohlenoxyds ergeben haben, und zwar zum Unterschiede von der zweiten Gruppe auf Grund von Versuchen mit entwickelten Pflanzen. Es sind dies die beiden Arbeiten von Just und von Richards und Mac Dougal. Just[1]) operierte mit Lemnapflanzen, von denen er je zwei Exemplare in ein abgeschlossenes Gefäß mit Nährlösung und einer Atmosphäre von bestimmtem Kohlenoxydgehalt setzte. Er verwandte Konzentrationen von 80, 40, 20 und 10 %. Nach drei Wochen stellte er fest, daß in 10 % Kohlenoxyd keine Schädigung eingetreten war, die Pflanzen vielmehr ganz normal aussahen und sich auf 12 vermehrt hatten. In 80 % dagegen war keine Vermehrung eingetreten und die Blätter hatten sich fast alle entfärbt. Bei abnehmender Konzentration wurde auch die Wirkung entsprechend geringer, war aber noch bei 20 % deutlich wahrnehmbar. Es ergab sich also daraus als Resultat der Kohlenoxydeinwirkung eine Störung der Chlorophyllbildung und Hemmung des Wachstums. Ob man

[1]) Just, Über die Möglichkeit, die unter gewöhnlichen Verhältnissen durch grüne beleuchtete Pflanzen verarbeitete Kohlensäure durch Kohlenoxydgas zu ersetzen. (Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. 5. 1882.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nun infolge des Umstandes, daß Just es unterlassen hatte, die Resultate seiner Vorgänger zu berücksichtigen und sich mit ihnen auseinanderzusetzen, diese doch nicht für widerlegt hielt, oder ob man den Versuchen an einem einzigen Objekte keine Allgemeingültigkeit zuschreiben wollte, sei dahingestellt; jedenfalls galt nach wie vor das Kohlenoxyd als ein unschädliches Gas. Umfassender waren die Versuche von Richards und Mac Dougal. Sie experimentierten zunächst mit Keimlingen und zwar von *Vicia faba, Zea Mays, Sinapis alba, Helianthus annuus, Triticum vulgare, Fagopyrum Fagopyrum, Oryza sativa.* Die Gasmischung bestand aus 21 % Sauerstoff und 79 % Kohlenoxyd. Es zeigte sich, daß das Längenwachstum der Sprosse sowohl, wie auch der Wurzeln bedeutend zurückblieb hinter dem der Kontrollpflanzen in Luft. Ebenso war die Entwicklung von Seitensprossen und -Wurzeln nur kümmerlich, wenn nicht ganz verhindert. Weiter wurde gefunden, daß die Stammbasis im Kohlenoxyd dicker war als in der Luftkontrolle und die mikroskopische Untersuchung zeigte, daß dies zurückzuführen war auf eine Vergrößerung der Zellen des Rindenparenchyms, ohne daß aber die Zahl der Zellen zugenommen hätte. Auch für die Chlorophyllbildung wurde eine erhebliche Beeinträchtigung der Keimlinge festgestellt. So ergrünten Senfkeimlinge im Kohlenoxyd erst kaum, nachdem sie eine Woche dem Licht ausgesetzt waren, während die Kontrollpflanzen in Luft innerhalb weniger Stunden ergrünten. Ferner wurden erwachsene Exemplare von *Gossypium* und *Haematoxylon* mit ihrem unteren Teil in Gefäße mit Kohlenoxyd eingeschlossen. Es zeigte sich, daß innerhalb von 5—20 Tagen die Blätter vertrockneten, abfielen und die Pflanzen schließlich eingingen. In Versuchen, bei welchen ganze Pflanzen, *Haematoxylon, Mimosa* und *Meibomia* in die Kohlenoxydatmosphäre gestellt wurden, zeigte sich, daß bei mehr als 90 % Kohlenoxydgehalt die Pflanzen sehr schnell eingingen. Bei Mischungen, in denen derselbe Sauerstoffgehalt wie in der Luft vorhanden war, entfärbten sich die Blätter und fielen ab. Wurde der Versuch nicht länger als zwei Wochen ausgedehnt, so vermochten sich die Pflanzen wieder zu erholen und neue Blätter auszutreiben. Sukkulente Pflanzen von *Opuntia* und *Mesembryanthemum* reagierten in analoger Weise; das letztere wurde schon bei 25 % Kohlenoxyd nach vierwöchentlicher Ausdehnung des Versuches getötet.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß die Versuchsresultate an sich überall übereinstimmen mit Ausnahme derjenigen von de Saussure. Bei diesen aber muß man annehmen, daß die Versuchsbedingungen keine völlig exakten waren. Denn wenn de Saussure behauptet, daß die Pflanzen 6 Wochen lang in reinem Kohlenoxyd vollkommen wie in atmosphärischer Luft gediehen seien, so ist das schon deswegen geeignet, Zweifel zu erregen, weil sich in dieser Zeit doch schon der Sauerstoffmangel hätte bemerkbar machen müssen. Sehen wir also von dieser Arbeit ab, so läßt sich aus den Versuchsresultaten der ersten Gruppe nur folgern, daß das Kohlenoxyd nicht momentan zerstörend wirkt,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

daß aber dennoch eine Wirkung vorhanden ist, geht dann aus den anderen, länger ausgedehnten Versuchen hervor, nämlich vor allem die, daß die Entwicklung gehemmt wird, was natürlich nicht sofort äußerlich festgestellt werden kann. Wenn demnach bis jetzt die Ansicht von der Unschädlichkeit des Kohlenoxyds galt, so ist das zwar ganz erklärlich aus dem Umstande, daß eben nur die Arbeiten der ersten Gruppe und die Just'sche allgemein bekannt waren, und daß die Analogie mit der Tierphysiologie, worauf ich in der Einleitung hingewiesen habe, diese Ansicht nahelegte; nachdem aber jetzt diese Grundlagen als hinfällig erwiesen sind, so kann die entgegengesetzte Ansicht, daß nämlich das Kohlenoxyd als ein Gift zu betrachten sei, kaum noch bezweifelt werden. Trotzdem wollte ich es nicht unterlassen, dies auch noch von meiner Seite experimentell zu bestätigen. Ich wählte zu diesem Zwecke, um schnell wachsende Objekte zu haben, Keimlinge von *Lupinus albus.* Die Versuchsanordnung war folgende:

Nachdem die Samen 24 Stunden im Wasser gequollen waren, wurden sie zum Keimen in feuchte Sägespäne gelegt und, wenn die Wurzeln eine genügende Länge erreicht hatten, zum Versuch herausgenommen. Die Keimlinge wurden dann zu je 8 auf eine runde Korkplatte gesteckt, wobei die mit feuchter Watte umgebenen Kotyledonen von einer Nadel durchbohrt wurden. Diese Korkplatte wurde dann auf einem schweren Ständer befestigt und so auf einen Porzellanuntersatz gestellt. Auf diesen Untersatz wurde dann unter Wasser eine Glasglocke gestülpt. Wurde nun der Untersatz mit der Glocke aus dem Wasser herausgehoben, so blieb infolge des Luftdrucks die Glocke mit Wasser gefüllt. Jetzt wurde mittels eines Schlauches, der bis unter die Glocke reichte, vorsichtig das Gas eingeleitet, bis soviel Wasser verdrängt war, daß die Keimlinge vollständig aus dem Wasser ragten und auch beim Weiterwachsen nicht eintauchen konnten. Der Rest des Wassers schloß das Gas gegen die äußere Luft ab. Vor dem Aufstecken war durch einen dünnen Tuschestrich die Grenze zwischen Wurzel und Sproß bezeichnet, und von da ab wurde dann die Wurzel gemessen. Zu jedem Kohlenoxydversuche wurde zur Kontrolle in genau derselben Weise ein Luftversuch angesetzt, bei dem anstatt des Kohlenoxyds atmosphärische Luft, die vorher von Kohlensäure befreit war, unter die Glocke geleitet wurde. Der Lichteinfluß wurde immer durch Überdecken der Glocke ausgeschaltet. Um dem Umstande Rechnung zu tragen, daß die Atmosphäre unter der Glocke fortwährend Veränderungen in ihrer Zusammensetzung ausgesetzt ist infolge des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureausscheidung der Pflanze, sowie der Diffusion aus dem Wssser und schließlich der schon erwähnten Oxydation des Kohlenoxyds zu Kohlensäure, wurde das Gas alle 12 Stunden erneuert. Alle 24 Stunden wurden die Messungen vorgenommen. Nach ihrem Aufenthalt in der Kohlenoxyd- resp. Luftatmosphäre unter der Glocke wurden die Versuchsobjekte in Wasser weiterkultiviert, um etwaige Nachwirkungen festzustellen. Diese Wasserkulturen wurden

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

in der Weise angesetzt, daß die Keimlinge durch die Löcher einer auf Wasser schwimmenden Korkplatte gesteckt wurden, so daß sich die Wurzeln vollständig in Wasser befanden.

Wir kommen nun zu den Versuchen selbst. In der

1. Versuchsreihe

wurde eine Kohlenoxydkonzentration von 75 % angewendet. Die zahlenmäßigen Ergebnisse sind in den beistehenden, den entsprechenden Versuchen gleichbenannten Tabellen übersichtlich zusammengestellt.

Versuch Ia bringt zunächst die Bestätigung für die Schädlichkeit des Kohlenoxyds. Während in Luft die Zunahme der Wurzellänge am ersten Tage im Mittel 11.5 mm beträgt, ist im Kohlenoxyd nur eine Zunahme von 3.6 mm festzustellen, also nur ungefähr ein Drittel des normalen Wachstums. Am zweiten Tage ist der Unterschied noch größer; es ist die Zunahme im Kohlenoxyd nur ein Sechstel der normalen. Was die Frage der Nachwirkungen des Kohlenoxyds anbetrifft, zu deren Feststellung die Versuchsobjekte nach dem dreitägigen Aufenthalt im Kohlenoxyd noch in Wasser weiterkultiviert wurden, so zeigen die erhaltenen Zahlen, daß die Kohlenoxydwirkung hier ziemlich schnell überwunden wurde. Denn schon am ersten Tage der Wasserkultur ist die Längenzunahme der Kohlenoxydkeimlinge im Mittel 6.4 mm, also nicht viel weniger als die 7.9 mm betragende der Luftkeimlinge, und für den dritten Tag war sogar das Verhältnis 30.8 mm zu 28.6 mm. Um zu entscheiden, ob dies Überholen durch die Kohlenoxydkeimlinge in diesem Falle nur zufällig war oder ihm in der Tat Gesetzmäßigkeit zugrunde lag, wurde

Versuch Ib angesetzt, bei welchem die Objekte nur einen Tag unter der Glocke blieben und dann mehrere Tage im Wasser weiterkultiviert wurden. Werfen wir nun einen Blick auf die zugehörige Tabelle Ib, so zeigt sich als Resultat, daß schädigende Nachwirkungen durch den eintägigen Kohlenoxydeinfluß überhaupt nicht mehr auftreten, dagegen die im vorigen Versuche nur angedeutete Erscheinung der Wachstumsbeschleunigung im Gefolge der Kohlenoxydwirkung hier sich ganz deutlich geltend macht. Bemerkenswert ist hierbei, daß die vermehrte Wachstumsbeschleunigung nur so lange anhält, bis die absolute Wurzellänge der Kohlenoxydkeimlinge, die beim Beginn der Wasserkultur hinter derjenigen der Luftkeimlinge zurückstand, dieser ungefähr wieder gleich geworden ist, und daß dann die Wachstumszunahme bei beiden annähernd dieselbe ist. Diese Erscheinung scheint derjenigen analog zu sein, die Marcacci erwähnt und die schon bei der Literaturübersicht angeführt wurde, daß nämlich gequollene Samen, die einige Tage reinem Kohlenoxyd ausgesetzt waren und deren Auskeimen dadurch zurückgehalten war, nach Überführung in Luft sich auffallend schnell entwickelten. Ob nun hiernach dem Kohlenoxyd die spezifische Eigenschaft zuzuschreiben ist, das Wachstum in gewisser Weise anzuregen, oder ob man diese Er-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle Ia.

No. d. Keimlinge	Kultur unter d. Glocke in 75 % CO							Kultur im Wasser					
	Wurzellänge zu Beginn des Versuch. in mm	Länge nach 24 Stunden in mm	Zunahme in mm	Länge nach 48 Stunden in mm	Zunahme in mm	Länge nach 72 Stunden in mm	Zunahme in mm	Länge nach 96 Stunden in mm	Zunahme in mm	Länge nach 120 Stunden in mm	Zunahme in mm	Länge nach 144 Stunden in mm	Zunahme in mm
1	5.5	8.5	3.0	11.0	2.3	15.0	4.0	19.0	4.0	39.0	20.0	70.0	31.0
2	5.0	8.0	3.0	12.0	4.0	16.5	4.5	23.0	6.5	44.0	21.0	70.0	26.0
3	5.0	8.0	3.0	11.0	3.0	14.0	3.0	20.0	6.0	40.0	20.0	70.0	30.0
4	6.5	10.0	3.5	12.5	2.5	15.5	3.0	22.5	7.0	44.0	21.5	79.0	35.0
5	5.0	9.0	4.0	11.5	2.5	14.5	3.0	21.0	6.5	44.0	23.0	73.0	29.0
6	5.0	8.0	3.0	11.5	3.5	15.5	4.0	23.0	7.5	52.0	29.0	85.0	33.0
7	5.0	10.0	5.0	13.0	3.0	15.5	2.5	21.5	6.0	44.0	22.5	75.0	31.0
8	5.0	9.0	4.0	12.0	3.0	14.0	2.0	22.0	8.0	44.0	22.0	75.0	31.0
Sa.	42.0	70.5	28.5	94.5	24.0	120.5	26.0	172.0	51.5	351.0	179.0	597.0	246.0
Mittel	5.3	8.8	3.6	11.8	3.0	15.1	3.3	21.5	6.4	43.9	22.4	74.6	30.8
	Kultur unter der Glocke in Luft							Kultur in Wasser					
1	6.0	18.0	12.0	36.0	18.0	58.5	22.5	66.0	7.5	35.0	19.0	125.0	30.0
2	5.0	13.0	8.0	27.0	14.0	44.0	17.0	53.0	9.0	74.0	21.0	82.0	12.0
3	5.5	17.0	11.5	34.5	17.5	50.0	15.5	55.0	5.0	80.0	25.0	113.0	33.0
4	5.0	20.0	15.0	43.0	23.0	62.0	19.0	68.0	6.0	92.0	24.0	123.0	31.0
5	4.0	15.0	11.0	32.0	17.0	50.0	18.0	60.0	10.0	90.0	30.0	118.0	28.0
6	5.0	17.0	12.0	38.0	21.0	59.0	21.0	65.0	6.0	94.0	29.0	117.0	23.0
7	4.5	14.0	9.5	31.0	17.0	52.5	21.5	61.0	8.5	85.0	24.0	120.0	35.0
8	6.0	19.0	13.0	39.0	20.0	60.0	21.0	71.0	11.0	98.0	27.0	135.0	37.0
Sa.	41.0	133.0	92.0	280.5	147.5	436.0	155.5	499.0	63.0	708.0	205.0	933.0	229.0
Mittel	5.1	16.6	11.5	35.1	18.4	54.5	19.4	62.4	7.9	88.5	26.1	116.6	28.6

Tabelle Ib.

No. d. Keimlinge	Kultur unt. d. Glocke in 75 % CO			Kultur in Wasser							
	Wurzellänge zu Beginn des Versuch. in mm	Länge nach 1 Tage in mm	Zunahme in mm	Länge nach 2 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 3 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 5 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 7 Tagen in mm	Zunahme in mm
1	24.0	30.0	6.0	40.0	10.0	65.0	25.0	115.0	50.0	150.0	35.0
2	21.0	26.0	5.0	38.0	12.0	65.0	27.0	121.0	56.0	151.0	30.0
3	22.0	27.0	5.0	36.0	9.0	60.0	24.0	112.0	52.0	150.0	38.0
4	23.5	28.0	4.5	40.0	12.0	65.0	25.0	120.0	55.0	153.0	35.0
5	21.0	25.0	4.0	37.0	12.0	55.0	18.0	118.0	63.0	158.0	40.0
6	23.0	28.0	5.0	37.0	9.0	61.0	24.0	125.0	64.0	160.0	35.0
7	21.0	27.0	6.0	39.0	12.0	65.0	26.0	122.0	57.0	163.0	41.0
8	24.0	30.5	6.5	43.0	12.5	70.0	27.0	130.0	60.0	163.0	33.0
Sa.	179.5	221.5	42.0	310.0	88.5	506.0	196.0	963.0	457.0	1250.0	287.0
Mittel	22.4	27.7	5.3	38.8	11.1	63.3	24.5	120.4	57.1	156.3	35.9
	Kultur unt. d. Glocke in Luft			Kultur in Wasser							
1	23.0	46.0	23.0	52.0	6.0	72.0	20.0	124.0	52.0	156.0	32.0
2	21.0	38.0	17.0	44.0	6.0	62.0	18.0	110.0	48.0	153.0	43.0
3	22.5	39.0	16.5	45.0	6.0	70.0	25.0	120.0	50.0	149.0	29.0
4	19.5	39.0	19.5	47.0	8.0	70.0	23.0	122.0	52.0	155.0	33.0
5	23.0	43.0	20.0	49.0	6.0	70.0	21.0	124.0	54.0	163.0	39.0
6	23.0	43.5	20.5	50.0	6.5	65.0	15.0	107.0	42.0	153.0	46.0
7	22.0	43.0	21.0	49.0	6.0	71.0	22.0	118.0	47.0	160.0	42.0
8	20.0	36.0	16.0	44.0	8.0	63.0	19.0	109.0	46.1	142.0	33.0
Sa.	174.0	327.5	153.5	380.0	52.5	543.0	163.0	934.0	391.0	1231.0	297.0
Mittel	21.8	40.9	19.2	47.5	6.6	67.9	20.4	116.8	48.9	153.9	37.1

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle Ic.

No. der Keimlinge	Kultur unter d. Glocke in 75% CO			Kultur in Wasser					
	Wurzellänge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 3 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 4 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 5 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 6 Tagen in mm	Zunahme in mm
1	11.5	23.5	12.0	25.0	1.5	50.5	25.5	62.0	11.5
2	13.0	24.0	11.0	28.0	4.0	58.0	30.0	76.0	18.0
3	12.0	22.0	10.0	25.5	3.5	58.5	33.0	76.5	18.0
4	13.5	24.5	11.0	25.0	0.5	57.0	32.0	65.0	8.0
5	12.0	23.0	11.0	24.0	1.0	51.0	27.0	67.5	16.5
6	14.0	26.0	12.0	26.0	0.0	66.0	40.0	92.0	26.0
7	14.5	23.5	9.0	25.0	1.5	61.5	36.5	85.0	23.5
8	14.0	23.5	9.5	25.0	1.5	61.0	36.5	83.0	22.0
Sa.	104.5	190.0	85.5	203.5	13.5	463.5	260.0	607.0	143.5
Mittel	13.7	23.8	10.7	25.4	1.7	57.9	32.5	75.9	17.9
	Kultur unter der Glocke in Luft			Kultur in Wasser					
1	11.5	47.0	35.5	47.0	—	49.0	2.0	57.0	8.0
2	12.5	44.0	31.5	44.0	—	44.0	—	45.5	1.5
3	10.0	44.0	34.0	44.0	—	—	—	—	—
4	11.5	41.0	29.5	41.0	—	—	—	—	—
5	14.0	45.5	31.5	45.5	—	47.5	2.0	55.0	7.5
6	13.0	50.5	37.5	50.5	—	51.0	0.5	52.5	1.5
7	13.0	48.5	35.5	48.5	—	50.0	1.5	56.0	6.0
8	13.0	45.0	32.0	45.0	—	50.5	5.5	68.0	17.5
Sa.	98.5	365.5	267.0	365.5	—	292.0	11.5	334.0	42.0
Mittel	12.3	45.7	33.4	45.7	—	48.7	1.8	55.7	7.0

Tabelle II.

50% CO.

No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 24 Stunden in mm	Zunahme in mm
1	18.0	26.0	8.0
2	17.0	25.5	8.5
3	17.5	26.0	8.5
4	20.0	28.5	8.5
5	17.0	25.5	8.5
6	18.0	26.0	8.0
7	17.0	27.5	10.5
8	17.5	28.0	10.5
Summa	142.0	213.0	71.0
Mittel	17.8	26.6	8.9

Luft.

No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 24 Stunden in mm	Zunahme in mm
1	18.0	36.5	18.5
2	17.0	34.5	17.0
3	19.0	38.5	19.5
4	16.0	33.5	17.5
5	16.0	35.5	19.5
6	20.0	38.5	18.5
7	17.5	35.5	17.5
8	20.0	40.0	20.5
Summa	143.5	291.5	148.0
Mittel	17.9	36.4	18.5

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle III.

25% CO.				Luft.			
No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 24 Stunden in mm	Zunahme in mm	No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 24 Stunden in mm	Zunahme in mm
1	9.0	16.5	7.5	1	8.5	21.0	12.5
2	11.0	17.5	6.5	2	9.5	19.5	10.0
3	8.5	15.0	6.5	3	10.5	24.5	14.0
4	9.5	17.5	8.0	4	9.0	20.0	11.0
5	10.0	18.0	8.0	5	8.0	20.5	12.5
6	8.0	14.5	6.5	6	10.0	20.5	10.5
7	8.5	14.0	5.0	7	8.0	21.0	13.0
8	10.5	17.5	7.0	8	9.5	22.0	12.5
Summa	75.0	130.5	55.5	Summa	73.0	169.0	96.0
Mittel	9.4	16.3	6.8	Mittel	9.1	21.1	12.0

Tabelle IV.

10% CO.				Luft.			
No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 24 Stunden in mm	Zunahme in mm	No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 24 Stunden in mm	Zunahme in mm
1	10.5	26.5	16.0	1	10.0	29.0	19.0
2	10.0	24.5	14.5	2	9.0	27.5	18.5
3	8.0	24.0	16.0	3	9.0	31.0	22.0
4	9.5	26.0	16.5	4	8.0	31.0	23.0
5	9.0	25.0	16.0	5	10.0	31.0	21.0
6	9.0	24.0	15.0	6	11.0	32.5	21.5
7	8.0	23.5	15.5	7	10.0	33.0	23.0
8	10.5	25.5	15.5	8	10.0	29.0	19.0
Summa	74.5	199.0	125.0	Summa	77.0	244.0	167.0
Mittel	9.3	24.9	15.6	Mittel	9.6	30.5	20.9

Tabelle V.

5% CO.				Luft.			
No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 48 Stunden in mm	Zunahme in mm	No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 48 Stunden in mm	Zunahme in mm
1	10.5	27.0	16.5	1	12.0	39.0	27.0
2	11.0	28.0	17.0	2	12.0	37.0	25.0
3	9.0	24.0	15.0	3	10.0	32.0	22.0
4	12.0	36.0	18.0	4	9.5	35.5	26.0
5	12.0	36.0	18.0	5	10.5	36.0	25.5
6	12.5	29.5	17.0	6	10.0	35.0	25.0
7	9.0	24.0	15.0	7	11.0	37.0	26.0
8	9.0	26.0	17.0	8	9.0	33.0	24.0
Summa	85.0	218.5	133.5	Summa	84.0	284.5	200.5
Mittel	10.6	27.3	16.7	Mittel	10.5	35.6	25.1

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle VI.

2% CO.				Luft.			
No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 48 Stunden in mm	Zunahme in mm	No. der Keimlinge	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 48 Stunden in mm	Zunahme in mm
1	12.0	34.0	22.0	1	11.0	45.0	34.0
2	12.0	37.0	25.0	2	11.0	43.0	32.0
3	9.5	29.0	19.5	3	11.0	44.0	33.0
4	10.0	29.0	19.0	4	9.5	38.0	28.5
5	12.5	38.0	25.5	5	11.5	45.0	33.5
6	11.5	30.5	19.0	6	12.5	45.0	32.5
7	10.0	33.0	23.0	7	9.0	38.0	29.0
8	9.0	30.0	21.0	8	10.0	42.0	32.0
Summa	86.5	260.5	174.0	Summa	85.5	340.0	254.5
Mittel	10.8	32.6	21.8	Mittel	10.7	42.5	31.8

Tabelle VII.

No. der Keimlinge	Kultur unter der Glocke in $^1/_2$% CO							Kultur in Wasser			
	Länge zu Beginn des Versuches in mm	Länge nach 1 Tage in mm	Zunahme in mm	Länge nach 2 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 3 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 5 Tagen in mm	Zunahme in mm	Länge nach 7 Tagen in mm	Zunahme in mm
1	6.5	20.0	13.5	33.1	13.0	46.0	13.0	76.0	30.0	118.0	42.0
2	5.5	18.0	12.5	28.0	10.0	41.0	13.0	73.0	32.0	130.0	57.0
3	5.0	18.0	13.0	32.0	14.0	44.0	12.0	73.0	29.0	120.0	47.0
4	5.0	14.0	9.0	27.0	13.0	41.0	14.0	72.0	31.0	123.0	51.0
5	5.5	14.0	8.5	31.0	17.0	39.0	8.0	80.0	41.0	143.0	63.0
6	5.0	18.0	13.0	32.0	14.0	43.0	11.0	75.0	32.0	110.0	35.0
7	5.0	17.5	12.5	34.0	16.5	48.0	14.0	87.0	39.0	136.0	49.0
8	5.0	17.5	12.5	32.0	14.5	43.0	11.0	71.0	28.0	113.0	42.0
Summ.	42.5	137.0	94.5	249.0	112.0	345.0	36.0	607.0	262.0	993.0	386.0
Mittel	5.3	17.1	11.8	31.1	14.0	43.1	12.0	75.9	32.8	124.1	48.3
	Kultur unter der Glocke in Luft							Kultur in Wasser			
1	6.0	20.0	14.0	38.0	18.0	55.0	17.0	72.0	17.0	115.0	43.0
2	5.0	20.0	15.0	41.0	21.0	59.0	18.0	79.0	20.0	150.0	71.0
3	5.0	21.0	16.0	42.0	21.0	60.0	18.0	81.0	21.0	117.0	36.0
4	5.0	17.0	12.0	32.0	15.0	49.0	17.0	65.0	16.0	114.0	43.0
5	6.0	22.5	16.5	43.0	20.5	58.0	15.0	78.0	20.0	137.0	59.0
6	6.0	21.0	15.0	44.0	23.0	60.0	16.0	77.0	17.0	127.0	50.0
7	5.0	21.0	16.0	41.0	20.0	56.0	15.0	82.0	26.0	130.0	48.0
8	5.0	18.0	13.0	33.0	15.0	50.0	17.0	76.0	26.0	125.0	49.0
Summ.	43.0	160.5	117.5	314.0	153.5	447.0	133.0	610.0	163.0	1015.0	405.0
Mittel	5.4	20.1	14.7	39.3	19.2	55.9	16.6	76.3	20.4	126.9	50.6

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

scheinung dadurch erklären muß, daß der Organismus bis zu einem gewissen Grade erlittene Hemmungen wieder auszugleichen sucht, muß ich dahingestellt sein lassen.

Eine weitere Eigentümlichkeit zeigt der

Versuch Ic. Bei diesem wurden die Objekte 3 Tage lang in der Kohlenoyyd- bezw. Luftatmosphäre unter der Glocke gehalten, und zwar zum Unterschiede von den beiden vorigen Versuchen, ohne in dieser Zeit die Atmosphäre zu erneuern, und ohne für die Feuchthaltung zu sorgen durch die oben erwähnten Vorsichtsmaßregeln, wie Umgeben der Kotyledonen mit feuchter Watte und das Eintauchen der Objekte in Wasser beim Gaswechsel. Wie sich aus Versuchen, die hier nicht weiter mitgeteilt sind, ergab, macht sich unter solchen Verhältnissen sehr bald der Feuchtigkeitsmangel geltend, nämlich dadurch, daß das Wachstum mit der Zeit immer geringer wird, so daß am dritten Tage fast gar keine Längenzunahme mehr zu konstatieren ist. Diese Schädigung wirkt auch noch nach, wenn die Objekte nach drei Tagen in die Wasserkulturen gesetzt werden, da dann das Wachstum erst ganz allmählich wieder aufgenommen wird. Wie nun aus den Zahlen der Tabelle Ic hervorgeht, zeigt sich hierbei ein interessanter Unterschied zwischen den Kohlenoxyd- und Luftkeimlingen. Die Luftkeimlinge sind durch den dreitägigen Aufenthalt unter der Glocke derartig alteriert, daß sie nach Überführung in die Wasserkulturen das Wachstum am ersten Tage überhaupt noch nicht und in den folgenden Tagen erst in ganz geringem Maße wieder aufnehmen können. Vollständig erholen sie sich innerhalb der Versuchszeit überhaupt nicht; bei zwei Exemplaren ist das Leben sogar ganz erloschen. Die Kohlenoxydkeimlinge dagegen zeigen schon am ersten Tage der Wasserkultur ein wenn auch geringes Wachstum und erholen sich in den nächsten Tagen fast völlig. Diese Erscheinung ist nun entweder so zu deuten, daß man den unter dem Einfluß des Kohlenoxyds stehenden Pflanzen eine verringerte Empfindlichkeit gegen Wassermangel zuschreibt, oder daß sie infolge der durch das Kohlenoxyd harabgesetzten Lebenstätigkeit weniger Feuchtigkeit gebrauchen, und deshalb auf einen Mangel daran weniger reagieren. Abgesehen davon liegt aber auch die Annahme nicht allzufern, daß dies dieselbe Erscheinung wie im vorigen Versuche ist, daß nämlich die Pflanze nach einem Aufenthalt in Kohlenoxyd die Lebenstätigkeit mit um so größerer Energie wieder aufnimmt, und deshalb entgegengesetzte Hindernisse leichter zu überwinden vermag.

Wenden wir uns nun zur

2. Versuchsreihe.

Hier sollte gezeigt werden, bis zu welchem niedrigsten Kohlenoxydgehalt der umgebenden Atmosphäre die Versuchsobjekte noch eine Reaktion zeigen. Es wurden deshalb eine Reihe von Versuchen (II—VI) angesetzt, in denen der Kohlenoxydgehalt stufenweise reduziert wurde. In den Versuchen II mit 50 %, III mit 25 %, IV mit 10 % Kohlenoxyd wurden die Objekte einen Tag

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der betreffenden Atmosphäre ausgesetzt und in V mit 5 % und VI mit 2 % zwei Tage, um die bei abnehmender Konzentration natürlich immer geringer werdende Wirkung durch längere Versuchsdauer wieder mehr hervortreten zu lassen. Auch bei diesen Versuchen wurde das Gas nicht erneuert. Aus den Tabellen II—VI, in denen die Ergebnisse zusammengestellt sind, geht hervor, daß bis zu 2 % noch eine deutliche Reaktion vorhanden ist. Um nun noch weiter in der Konzentration des Kohlenoxyds heruntergehen zu können wurde die

3. Versuchsreihe

angesetzt. Hier wurden, da von vornherein nur sehr geringe Unterschiede zu erwarten waren und deshalb alle auch noch so kleinen störenden Faktoren umso mehr geeignet waren, das Resultat zu trüben, wieder alle oben besprochenen Maßregeln angewendet, nämlich alle 12 Stunden das Gas zu erneuern, dabei die Objekte in Wasser zu tauchen und mit feuchter Watte zu umgeben. In Versuch VII wurden die Objekte drei Tage lang einer Atmosphäre mit einem $^1/_2$ %igen Kohlenoxydgehalt ausgesetzt und alle 24 Stunden gemessen. Darauf wurden sie noch einige Tage in Wasser weiterkultiviert, um festzustellen, wie sich bei diesem geringen Kohlenoxydgehalt die Nachwirkungen geltend machten. Das Resultat war, wie Tabelle VII zeigt, daß auch hier noch die hemmende Wirkung des Kohlenoxyds zu Tage tritt. Am ersten Tage ist der Unterschied zwischen den Kohlenoxyd- und Luftkeimlingen noch sehr gering (17.1 zu 20.1); am zweiten Tage aber (31.1 zu 39.5), und erst recht am dritten Tage (43.1 zu 55.9) ist die Wirkung nicht mehr zu verkennen. Schädliche Nachwirkungen zeigen sich nicht mehr, vielmehr tritt sofort das Bestreben hervor, die erlittene Hemmung wieder auszugleichen. Dies ist schon am zweiten Tage der Wasserkultur erreicht, bis zu dem die Kohlenoxydkeimlinge um 32.8 mm zugenommen haben, die Luftkeimlinge dagegen nur um 20.4 mm.

Die Ergebnisse

der Versuche über die Kohlenoxydwirkung auf die Lupinenkeimlinge waren also kurz folgende:

1) Das Kohlenoxyd zeigte schädigende Eigenschaften, die sich in einer Herabsetzung der Wachstumsintensität äußerten.
2) Schädigende Nachwirkungen zeigten sich nur bei hoher Konzentration des Kohlenoxyds und langer Versuchsdauer.
3) Die Schädigung war nachweisbar bis zu $^1/_2$ % Kohlenoxyd.
4) Nach der Entfernung des Kohlenoxyds suchte die Pflanze die erlittene Hemmung durch beschleunigtes Wachstum wieder auszugleichen.
5) Unter dem Einfluß des Kohlenoxyds zeigte sich eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit.

Sporenkeimung und Hyphenwachstum von Pilzen.

Im Gegensatz zu den Phanerogamen, über die, wie oben gezeigt, eine immerhin nicht geringe Anzahl von Arbeiten über ihre

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Reaktion gegen das Kohlenoxyd vorliegt, sind in dieser Hinsicht die Kryptogamen bis jetzt nur sehr wenig berücksichtigt.

Frankland[1]) hat im Jahre 1889 eine Arbeit veröffentlicht, in der er neben verschiedenen anderen Gasen auch das Kohlenoxyd behandelt, und zwar in Hinsicht auf seine Wirkung auf Bakterien. Er operierte mit drei verschiedenen Arten: Bacillus pyocyaneus, Choleraspirillen und Finkler'schen Spirillen. Es stellte sich dabei heraus, daß die Entwicklung von Bacillus pyocyaneus durch reines Kohlenoxyd vollständig aufgehalten wurde, aber nach seiner Überführung in Luft wieder ganz normal verlief. Die beiden anderen Arten wurden in ihrer Entwicklung zwar nicht ganz aufgehalten, aber doch sehr beeinträchtigt und schienen auch nach Zuführung von Luft noch sehr unter den Folgen der Kohlenoxydeinwirkung zu leiden.

Richards und Mac Dougal haben im Anschluß an ihre Untersuchungen über die Phanerogamen auch noch einige Moose untersucht und fanden, daß diese sich viel weniger empfindlich als jene gegen das Kohlenoxyd zeigten. Formen wie *Catherinea angustata, Dicranella heterophylla* und *Physcomitrium turbinatum* wurden über drei Monate im Kohlenoxyd gehalten und entwickelten trotzdem neue Blätter, in zwei Fällen sogar Sporophyten. Immerhin konnten auch hier bei eingehender Untersuchung Schädigungen festgestellt werden, die sich besonders bei den älteren Blättern zeigten und in einer Affizierung des Zellinhaltes und der Chloroplasten bestanden. Etwas empfindlicher zeigte sich *Mnium undulatum*. Hier wurde nach dreiwöchentlicher Einwirkung von 80 % Kohlenoxyd festgestellt, daß ungefähr der fünfte Teil der Blattzellen tot waren und überall die Chloroplasten sowohl der Zahl, als auch der Größe nach geringer waren. Auch eine *Nitella* wurde untersucht. Die Wirkung von 80 % Kohlenoxyd zeigte sich im Verblassen der grünen Farbe und Verdickung des Protoplasmas.

Da somit nach dem vorliegenden Material eine Entscheidung über die Frage, ob das Kohlenoxyd auf alle niederen Pflanzen schädlich wirke, und ob sich diese Schädigung überall in derselben Weise äußere, noch nicht möglich ist, vielmehr erst noch weitere Untersuchungen erfordert, so wurden von mir in dieser Richtung Versuche angestellt, und zwar zunächst mit Pilzen. Es standen mir hierfür zur Verfügung *Mucor stolonifer, Mucor Mucedo, Botrytis cinerea, Penicillium glaucum* und *Aspergillus niger*. Diese wurden als Reinkulturen in Petrischalen gezogen auf Nährgelatine, die zusammengesetzt war aus 50 Gewichtsteilen Gelatine, 500 Wasser und 450 Pasteur'scher Nährlösung (838 g Wasser, 150 g Kandiszucker, 10 g Ammoniumtartrat, 0.2 g Magnesiumsulfat, 0.2 g Kalciumphosphat, 2 g saures Kaliumphosphat auf 1000 g). Von Zeit zu Zeit wurden die Kulturen frisch angesetzt, so daß für die Versuche immer junge, kräftige Objekte vorhanden waren. Die Versuche wurden teils mikroskopisch, teils makroskopisch aus-

[1]) Frankland, F., Über den Einfluß der Kohlensäure und anderer Gase auf die Entwicklungsfähigkeit der Mikroorganismen. (Zeitschrift für Hygiene. Bd. 6. 1889.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

geführt. Was die Methode anbetrifft, so sei zunächst für den mikroskopischen Teil folgendes bemerkt:

Die Untersuchungen wurden derart ausgeführt, daß das Untersuchungsobjekt sich im hängenden Tropfen in einer feuchten Gaskammer befand, die auf dem Objekttisch des Mikroskops befestigt war, und daß dann ein konstanter Gasstrom hindurchgeleitet wurde. Die Gaskammer bestand aus einem Messingrahmen mit je einem Ansatzrohr zu beiden Seiten und einem Boden aus Glas. Der Deckel, den man abschrauben konnte, war ebenfalls aus Messing und trug über einer Öffnung in der Mitte ein sorgfältig aufgekittetes Deckglas. Zwischen Rahmen und Deckel war ein Lederring eingefügt, der beim Zuschrauben die Gaskammer vollständig luftdicht abschloß. Vor jedem Versuch wurde die Dichtigkeit genau kontrolliert. Die Befestigung der Gaskammern an dem Objekttisch des Mikroskops geschah durch je eine Klammer an den beiden Seiten. Das verwendete Mikroskop war ein Seibert'sches, und zwar wurde zur Beobachtung Objektiv III und Okular I gebraucht. Zu jedem Versuch wurden drei solcher Mikroskope mit Gaskammern durch Gummischläuche hintereinander geschaltet und ebenso drei für die Luftkontrolle. Die Beschickung der Gaskammern mit Sporenmaterial geschah in der Weise, daß zunächst die Sporen mittels einer sterilen Platinöse aus der Petrischale in ein mit Pasteur'scher Nährlösung gefülltes Embryoschälchen gebracht und dort tüchtig herumgerührt wurden, damit sie sich gleichmäßig verteilten. Dann wurde der Boden der Gaskammer mit Pasteur'scher Nährlösung gefüllt und auch ein Tropfen davon auf den umgekehrten Deckel gebracht. Darauf wurde aus dem Embryoschälchen in diesen Tropfen übergeimpft und der Deckel fest aufgeschraubt. Auf diese Weise wurde es erreicht, daß die Sporen gleichmäßig verstreut und nicht in zu großer Anzahl vorhanden waren. Nachdem alle drei Mikroskope in dieser Weise hergerichtet waren, wurde das erste mit dem Gasometer verbunden. In diesem stand das Gas unter Druck und wurde so nach dem Öffnen des Hahnes durch die drei Gaskammern durchgedrückt. Zwischen Gasometer und dem ersten Mikroskop war zunächst zur Absorption etwaiger Kohlensäure eine Waschflasche mit Kalilauge geschaltet, dann zur Kontrolle eine mit klarer Barytlauge und schließlich zur Feuchthaltung des Gasstromes eine solche mit Wasser. An den in diesen Flaschen aufsteigenden Gasblasen ließ sich die Geschwindigkeit des Gasstromes leicht kontrollieren und dann durch Klemmschrauben entsprechend regulieren. Um den Wasserstand in dem oberen Behälter des Gasometers immer auf derselben Höhe zu erhalten, ohne fortwährend nachgießen zu müssen, war darüber eine Flasche mit Wasser umgekehrt angebracht. Von zwei Glasröhren, die den Gummistopfen dieser Flasche durchbohrten, reichte die eine bis annähernd an den Boden der Flasche und mit dem anderen Ende nur eben bis unter die Wasserfläche des Behälters, die andere dagegen tief in das Wasser hinein, aber nur ein kurzes Stück in die Flasche. Wenn nun der Wasserstand bis unter die Öffnung der ersten Röhre sank, strömte aus der zweiten solange

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wasser in den Behälter, bis die Öffnung der ersten Röhre wieder verschlossen war. Wenn der Gasstrom die letzte Gaskammer passiert hatte, wurde er unter den Abzug geleitet. Die Luftkontrollversuche wurden in genau derselben Weise ausgeführt. Auch bei ihnen wurde die Luft von dem Gasometer aus durch die Gaskammern gedrückt und ebenfalls für Absorption der Kohlensäure und Feuchthaltung des Luftstromes gesorgt. Was weiter die Anordnung für die makroskopischen Versuche anbetrifft, so war sie folgende:

Ein Erlenmeyer-Kolben von 300 ccm Volumen war mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen versehen. Von zwei Glasröhren, die hindurchgesteckt waren, reichte die eine nur wenig bis unter den Stopfen, die andere dagegen bis ungefähr auf 2 cm an den Boden des Kolbens. Über dem Stopfen waren beide rechtwinklig abgebogen und trugen kurze mit je einer Klemmschraube versehene Gummischlauchstücke. Die längere Röhre trug an dem freien Ende dieses Schlauchstückes noch ein mit Watte verstopftes, kurzes Stück Glasrohr. Für den Versuch wurde nun der Kolben zunächst mit Nährgelatine beschickt, dann der Gummistopfen mit den Röhren fest aufgesetzt und so im Dampfkasten eine halbe Stunde lang sterilisiert. Es war dabei die Klemmschraube an dem freien Gummischlauch fest geschlossen, die andere dagegen geöffnet. Auf diese Weise konnte, wenn der Kolben nach der Sterilisation aus dem Dampfkasten herausgenommen wurde, beim Abkühlen ungehindert von außen Luft zuströmen, ohne daß man eine Infektion hätte befürchten müssen. Denn die Luft mußte ja immer das als Bakterienfilter funktionierende Watteröhrchen passieren. Wenn dann die Gelatine genügend erhärtet war, wurde die Mitte geimpft. Es wurde hierbei der Kolben umgekehrt und der Gummistopfen nur soweit gelüftet, daß man eben die Platinnadel hindurchstecken konnte. Sofort wurde der Kolben wieder fest verschlossen. Darauf wurde das Gas eingeleitet, wobei natürlich die lange Röhre mit dem Gasometer verbunden war. Da sich an dieser das Watteröhrchen befand, war keine Infektion durch das einströmende Gas zu befürchten. An der Ausgangsöffnung war dies ja von selbst ausgeschlossen, da hier der Gasstrom von innen nach außen gerichtet war. Man mußte nur darauf achten, daß zuerst die Verbindung mit dem Gasometer geöffnet und erst dann, wenn im Kolben ein gewisser Überdruck vorhanden war, die Ausgangsöffnung, damit sofort eine Strömung nach außen stattfand. Beim Abstellen des Gasstromes mußte wieder darauf geachtet werden, daß zuerst die Klemmschraube an der Ausströmungsöffnung und erst dann die andere verschlossen wurde, damit am Ausgang immer der Innendruck überwog. Es zeigte sich im Verlauf der Versuche, daß durch diese Maßregeln tatsächlich eine vollständige Sterilerhaltung erreicht wurde. Um von einem etwaigen Lichteinfluß vollständig absehen zu können, wurden die Kolben während der Versuchszeit im Dunkelschrank aufbewahrt. Das Gas wurde alle 12 Stunden erneuert. Beim Einleiten mußte sowohl die Kohlenoxydmischung wie auch die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Luft bei den Kontrollversuchen immer erst zur Kohlensäureabsorption eine Waschflasche mit Kalilauge passieren.

Bei den Versuchen wurde sowohl der Kohlenoxydeinfluß auf die Keimung der Sporen, wie auch auf die Entwicklung der Hyphen beobachtet. Mit reinem Kohlenoxyd beginnend, wurde die Konzentration in der Reihe der Versuche stufenweise immer mehr herabgesetzt, bis so die Grenze der Wirksamkeit erreicht wurde. Bei den höheren Konzentrationen, bei denen die Wirkung in kurzer Zeit sichtbar wurde, wurde die mikroskopische Beobachtung angewandt, bei den niedrigen dagegen, bei denen der Versuch mehrere Tage ausgedehnt werden mußte, die makroskopische mittels der Kolbenkulturen. Denn bei längerer Versuchsdauer als einem Tage wuchsen die Hyphen besonders in der Luftkontrolle bald aus dem Gesichtsfelde heraus und bildeten andererseits dann auch ein derartiges Gewirr, daß eine Beobachtung einzelner Hyphen unmöglich wurde. Um exakte Vergleiche anstellen zu können, wurden die Beobachtungen möglichst zahlenmäßig festgelegt. Die Messungen wurden bei der mikroskopischen Untersuchung mittels des Seibert'schen Okularmikrometers vorgenommen und in μ angegeben. Bei der makroskopischen Methode geschah es in der Weise, daß der jedesmalige Radius des sich kreisförmig von der Impfstelle aus ausbreitenden Pilzrasens, ebenso wie seine Höhe mit einem Zirkel abgenommen und dann an einem Millimetermaßstab festgestellt wurde.

Da die Keimung der Sporen nie zu gleicher Zeit bei allen Individuen desselben Kulturtropfens einsetzt, sondern sich vielmehr immer über einen längeren Zeitraum erstreckt, so wurden jedesmal die Zeiten gemessen, nach welcher die ersten und nach welcher die letzten auskeimten. Sobald die ersten ausgekeimt waren, wurde der Wachstumsverlauf genau verfolgt und die jeweiligen Längen gemessen. Bei den zu Tage tretenden Ungleichheiten im Wachstum, die sich schon aus der ungleichen Keimung ergeben, erschien es am geeignetsten, zur Vergleichung die in jedem Kulturtropfen sich ergebenden Maximallängen zu nehmen und diese genau zu messen.

Wir kommen nun zu den Versuchen selbst.

Mucor stolonifer.

Hierfür sei zunächst folgende Tabelle zur Übersicht vorausgeschickt:

	Zeit bis zum Beginn der Keimung in Stunden	Zeit bis zum Schluß der Keimung in Stunden	Länge der Hyphen von Beginn der Keimung an nach			
			4 Stdn. μ	8 Stdn. μ	12 Stdn. μ	24 Stdn. μ
90 % CO + 10 % O	5	15	17	58	96	115
Luftkontrolle	$2^1/_2$	4	380	800	1500	3920
80 % CO + 20 % O	4	10	96	192	270	538
Luftkontrolle	2	4	270	960	145	3500
50 % NO + 21 % O	3	$4^1/_2$	76	173	250	580
Luftkontrolle	2	3	230	760	1150	2308
25 % CO + 21 % O	3	5	123	288	404	960
Luftkontrolle	$2^1/_2$	3	173	770	1350	3800

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Im einzelnen ist über die Versuchsergebnisse folgendes zu bemerken:

In 100 % Kohlenoxyd wurde die Keimung vollständig verhindert. Der Versuch wurde 24 Stunden ausgedehnt. Nachdem sich während dieser Zeit keine gekeimten Sporen gezeigt hatten, wurde der Kohlenoxydstrom abgestellt und ein Luftstrom durch die Gaskammern geleitet. Nach einer Stunde begann darauf die Keimung und verlief in ganz normaler Weise. Reines Kohlenoxyd hatte also auf die Sporen keinen zerstörenden, sondern nur einen hemmenden Einfluß.

In 90 % Kohlenoxyd wurde die Keimung nur verzögert. Während nämlich in der Luftkontrolle, wie aus der Tabelle hervorgeht, die ersten Sporen $2^1/_2$ Stunden und die letzten 4 Stunden nach Ansetzen der Kultur auskeimten, trat dies bei den Kohlenoxydsporen erst nach 5 und 15 Stunden ein. Da der sich durchweg bemerkbar machende Unterschied in dem Keimungsbeginn der einzelnen Sporen, der nach der Tabelle bei der Luftkontrolle $1^1/_2$ Stunden im Maximum beträgt, doch jedenfalls sowohl auf individuelle Veranlagung, als auch auf Unterschiede im Reifestadium zurückzuführen ist, so muß man sich danach auch die Vergrößerung dieses Unterschiedes unter dem Kohlenoxydeinfluß (10 Stunden) durch die je nach der individuellen Veranlagung und dem Reifestadium verschiedene Empfindlichkeit gegen Kohlenoxyd erklären. Die ausgekeimten Kohlenoxydhyphen zeigten nicht das normale Aussehen der Lufthyphen, sondern eigentümlich gekrümmte und verdickte Formen. Diese Verdickungen schwollen im Verlauf des Versuches zu immer dickeren Wülsten an. Das Längenwachstum war äußerst träge. Während in dem Luftkontrollversuche 4 Stunden nach Beginn der Keimung Hyphen von 380 μ Länge vorhanden waren, maßen die längsten im Kohlenoxydversuche 4 Stunden nach dem Keimungsanfang erst 17 μ. Hierbei ist zu beachten, daß bei dieser Vergleichsart der Keimungsbeginn einer jeden einzelnen Kultur zum Anfang genommen ist, und daß deshalb der Unterschied noch angenfälliger werden würde, wenn man die seit dem für beide Kulturen gemeinsamen Zeitpunkt des Versuchsbeginnes erreichten Hyphenlängen vergleichen würde. Der weitere Verlauf des Wachstums geschah in derselben trägen Weise; nach 8 Stunden findet man im Kohlenoxyd die Maximalhyphenlänge zu 58 μ und nach 24 Stunden zu 115 μ, während die Lufthyphen bis zu 3920 μ gewachsen sind. Der Versuch wurde 72 Stunden lang ausgedehnt. Die Anschwellungen wurden immer stärker, aber ohne zu platzen. Das Längenwachstum gelangte in dieser Zeit bis zu 270 μ. Hierbei ist jedoch, um sich ein richtiges Bild von der Wirkung des Kohlenoxyds zu machen, immer zu bedenken, daß dies der Maximalwert ist, dem nur wenig andere sich nähern, während die meisten über 50—100 μ nicht hinausgekommen sind und einzelne sogar nur Sporenlänge aufweisen. Nach Ablauf dieser 72 Stunden wurde der Kohlenoxydstrom abgestellt und Luft durchgeleitet. Nach ungefähr einer Stunde sah man aus den Anschwellungen dünne, normale Hyphen hervorsprießen, die meist

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

seitlich, nicht an der Spitze hervortraten und fast immer zu mehreren aus einer Anschwellung. Sie wuchsen dann in ganz normaler Weise weiter.

In 80 % Kohlenoxyd begann die Keimung 2 Stunden später als in Luft und erstreckte sich über einen Zeitraum von 6 Stunden gegenüber 2 Stunden in Luft. Über den weiteren Verlauf ist Ähnliches zu sagen wie bei 90 %. Es bildeten sich Anschwellungen, die mit der Zeit immer typischer hervortraten. Das Längenwachstum war etwas lebhafter als dort. Nach 4 Stunden wurden im Kohlenoxyd 96 μ, und nach 24 Stunden 538 μ gemessen, während die Luftkontrolle entsprechende Längen von 270 μ und 3500 μ zeigte. Nach Einschalten eines Luftstromes wuchsen wieder wie bei 90 % normale Hyphen aus den Anschwellungen heraus.

In 50 % Kohlenoxyd keimten die ersten Sporen ungefähr 1 Stunde später aus als in Luft und die letzten ungefähr $1^1/_2$ Stunde später. Die Werte für das Längenwachstum sind, wie ein Blick auf die Tabelle lehrt, ungefähr dieselben wie bei 80 %. Wenn man aber in Betracht zieht, daß in diesem Versuche die Werte der Luftkontrolle geringer sind als dort, daß also die sonstigen Wachstumsbedingungen ungünstiger sein müssen, so wird man einsehen, daß die Kohlenoxydwirkung hier doch geringer ist als bei 80 %. Anschwellungen zeigten sich zunächst nicht mehr in der ausgeprägten Form wie bei den höheren Konzentrationen, doch waren die Hyphen immerhin noch bedeutend dicker als in der Luftkontrolle. Seitenzweige, die bei den beiden vorhergehenden Versuchen fast vollständig fehlten, setzten hier zwar an, wuchsen aber nicht weiter, sondern zeigten die Form von Stümpfen, an deren Ansatzstelle die Hyphe jedesmal einen Knick machte. Im weiteren Verlauf des Versuches zeigten sich dann auch noch Anschwellungen an der Hyphenspitze. Da die Hyphe aber danach wieder normal weiterwuchs, so beobachtete man diese Anschwellungen nachher immer in einem größeren Abstand von der Spitze. Sie rundeten sich auch oft zu Kugeln ab. Häufig waren mehrere solcher Kugeln an einer Hyphe und wenn sie dann dicht hintereinander lagen, so ergab sich das Bild einer Perlschnur. Nach 2tägiger Dauer wurde der Kohlenoxydstrom abgestellt und Luft durchgeleitet. Es zeigte sich dann, daß die Hyphen durch allmähliches Verjüngen in dünnere, normale Formen übergingen und so weiterwuchsen.

In 25 % Kohlenoxyd keimten die ersten Sporen $^1/_2$ Stunde und die letzten etwa 2 Stunden später als in Luft. Das Längenwachstum zeigte sich auch hier noch deutlich gehemmt. Nach 24 Stunden war im Kohlenoxyd eine Länge von 960 μ, in Luft eine solche von 3800 μ erreicht. Eine besondere Form zeigten die Hyphen zunächst nicht. Jedoch nach 24 Stunden konnte man an einigen Hyphen Andeutungen von Anschwellungen beobachten. Nach noch längerer Zeit sah man dann auch die oben besprochenen Kugel- und Perlschnurformen.

In 10 % Kohlenoxyd war eine Hemmung sowohl der Keimung als auch des Wachstums nicht mehr festzustellen. Dies gilt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wenigstens für die ersten 24 Stunden. Später war eine Beobachtung nicht mehr möglich, da die Hyphen aus dem Gesichtsfelde herausgewachsen waren.

Es wurde hiermit diese mikroskopische Versuchsanordnung aufgegeben und für die Erledigung der Frage nach der Grenze der Kohlenoxydwirkung zur makroskopischen Beobachtung mittels der Kulturen in den Erlenmeyer-Kolben übergegangen, die eine mehrtägige Versuchsdauer ermöglichte. Hierbei wurden in jedem Versuche für die Kohlenoxydkultur sowohl, als auch für die Kontrollkultur in Luft je 2 Kolben angesetzt, in deren übereinstimmendem Ergebnis die erwartete Zuverlässigkeit ihre Bestätigung fand. Auf diese Weise konnte nun nicht nur für 10 %, sondern auch noch für 5 % Kohlenoxyd eine hemmende Wirkung festgestellt werden. Die folgende Tabelle enthält die Zahlen für 5 %:

			1. Tag mm	2. Tag mm	3. Tag mm	4. Tag mm
5 % CO	1. Kolben	Radius	6	23	∞	∞
		Höhe	—	3	4.5	6.5
	2. Kolben	Radius	6	24	∞	∞
		Höhe	—	2	3.5	6.0

			1. Tag mm	2. Tag mm	3. Tag mm	4. Tag mm
Luft	1. Kolben	Radius	9	32	∞	∞
		Höhe	—	5.5	9	14
	2. Kolben	Radius	10	33	∞	∞
		Höhe	—	6	8	14

In dieser Tabelle bedeutet das Zeichen ∞, daß der Pilzrasen den Boden des Kolbens (mit einem Radius von 50 mm) vollständig überwachsen hatte, also seine Zunahme nicht mehr weiter gemessen werden konnte.

Bei weiterer Erniedrigung des Gehaltes an Kohlenoxyd ließen sich keine Unterschiede der Luftkontrolle gegenüber mehr feststellen. Man muß demnach bei 5 % die Grenze wenigstens der nach außen hin sichtbaren Wirkung des Kohlenoxyds auf *Mucor stolonifer* annehmen.

Mucor Mucedo.

Es zeigen sich hier in der Hauptsache dieselben Erscheinungen wie bei *M. stolonifer*. Es sei deshalb auf eine detaillierte Besprechung verzichtet und auf die folgenden Tabellen verwiesen.

Tabelle
der bei der mikroskopischen Beobachtung erhaltenen Werte.

	Zeit bis zum Beginn der Keimung in Stunden	Zeit bis zum Schluß der Keimung in Stunden	Länge der Hyphen von Beginn der Keimung an nach			
			4 Stdn. μ	8 Stdn. μ	12 Stdn. μ	24 Stdn. μ
90 % CO + 10 % O	20	12	57	84	123	270
Luftkontrolle	5	4	192	577	1020	1850
80 % CO + 20 % O	20	10	58	90	150	270
Luftkontrolle	6	3	238	520	980	1700
50 % CO + 21 % O	12	12	65	96	230	308
Luftkontrolle	6	4	150	308	777	1340
25 % CO + 21 % O	6	7	120	200	375	550
Luftkontrolle	5	4	200	350	777	1560

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle
der bei der makroskopischen Beobachtung erhaltenen Werte.

			2. Tag mm	3. Tag mm
10 % CO	1. Kolben	Radius	5	14
		Höhe	0	12
	2. Kolben	Radius	6	12
		Höhe	0	9
Luft	1. Kolben	Radius	11	26
		Höhe	10	35
	2. Kolben	Radius	12	25
		Höhe	9	30
5 % CO	1. Kolben	Radius	10	21
		Höhe	2.5	19
	2. Kolben	Radius	11	21
		Höhe	3	19
Luft	1. Kolben	Radius	11	23
		Höhe	9	34
	2. Kolben	Radius	11	24
		Höhe	6	28

Als untere Grenze der Kohlenoxydwirkung ergibt sich hier ebenfalls 5 %. Besonders hervorzuheben ist noch, daß Anschwellungen nicht so häufig und in so ausgeprägter Form wie bei *Mucor stolonifer* auftraten und dann auch nur bei längerer Einwirkung hoher Konzentrationen wie 80 und 90 %.

Botrytis cinerea.

Tabelle
der bei der mikroskopischen Beobachtung erhaltenen Werte.

	Zeit bis zum Beginn der Keimung in Stunden	Zeit bis zum Schluß der Keimung in Stunden	Länge der Hyphen von Beginn der Keimung an nach			
			4 Stdn. μ	8 Stdn. μ	12 Stdn. μ	24 Stdn. μ
90 % CO + 10 % O	3	20	8	38	60	154
Luftkontrolle	2	4	115	384	692	1250
80 % CO + 20 % O	3	24	12	40	85	150
Luftkontrolle	$1^3/_4$	$3^1/_2$	57	230	365	950
50 % CO + 21 % O	4	15	17	38	60	115
Luftkontrolle	2	4	76	161	408	962
25 % CO + 21 % O	$3^1/_2$	6	27	77	170	384
Luftkontrolle	$2^1/_2$	4	77	269	432	800

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle

der bei der makroskopischen Beobachtung erhaltenen Werte.

			2. Tag mm	3. Tag mm
10 % CO	1. Kolben	Radius	6	23
		Höhe	0	0
	2. Kolben	Radius	5	18
		Höhe	0	0
Luft	1. Kolben	Radius	9.5	28
		Höhe	0	3
	2. Kolben	Radius	11	30
		Höhe	0	4
5 % CO	1. Kolben	Radius	10	22
		Höhe	0	0
	2. Kolben	Radius	10	24
		Höhe	0	0
Luft	1. Kolben	Radius	12.5	30
		Höhe	0	4
	2. Kolben	Radius	11	29
		Höhe	0	3

Während bei weiterer Erniedrigung des Kohlenoxydgehaltes ein Unterschied in der Flächenausdehnung zwischen dem Mycelrasen im Kohlenoxyd und in der Luft nicht mehr zu bemerken war, machte sich der Einfluß des Kohlenoxyds auf die Höhenentwicklung noch weiter geltend. *Botrytis* zeichnet sich überhaupt dadurch aus, daß im auffallenden Gegensatz zu den Luftmycelien mit ihrem lockeren, wolligen Habitus das Mycel der Kohlenoxydkulturen sich der Unterlage dicht anschmiegt, man möchte sagen anpreßt. Diese Eigentümlichkeit konnte man noch bei 1 % Kohlenoxydgehalt beobachten, wobei die Höhe des Mycels nach 6 Tagen etwa 1—2 mm betrug, während das Luftmycel eine Höhe von 5—6 mm erreicht hatte. Bei noch niedrigerem Gehalt ließen sich keine Unterschiede mehr feststellen.

Deformationen in der Art, wie sie oben bei *Mucor* beschrieben wurden, zeigten sich bei *Botrytis* nicht, wohl aber fiel bei der mikroskopischen Beobachtung auf, daß bei den höheren Kohlenoxydkonzentrationen die Hyphen eigentümlich schlangenförmig gewunden waren. Es kam dies zwar schon stellenweise bei den Luftkulturen vor, zeigte sich aber unter der Einwirkung des Kohlenoxyds durchweg und weit ausgeprägter.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Penicillium glaucum.

Tabelle
der bei der mikroskopischen Beobachtung gefundenen Werte.

	Zeit bis zum Beginn der Keimung in Stunden	Zeit bis zum Schluß der Keimung in Stunden	Länge der Keimlinge von Beginn der Keimung an nach 4 Stdn. μ	8 Stdn. μ	12 Stdn. μ	24 Stdn. μ
80 % CO + 21 % O	20	24	8	23	35	78
Luftkontrolle	10	10	45	135	230	850
25 % CO + 21 % O	20	12	17	77	115	230
Luftkontrolle	8	8	50	120	200	770

Tabelle
der bei der makroskopischen Beobachtung gefundenen Werte.

			2. Tag mm	3. Tag mm	4. Tag mm
10 % CO	1. Kolben	Radius	2	3	6.5
	2. ,,	,,	1	2.5	6
Luft	1. ,,	,,	4	8	12
	2. ,,	,,	3	6	10
5 % CO	1. ,,	,,	2	4.5	5.5
	2. ,,	,,	2	4	8
Luft	1. ,,	,,	2	6	9.5
	2. ,,	,,	2	6	11
2 % CO	1. ,,	,,	2.5	4.5	11.5
	2. ,,	,,	3	5	11
Luft	1. ,,	,,	3	7.5	16
	2. ,,	,,	2.5	8	18

Die Reaktionsgrenze wurde hier bei 2 % festgestellt. Deformationen wurden nicht beobachtet.

Aspergillus niger.

Tabelle
der bei der mikroskopischen Beobachtung gefundenen Werte.

	Zeit bis zum Beginn der Keimung in Stunden	Zeit bis zum Schluß der Keimung in Stunden	Länge der Hyphen von Beginn der Keimung an nach 4 Stdn. μ	8 Stdn. μ	12 Stdn. μ	24 Stdn. μ
50 % CO + 21 % O	30	12	15	23	30	46
Luftkontrolle	10	8	32	58	173	312
25 % CO + 21 % O	24	7	30	35	80	200
Luftkontrolle	8	8	38	60	100	380

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle
der bei der makroskopischen Beobachtung gefundenen Werte.

			2. Tag mm	3. Tag mm	4. Tag mm
10% CO	1. Kolben	Radius	1.5	4	5
	2. „	„	2	5	7
Luft	1. „	„	4	8	12
	2. „	„	3	7	11
5% CO	1. „	„	4	5	6.5
	2. „	„	3	4	6
Luft	1. „	„	6	7.5	12.5
	2. „	„	5	7	12.0

Versuche, bei denen die Konzentration des Kohlenoxyds noch weiter herabgesetzt wurde, zeigten, daß die Reaktionsgrenze bei 1 % liegt. Nach 6 Tagen hatte der Pilzrasen in 1 % Kohlenoxyd einen Radius von 27 bezw. 30 mm, während die entsprechenden Radien in Luft 38 und 45 mm betrugen. Deformationen wurden bei den höheren Konzentrationen als knotenförmige Anschwellungen beobachtet.

Gemeinsam für alle fünf Arten ist noch zu sagen, daß auch die Bildung von Sporangien und Konidien in demselben Maße wie das Wachstum gehemmt wird. In 90 und 80 % Kohlenoxyd konnte sie während der Beobachtungszeit überhaupt nicht festgestellt werden.

Die Nachwirkungen des Kohlenoxyds zeigten sich überall als sehr gering. Nach höchstens einer Stunde nach Entfernung des Gases waren Schädigungen irgendwelcher Art nicht mehr festzustellen.

Dann sei noch ein Versuch mitgeteilt, bei dem von 10 Kolben je zwei mit Sporen einer der obigen 5 Pilzspezies geimpft und mit reinem Kohlenoxyd gefüllt wurden. Während 6 Wochen zeigten sich keine Spuren von Mycel. Als aber nach Ablauf dieser Zeit anstatt des Kohlenoxyds Luft in die Kolben geleitet wurde, sah man bald sich üppiges Mycel entwickeln. Es geht daraus hervor, daß auch bei längerer Versuchsdauer das Kohlenoxyd die Keimung der Sporen vollständig verhindert, aber nicht imstande ist, die Lebensfähigkeit derselben zu zerstören.

Über die erwähnten, unter dem Kohlenoxydeinfluß auftretenden Deformationen der Pilzhyphen ist noch zu sagen, daß derartige Erscheinungen mehrfach in der Literatur angegeben sind. So beobachtete sie Eschenhagen[1]) bei Konzentrationserhöhungen des Nährsubstrates und Lopriore[2]) unter der Einwirkung von Kohlen-

[1]) Eschenhagen, Über den Einfluß von Lösungen verschiedener Konzentration auf das Wachstum von Schimmelpilzen. Stolp 1889.

[2]) Lopriore, Über die Einwirkung der Kohlensäure auf das Protoplasma der lebenden Pflanzenzelle. (Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. XXVIII. 1895.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

säure. Sehr eingehend studiert wurde ihre Natur von Reinhardt[1]), der feststellte, daß sie auftraten bei Schwankungen in der Konzentration der Nährlösung, Temperaturschwankungen nnd bei Einwirkung chemischer Agentien. Pantanelli[2]) schließlich behandelte diese Frage ebenfalls gelegentlich der Untersuchungen von Explosionserscheinungen bei Zellen mit Spitzenwachstum wie Pollenschläuchen, Wurzelhaaren und Pilzhyphen. Er kommt dabei zu dem Resultat, daß eine passive Erweiterung der Spitze des fadenförmigen Elementes jedesmal nach einer, aus was immer für einer Ursache hervorgerufenen Hemmung des Wachstums eintritt. Danach haben wir es hier also nicht mit einer spezifischen Eigenschaft des Kohlenoxyds, sondern mit einer allgemeinen Reaktion des Pilzorganismus zu tun.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können demnach in folgender Weise zusammengefaßt werden:

1. Das Kohlenoxyd wirkte auch auf Pilze schädigend.
2. Die Schädigung zeigte sich in einer Hemmung der Entwicklung (spez. der Sporenkeimung, des Hyphenwachstums und der Bildung von Fortpflanzungsorganen).
3. Die Nachwirkungen waren äußerst gering.
4. Die Grenze der Kohlenoxydwirknng lag nicht wesentlich höher als bei den Phanerogamen. Sie schwankte bei den untersuchten Arten zwischen 5 und 1 %.
5. Unter dem Einfluß des Kohlenoxyds traten bei einigen Formen Deformationen der Hyphen auf.

Versuche über Atmung.

In dem bisherigen Teil dieser Arbeit ist nur die Frage der Kohlenoxydwirkung an sich behandelt worden, wie sie äußerlich sichtbar wird und auf welche Pflanzengruppen sie sich erstreckt. Nun ist aber klar, daß diesen äußeren Erscheinungen Vorgänge im Innern des Protoplasten zu Grunde liegen müssen, und daß die Erforschung gerade dieser Vorgänge die bedeutend wichtigere Aufgabe der Physiologie ist, wenngleich sie die erstere zur Voraussetzung hat.

Um nun für die Behandlung dieser Frage, die bisher trotz ihrer Bedeutung noch gar keine Berücksichtigung gefunden hatte, die nötigen Grundlagen beizubringen, war es unerläßlich, zunächst über die einzelnen Funktionen der Pflanzen hinsichtlich ihrer Beeinflussung durch Kohlenoxyd Klarheit zu schaffen.

Unter diesem Gesichtspunkte wurden die vorliegenden Untersuchungen über die pflanzliche Atmung im Kohlenoxyd angestellt, und es soll nun im Folgenden darüber berichtet werden.

---

[1]) Reinhardt, Das Wachstum der Pilzhyphen. (Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XXIII. 1892.)

[2]) Pantanelli, E., Contribuzioni a la meccanica dell' accrescimento. (Ann. di Bot. II. Roma 1905. Cit. bei Just, Bot. Jahresb. 1906).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Atmungsgröße wurde bestimmt durch die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure, und zwar unter Anwendung der Pettenkoferschen Versuchsanordnung, wie sie von Pfeffer[1]) für die pflanzliche Atmung modifiziert wurde. Da diese schon mehrfach ausführlich beschrieben worden ist, so kann sie hier als bekannt vorausgesetzt werden. Bemerken will ich jedoch, daß zur Titration der Barytlauge Oxalsäure verwandt wurde, deren Titer so hergestellt wurde, daß 1 ccm 0,001 g CO_2 entsprach. Das Gas wurde nicht durchgesaugt, sondern durchgedrückt aus den unter Druck stehenden Gasometern. Die Vorteile, welche dies Verfahren gegenüber dem Durchsaugen bietet, sind von Kolkwitz[2]) ausführlich dargelegt worden. In unserem Falle konnte außerdem dadurch, daß die Gasometer genau kalibriert waren, die Menge des herausgeleiteten Gases sehr bequem gemessen, und danach die Schnelligkeit des Gasstromes reguliert werden. Es wurden pro Stunde 3 Liter durchgedrückt. Das Aufnahmegefäß für die Versuchsobjekte wurde in einen Wasserbehälter gestellt, um die Temperatur während des Versuches annähernd konstant erhalten zu können. „Ein etwaiger Lichteinfluß wurde ganz ausgeschaltet durch Überdecken des Aufnahmegefäßes. Beim Gaswechsel wurde nicht evakuiert, sondern das neue Gas immer erst eine zeitlang durchgeleitet, bis das alte vollständigt verdrängt war.

Als Versuchsobjekte dienten Blütenblätter von *Rosa* und *Dahlia*, Knollen von *Solanum tuberosum*, Zwiebeln von *Allium Cepa*, gequollene Samen von *Pisum sativum* und *Brassica Napus*, sowie Keimlinge von *Lupinus albus*. Es waren also alle Wachstumsstadien vertreten. Von ruhenden Objekten waren es teils solche, die ihr Wachstum beendet hatten, teils solche, die neuem Wachstum entgegengingen, und von den wachsenden Objekten setzten die einen gerade damit ein, während die anderen sich im lebhaften Wachstum befanden. Ferner variierten die Versuchszeiten, indem sowohl kürzere als auch längere in Anwendung kamen.

1. Versuch *(Rosa)*.

Von frisch gepflückten, vollständig aufgeblühten Blumen wurden die Blätter vorsichtig abgezupft und 100 g abgewogen. Es wurden zwei Bestimmungen von je einer halben Stunde hintereinander in Luft ausgeführt, dann ebenso zwei zu je einer halben Stunde in einem Gemisch von 79% CO und 21% O, und darauf wieder eine halbstündige in Luft. Da der Gaswechsel ebenfalls eine halbe Stunde dauerte, so nahm der ganze Versuch $3^1/_2$ Stunde in Anspruch. Wie aus dem folgenden Versuchsprotokoll hervorgeht, ergab sich weder ein direkter Einfluß des Kohlenoxyds noch eine Nachwirkung.

---

[1]) Pfeffer, Über intramolekulare Atmung. (Unters. a. d. bot. Inst. zu Tübingen. Bd. 1. 1881—85.)

[2]) Kolkwitz, Über den Einfluß des Lichtes auf d. Atmung d. niederen Pilze. (Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XXXIII. 1899.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

	Zeit Uhr	Ausgeatmete Kohlensäure mg
Luft	3—3½ 3½—4	16.2 15.8
79 % CO + 21 % O	4½—5 5—5½	16.5 16.0
Luft	6—6½	15.5

2. Versuch *(Rosa)*.

Um einen etwaigen Einfluß auf die intramolekulare Atmung festzustellen, wurde jetzt statt des Gasgemisches reines Kohlenoxyd, und in einem Kontrollversuch reiner Wasserstoff verwendet.

	Zeit Uhr	Ausgeatmete Kohlensäure mg
Luft	10—10½ 10½—11	20.5 19.8
CO	11½—12 12—12½	10.6 11.0
Luft	1—1½	20.1

	Zeit Uhr	Ausgeatmete Kohlensäure mg
Luft	4—4½ 4½—5	19.9 19.0
H_2	5½—6 6—6½	9.4 8.9
Luft	7—7½	18.5

Da das Verhältnis zwischen intramolekularer und normaler Atmungsgröße in beiden Fällen 0.5 ist, so ergibt sich, daß auch die intramolekulare Atmung durch das Kohlenoxyd nicht beeinflußt wurde.

3.—4. Versuch *(Dahlia)*.

Diese Versuche wurden mit derselben Fragestellung und derselben Versuchsanordnung wie 1 und 2 angestellt und ergaben auch dasselbe Resultat.

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	4—4½ 4½—5	17.5 17.4
79 % CO + 21 % O	6—6½ 6½—7	16.9 17.5
Luft	8—8½	16.5

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	9½—10 10—10½	16.8 17.1
CO	11½—12 12—12½	8.1 7.3
Luft	1½—2	17.7

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	5—5½ 5½—6	16.9 17.8
H_2	7—7½ 7½—8	9.6 8.8
Luft	9—9½	17.4

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

5.—6. Versuch *(Pisum sativum)*.

100 g trockene Samen wurden 24 Stunden in Wasser gelegt und dann für den Versuch verwendet. Die Versuchsanordnung war dieselbe wie bei den vorhergehenden Objekten. Das Resultat war wieder negativ.

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg		Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg		Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	9—9½ 9½—10	15.8 15.2	Luft	9—9½ 9½—10	14.8 15.9	Luft	5—5½ 5⅙—6	14.8 15.5
79% CO + 21% O	11—11½ 12½—12	15.4 16.0	CO	11—11½ 11½—12	12.2 12.3	H_2	7—7½ 7½—8	12.1 12.8
Luft	1—1½	16.1	Luft	1—1½	15.8	Luft	9—9½	15.9

7.—8. Versuch *(Lupinus albus)*.

Die Samen wurden 24 Stunden in Wasser gelegt und dann in feuchten Sägespänen zum Auskeimen gebracht. Hatten sie eine Länge von ungefähr 1 cm erreicht, so wurden 50 g für den Versuch abgewogen. Die Versuchsanordnung blieb im übrigen dieselbe. Das Resultat war wieder negativ.

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg		Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg		Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	2—2½ 2½—3	20.4 20.8	Luft	9½—10 10—10½	19.2 18.9	Luft	5—5½ 5½—6	21.5 21.4
79% CO + 21% O	4—4½ 4½—5	20.7 21.0	CO	11½—12 12—12½	19.5 19.8	H_2	7—7½ 7½—8	21.8 21.5
Luft	6—6½	21.0	Luft	1½—2	19.9	Luft	9—9½	22.4

9.—10. Versuch *(Solanum tuberosum)*.

Von Kartoffelknollen wurden möglichst kleine ausgesucht und davon 75 g für den Versuch abgewogen. Das Resultat war negativ.

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg		Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg		Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	9—9½ 9½—10	4.2 3.9	Luft	9—9½ 9½—10	4.5 4.8	Luft	4½—5 5—5½	4.2 4.5
79% CO + 21% O	11—11½ 11½—12	4.5 4.4	CO	11—11½ 11½—12	4.7 4.5	H_2	6½—7 7—7½	4.9 5.1
Luft	1—1½	3.6	Luft	1—1½	4.1	Luft	8½—9	4.8

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

10.—11. Versuch *(Allium Cepa)*.

Möglichst kleine Zwiebeln wurden ausgesucht und 75 g für den Versuch abgewogen. Das Resultat war negativ.

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	11—11½ 11½—12	2.8 3.2
75% CO + 21% O	1—1½ 1½—2	2.6 2.5
Luft	3—3½	3.0

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	9—9½ 9½—10	2.1 2.4
CO	11—11½ 11½—12	2.5 2.8
Luft	1—1½	2.5

	Zeit Uhr	Ausgeatm. Kohlensäure in mg
Luft	5—5½ 5½—6	2.4 2.3
H_2	7—7½ 7½—8	2.4 2.5
Luft	9—9½	2.1

12. Versuch *(Brassica Napus)*.

In diesem Versuch wurden 50 g gequollene Samen in den Atmungsapparat gelegt und zuerst eine Stunde die Atmungsgröße in Luft, dann 24 Stunden lang in 79% Kohlenoxyd gemessen. Zum Vergleich wurde ein Kontrollversuch nur in Luft angestellt.

	Zeit Uhr	Ausgeatmete Kohlensäure in mg
Luft	9½—10½	7.8
79% CO + 21% O	10½—11½	8.1
	11½—12½	8.1
	12½—1½	8.1
	1½—2½	8.4
	2½—3½	8.4
	3½—4½	8.5
	4½—5½	8.7
	5½—6½	9.6
	6½—7½	9.6
	7½—8½	9.9
	8½—9½	9.9
	9½—10½	10.2
	10½—11½	10.5
	11½—12½	11.1
	12½—1½	12.0
	1½—2½	12.3
	2½—3½	12.6
	3½—4½	12.9
	4½—5½	13.5
	5½—6½	13.5
	6½—7½	13.5
	7½—8½	15.0
	8½—9½	15.6

	Zeit Uhr	Ausgeatmete Kohlensäure in mg
Luft	9½—10½	8.2
	10½—11½	8.7
	11½—12½	10.0
	12½—1½	10.0
	1½—2½	10.2
	2½—3½	11.2
	3½—4½	11.7
	4½—5½	12.5
	5½—6½	13.0
	6½—7½	14.0
	7½—8½	14.7
	8½—9½	15.5
	9½—10½	16.0
	10½—11½	17.2
	11½—12½	18.5
	12½—1½	20.5
	1½—2½	21.5
	2½—3½	24.5
	3½—4½	25.0
	4½—5½	27.5
	5½—6½	29.0
	6½—7½	32.2
	7½—8½	32.7
	8½—9½	34.0

Da während dieser 24stündigen Versuchsdauer die Keimung schon lebhaft einsetzte, so nimmt auch der Wert der Atmungsgröße im Verlauf des Versuches immer mehr zu. Dabei zeigt sich

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nun, daß die Zunahme im Kohlenoxyd bei weitem hinter derjenigen in der Luftkontrolle zurückgeblieben ist. Man kann aber trotzdem hieraus keine direkte Schädigung der Atmungsfunktion folgern. Denn eine Untersuchung der Objekte nach Beendigung des Versuches ergab, daß bei den Kohlenoxydobjekten eben erst die Wurzelspitze hervorzubrechen begann, während die Wurzeln der Luftobjekte eine Länge von durchschnittlich 0,5 cm erreicht hatten. Es zeigte sich also nur die im ersten Teil dieser Arbeit behandelte Entwicklungshemmung durch das Kohlenoxyd und als Folge davon dann auch ein geringeres Anwachsen der Atmungsgröße. Hinsichtlich der Frage nach der direkten Wirkung des Kohlenoxyds auf die Atmung fiel also auch dieser Versuch negativ aus. Hiermit wurden dann diese Versuche eingestellt, da zur Genüge erwiesen zu sein schien, daß das Kohlenoxyd auf die Atmung nicht einwirkt.

Einwirkung des Kohlenoxyds auf Bewegungserscheinungen.

Über den Kohlenoxydeinfluß auf die Bewegungsfunktion der Pflanze liegt bereits eine Untersuchung vor, nämlich von Kabsch[1]). Dieser behandelt allerdings die Frage unter einem anderen Gesichtspunkte, nämlich in der Absicht, daraus für die Einsicht in die Natur der Bewegungserscheinungen und nicht, wie es hier geschieht, für die Erklärung der Kohlenoxydwirkung Gewinn zu ziehen. Immerhin lassen sich aber seine Ergebnisse ja auch unter diesem Gesichtspunkte verwerten.

Kabsch stellte Versuche an mit *Berberis* und *Oxalis* und fand dabei, daß die Fähigkeit der Staubfäden von *Berberis*, auf mechanischen Reiz zu reagieren, schon bei 20—25% Kohlenoxydgehalt ausgeschaltet, bei 60—70% aber derart beeinflußt wurde, daß sie die Reizbarkeit auch nach Überführung in Luft nicht wiedererlangten. Die Schlafbewegungen der Oxalisblätter wurden schon bei 30% Kohlenoxydgehalt vernichtet.

Im Gegensatz zu diesen von Kabsch untersuchten aitiogenen Bewegungen wurden von mir Untersuchungen angestellt an solchen autogener Natur, und zwar einerseits an Plasmabewegungen, andererseits an Cilienbewegungen.

Die Plasmabewegung wurde untersucht an Staubfadenhaaren von *Tradescantia virginica*, an Wurzelhaaren von *Trianaea bogotensis* und einer *Nitella*. Die Objekte befanden sich im hängenden Tropfen in einer Gaskammer. Die Versuchsanordnung war dabei genau dieselbe wie bei den Untersuchungen über die Keimung und das Wachstum der Pilze. Das verwendete Gasgemisch bestand aus 90% Kohlenoxyd und 10% Sauerstoff. Jeder Versuch dauerte 24 Stunden. Bei allen drei Objekten konnte innerhalb dieser Zeit weder eine Beschleunigung, noch eine Verlangsamung, oder gar Stillstand der Plasmaströmung beobachtet werden.

---

[1]) Kabsch, Über die Einwirkung verschiedener Gase und des luftverdünnten Raumes auf die Bewegungserscheinungen im Pflanzenreiche. (Bot. Zeitung. 1862.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Cilienbewegung wurde untersucht an *Chlamydomonas* und *Haematococcus*. Versuchsanordnung und Zusammensetzung des Gases waren dieselben wie bei der Plasmabewegung. Während einer Beobachtungszeit von ungefähr 12 Stunden war keine Wirkung festzustellen. Die Algen befanden sich fortgesetzt in lebhafter Bewegung. Nach dieser Zeit mußte der Versuch abgebrochen werden, da sich die Objekte dann immer nach und nach am Rande des Kulturtropfens festsetzten. Dies war aber nicht eine Folge des Kohlenoxyds, wie aus der Übereinstimmung mit der Luftkontrolle hervorging.

Sind auch diese Versuche, deren Fortsetzung durch den notwendigen Abschluß dieser Arbeit verhindert wurde, nicht ausreichend, um die Frage nach der Einwirkung des Kohlenoxyds auf die Bewegungserscheinungen zu erledigen, so geht doch soviel daraus hervor, daß die primäre Ursache der in einer Entwicklungshemmung sichtbar werdenden Schädigung des Protoplasten durch das Kohlenoxyd nicht in einer Hemmung des plasmatischen Bewegungsvermögens zu suchen ist, und daß das Kohlenoxyd auf die aitiogenen und autogenen Bewegungen in verschiedener Weise einwirkt. Das letztere darf natürlich nur mit dem nötigen Vorbehalt verstanden werden, da einerseits die Versuche von Kabsch nicht nachgeprüft wurden, und andererseits das vorhandene Material zu einer vorbehaltlosen Verallgemeinerung noch nicht genügt. Das erstere findet seine Begründung darin, daß, wenn eine Schädigung der Bewegungsfunktion als primäre Ursache in Betracht kommen sollte, diese innerhalb der angewandten Versuchszeit sich hätte zeigen müssen. Denn durch die in den ersten Teilen dieser Arbeit mitgeteilten Untersuchungen ist festgestellt worden, daß innerhalb dieser Zeit eine Einwirkung auf den Protoplasten stattfindet. Dabei ist natürlich immer noch der Fall möglich, daß bei längerer Ausdehnung des Versuches sich noch eine Schädigung der Bewegung bemerkbar gemacht haben würde. Diese wäre denn so zu erklären, daß entweder neben der allgemeinen Wirkung, die sich in der Entwicklungshemmung äußert, auch noch eine Wirkung auf das Bewegungsvermögen vorhanden wäre, oder daß beide Schädigungen die Folgen wären einer im Innern des Protoplasten vorhandenen Kohlenoxydreaktion. Der Fall selbstverständlich, daß bei der durch längere Einwirkung des Kohlenoxyds eintretenden Desorganisation des Zellinhaltes, wie sie von Richards und Mac Dougal mitgeteilt wurde, auch die Plasmabewegung in Mitleidenschaft gezogen wird, fällt nicht unter diesen Gesichtspunkt.

Die Frage, wie die von Kabsch mitgeteilte Schädigung aitiogener Bewegung mit der allgemeinen Entwicklungshemmung zusammenhängt, kann hier nicht weiter behandelt werden, da sie nur durch entsprechende Versuche entschieden werden kann. Interessant ist aber jedenfalls, daß zwischen den beiden Bewegungsarten ein so wesentlicher Unterschied zu bestehen scheint. Es erinnert dies an die Erscheinung, daß bei dem Blatte von *Mimosa pudica* durch dauernde Erschütterung nur die mechanische Reizbarkeit ausgeschaltet wird, und daß diese bereits durch eine Tem-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

peraturerniedrigung und eine Chloroformwirkung sistiert wird, durch welche die autonomen Bewegungen uud die Tagesbewegungen nicht zum Stillstand gebracht werden.[1])

Allgemeines.

Aus den hier mitgeteilten, in der Literaturübersicht näher diskutierten Untersuchungen früherer Autoren und den im Anschluß hieran von mir ausgeführten läßt sich jetzt mit ziemlicher Sicherkeit die Folgerung ziehen, daß die schädigende Wirkung des Kohlenoxyds für alle Pflanzen in Betracht kommt, dies Gas also ganz allgemein als Pflanzengift anzusprechen ist. Dies schließt natürlich nicht aus, daß in Zukunft nicht auch noch einzelne Ausnahmen gefunden werden könnten. Denn wir wissen ja, daß die Giftempfindlichkeit der Pflanzen in gewissen Fällen eine spezifisch sehr verschiedene ist. So kommt *Penicillium* eine auffallende Widerstandsfähigkeit zu gegen die sonst so giftigen Kupfersalze, und andererseits übt das sonst indifferente Wasserstoffgas eine schädliche Wirkung aus auf *Pelomyxa palustris*[2]). Auch muß darauf hingewiesen werden, daß die Algen hinsichtlich ihrer Reaktion gegen das Kohlenoxyd noch fast gar keine Berücksichtigung gefunden haben. Aber daß diese insgesamt eine Ausnahme bilden sollten, ist nicht zu erwarten, da einerseits die nahe verwandten Pilze darauf reagieren, und andererseits auch die nahestehende *Nitella* nach den Untersuchungen von Richards und Mac Dougal durch Kohlenoxyd geschädigt wird.

Was die Symptome der Kohlenoxydvergiftung anbetrifft, so ergibt sich übereinstimmend aus allen Untersuchungen, daß wir in der Hemmung der Entwicklung die hauptsächlichste und durchgehend auftretende Wirkung des Kohlenoxyds zu sehen haben. Daneben zeigt sich dann noch bei den grünen Pflanzen eine Störung der Chlorophyllbildung, und in den von Kabsch untersuchten Fällen eine Sistierung von Variationsbewegungen. Hinsichtlich der näheren Details dieser Wirkungen ist zunächst die Frage zu erledigen, ob sie vielleicht darauf zurückzuführen sind, daß solche physiologischen Funktionen, denen die Beschaffung der nötigen Stoffe und Energie obliegt, schon hierin durch das Kohlenoxyd gestört werden, und dadurch dann erst der Protoplast in Mitleidenschaft gezogen wird, oder ob dieser direkt durch das Gas alteriert wird, woraus dann auch wieder indirekt Einwirkungen auf die Partialfunktionen resultieren würden. Hierbei kommt zunächst die Atmung in Betracht. Denn die Beschaffung des Sauerstoffs geschieht durch Vermittlung von sogenannten Sauerstoffüberträgern und in dem Falle, wo wir die Mechanik der Kohlenoxydwirkung genau kennen, nämlich auf das Blut der höheren Tiere, beruht diese auf der Verdrängung des Sauerstoffs aus einem solchen

[1]) Pfeffer, Pflanzenphysiologie. Bd. 2. 1904. p. 530.
[2]) Pfeffer, Pflanzenphysiologie. Bd. 2. 1904. p. 334 u. 335.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Überträger, nämlich dem Hämoglobin. Es war daher von vornherein die Annahme naheliegend, daß die physiologische Wirkung des Kohlenoxyds ganz allgemein in dieser Weise erfolge. Dies wurde aber durch meine oben mitgeteilten Versuche widerlegt. Denn innerhalb einer Zeit, in der eine Wirkung auf den Protoplasten durch die eintretende Entwicklungshemmung sichtbar wurde, war eine Veränderung der Atmung nicht festzustellen. Es kann daher die primäre Ursache der Schädigung nicht auf eine Störung der Atmungsfunktion zurückgeführt werden. Auch die Assimilation kann in dieser Hinsicht nicht in Betracht kommen. Denn einerseits zeigt sich die Schädigung sowohl bei grünen als auch bei nicht assimilierenden Pflanzen, und andererseits bei den grünen Pflanzen sowohl im Licht als auch im Dunkeln. Hierbei ist jedoch nichts über die Frage entschieden, ob die Assimilation überhaupt irgendwie beeinflußt wird. Denn wenn sie auch nicht als die primäre Ursache der Entwicklungshemmung angesehen werden kann, liegt doch noch immer die Möglichkeit vor, daß sie bei längerer Einwirkung schließlich doch noch in Mitleidenschaft gezogen wird, oder daß von vornherein neben der allgemeinen Wirkung der Entwicklungshemmung noch eine besondere auf die Assimilation stattfände. Diese letztere könnte dann allerdings nur sehr gering sein, da sonst bei den Versuchen mit grünen Pflanzen im Licht und im Dunkeln sich erhebliche Unterschiede zeigen müßten. Aus denselben Gründen fällt auch die Möglichkeit fort, die oben erwähnte Störung der Chlorophyllbildung als primäre Ursache anzunehmen. Auch die Möglichkeit, daß die Schädigung auf einer Behinderung der Nahrungsaufnahme beruhe, muß zurückgewiesen werden, da auch in den Fällen, wo diese gar nicht vorhanden ist, wie bei der Keimung und der Kultur von Keimlingen in feuchter Luft oder reinem Wasser, immer die Kohlenoxydwirkung eintrat. Die Wasseraufnahme kann schließlich ganz unberücksichtigt bleiben, da wir hier keine vermittelnden Vorgänge kennen, sondern sie direkt der Tätigkeit des Protoplasten zuschreiben müssen. Es ergibt sich also, daß das Kohlenoxyd direkt auf das Protoplasma wirkt und nicht erst auf dem Umwege über irgend welche Partialfunktionen.

Zu welcher Gruppe von Giften ist nun das Kohlenoxyd zu rechnen? Den vorliegenden Tatsachen am besten zu entsprechen scheint es mir, wenn man es als Anästhetikum anspricht, also mit dem Chloroform, Äther, Alkohol u. s. w. in eine Reihe stellt. Allerdings muß gleich dazu bemerkt werden, daß die vorhandenen Tatsachen zwar sehr gut mit dieser Einreihung vereinbar sind, ja sogar darauf hindeuten, daß sie aber keineswegs genügen, um diese Frage schon für erledigt halten zu können. Denn wenn wir das Charakteristische eines Anästhetikums in der Herabsetzung der Lebensintensität speziell in der Hemmung oder gar Sistierung des Bewegungsvermögens und des Wachstums sehen, so trifft das letztere für das Kohlenoxyd vollkommen zu, wie aus dem Vorhergehenden ja zur Genüge hervorgeht. Dagegen könnte das erstere schon Bedenken erregen. Denn wir haben gesehen, daß nur bei

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

einigen Variationsbewegungen durch Kohlenoxyd eine Sistierung eintritt, bei den Plasma- und Cilienbewegungen (soweit sie untersucht wurden) aber nicht. Dies kann jedoch einmal so erklärt werden, daß die einzelnen Sensibilitäten, worauf die Bewegungen beruhen, sowie auch die Vermögen hierzu spezifisch verschieden gegen ein Anästhetikum reagieren können. Hierfür bietet ja der schon erwähnte Fall ein Beispiel, daß nämlich bei der *Mimosa pudica* die mechanische Reizbarkeit durch eine Chloroformwirkung sistiert wird, bei der die Tagesbewegungen noch nicht zum Stillstand gebracht werden können. Außerdem ist aber auch das zu bedenken, daß das Kohlenoxyd ein schwächeres Anästhetikum ist als z. B. das Chloroform, so daß es schon deshalb auf die widerstandsfähigeren Sensibilitäten nicht mehr einwirken könnte. Denn auf jeden Fall muß man eine verschiedene Widerstandsfähigkeit bei diesen annehmen, da in dem eben angeführten Beispiel durch eine genügende Steigerung der Chloroformwirkung schließlich sämtliche Bewegungen sistiert werden können. Daß das Kohlenoxyd in der Tat schwächer als das Chloroform wirkt, geht daraus hervor, daß durch Chloroform eine bedeutendere Entwicklungshemmung eintritt als durch Kohlenoxyd. In ähnlicher Weise ließe sich auch das mit der Auffassung des Kohlenoxyds als eines Anästhetikums vereinbaren, daß es wenig oder gar nicht auf Assimilation und Atmung wirkt. Hinsichtlich der letzteren Funktion sei noch darauf hingewiesen, daß Bonnier und Mangin[1]) behaupten, die Anästhetika wirkten überhaupt nicht auf die Atmung, dagegen Elfving[2]), Johannsen[3]) und Morkowine[4]) eine Beschleunigung derselben festgestellt haben. Jedenfalls hängt diese letztere mit der mehrfach beobachteten Wachstumsbeschleunigung infolge des Anästhesierens zusammen. Hierzu würde sich dann auch beim Kohlenoxyd ein gewisses Analogon bieten, wenn wir die bei den Versuchen mit den Lupinenkeimlingen festgestellte Wachstumsbeschleunigung nach der Kohlenoxydwirkung zum Vergleich heranziehen. Wahrscheinlich wird ja auch mit dieser dann eine Beschleunigung der Atmung Hand in Hand gehen. Bestimmtes läßt sich jedoch über diese Fragen weiter nicht sagen, ihre Entscheidung muß vielmehr späteren Untersuchungen überlassen werden.

Etwas anderes sei hier aber noch zum Schluß erwähnt, das mit dem Vorstehenden insofern in Beziehung steht, als es dies in gewisser Weise noch unterstützt. Auch in der Tierphysiologie nämlich, die so lange die Ursache der Kohlenoxydvergiftung ausschließlich in seiner Verbindung mit dem Hämoglobin sah, mehren sich in neuerer Zeit die Stimmen, die darauf hinweisen, daß man

---

[1]) Bonnier, G. et Mangin, L., Recherches sur l'action chlorophyllienne séparée de la respiration. (Ann. d. sciences naturelles. 1886. VII. 3.)

[2]) Elfving, Oefversigt Finsk. Vet. Soc. Förh. 28. 1886. (cit. bei Jost, Vorl. üb. Pflanzenphysiologie.)

[3]) Johannsen, Äther- und Chloroformnarkose und deren Nachwirkung. (Bot. Centralblatt. Bd. 68. 1896.)

[5]) Morkowine, Recherches sur l'influence des anésthésiques sur la respiration des plantes. (Revue générale de botanique. T. 11. 1899.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

daneben noch eine direkte Wirkung auf jede lebende Zelle, und besonders auf die Nervenzellen, annehmen müsse. Auf die näheren Begründungen[1]) will ich hier nicht weiter eingehen, nur darauf hinweisen, daß in Hinsicht auf die jetzt doch ziemlich allgemein angenommene Gleichartigkeit des pflanzlichen und tierischen Protoplasmas dies Moment eine nicht geringe Beachtung verdient.

Vorstehende Untersuchungen wurden im pflanzenphysiologischen Institut der Universität Berlin ausgeführt. Dem Leiter desselben, Herrn Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Kny, spreche ich für die mannigfache Anregung und Unterstützung meiner Arbeit meinen herzlichsten Dank aus. Ebenso bin ich den Assistenten Herrn Privatdozenten Dr. W. Magnus und Herrn Dr. W. Wächter für das meinen Untersuchungen gewidmete Interesse zu großem Danke verpflichtet.

[1]) Das Hauptsächlichste ist zu finden in:
Kobert, Lehrbuch der Intoxikationen. 2. Aufl. 1902.
Sachs, Die Kohlenoxydvergiftung. 1900.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanisches Centralblatt

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: BH_24_1

Autor(en)/Author(s): Seeländer Karl

Artikel/Article: Untersuchungen über die Wirkung des Kohlenoxyds auf Pflanzen. 357-393