# Einfluss der Kohlensäure auf das Wachsthum.

Von

**Paul Chapin.**

Hierzu Tafel XXI und eine Abbildung im Text.

## Einleitung.

Zunächst sei eine kurze Uebersicht über die Litteratur gegeben, welche über den Einfluss der Kohlensäure auf das Wachsthum vorliegt.

Saussure[1]) cultivirte Erbsen in einer Atmosphäre, die 8 % $CO_2$ enthielt, bei Sonnenlicht und fand, dass das Wachsthum geringer als in normaler Luft war. Böhm[2]) erhielt in seinen Experimenten mit Feuerbohnen folgende Resultate über das Wachsthum der Wurzeln: In normaler Luft einen Zuwachs von 13,6 cm während 12 Tagen, in 2 % $CO_2$ ein Zuwachs von 10,5 cm, in 5 % 7,9 cm, in 10 % 4,6 cm, während bei einem Gehalt von 14 % $CO_2$ die Wurzeln sich nur sehr schwach entwickelten. In 25—33 % waren die Pflanzen innerhalb von fünf Tagen todt. Der Spross zeigte ungefähr dieselbe Entwickelung wie die Wurzel. Alle Pflanzen nahmen das normale Wachsthum nach Verlauf von neun Tagen wieder auf, wenn sie in Luft zurückversetzt wurden.

Jentys[3]) leitete ein Kohlensäuregemisch von 4—12 % durch den Topf, so dass die Wurzeln sich in der künstlichen Atmosphäre befanden, der Spross jedoch in normaler Luft. Der erzielte Erfolg war bei den verschiedenen Versuchspflanzen verschieden, im Allgemeinen war jedoch eine ernstliche Schädigung nicht eingetreten. Die Wurzeln waren jedoch nicht normal entwickelt, hatten vielmehr das Aussehen derjenigen von monocotylen Pflanzen, da sich die Hauptwurzel nicht entwickelt hatte und nur die Seitenwurzeln ausgebildet waren. Montemartini[4]) fand, dass Spinacia oleracea am besten

---

1) Saussure, Recherches chimiques sur la végétation. Paris 1804 in Ostwalds Klassikern.

2) Böhm, Sitzungsberichte der Wiener Akademie 1873 pag. 182.

3) Jentys, Sur l'influence de la pression partiale de l'acide carbonique dans l'air souterrain sur la végétation. Extrait du bulletin de l'Academie des Sciences de Cracovie 1892.

4) Montemartini, Sulla influenza di atmosfere ricche di biossido di carbonio sopra lo sviluppo è la struttura delle folgie. Atti del instituto botanico di Pavia 1892.

Universitätsbibliothek Regensburg

urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0352-3

bei 4 % $CO_2$ wuchs. Desgleichen constatirte er an den Wurzeln von Erbsen folgendes Wachsthum im Verlauf von 12 Tagen: Normale Cultur 33,27 cm, bei 4 % $CO_2$ 35—36 cm, bei 7 % $CO_2$ 25—32 cm, bei 22 % $CO_2$ 13—14 cm. Bei Tropaeolum war das Wachstum lebhaft bei 4 % $CO_2$, schwach bei 7 % $CO_2$. Er schloss daraus, dass 4 % annähernd den optimalen $CO_2$-Gehalt für Wachstum darstelle. Andere[1]) haben gezeigt, dass sich Pflanzen, die in eine Atmosphäre von 33—50 % $CO_2$ oder mehr gebracht wurden, kümmerlich entwickelten.

Pfeffer[2]) fasst die vorhandenen Angaben dahin zusammen, dass er sagt, „die meisten Landpflanzen sterben mit der Zeit in einer Luft ab, die 4—20 % $CO_2$ enthält".

Der Einfluss von $CO_2$ auf das Wachsthum von Hefe ist von Brefeld[3]) und Joth[4]) untersucht worden.

Der erstere fand, dass die Hefe noch in einer $CO_2$-Atmosphäre entwickelungsfähig ist, welche $^1/_{6000}$ Volumen Sauerstoff enthält. Joth constatirte andererseits, dass $CO_2$ wie andere starke Säuren einen grossen Einfluss auf die Fortpflanzung der Hefe ausübt, dass hingegen die Gährungsenergie durch Kohlendioxyd nicht gehemmt wird. Jedoch lassen verschiedene Hefearten einen verschieden grossen Einfluss von $CO_2$ erkennen. Jedenfalls vermag sich die Hefe auch nach Entfernung der $CO_2$ noch zu entwickeln.

Ortloff[5]) fand, dass die Vermehrung der Hefezellen in einem Strom von $CO_2$ gehemmt wurde, dass jedoch die Menge des vergohrenen Zuckers während 28tägiger Einwirkung von $CO_2$ grösser war als in normalen Culturen.

Fraenkel[6]) theilt in seiner Abhandlung über die Mikroorganismen die Bacterien in folgende Classen:

1. solche, welche in reiner $CO_2$ ebenso gut als in der Luft wachsen;
2. solche, welche sich zwar in $CO_2$ zu entwickeln vermögen, deren Wachsthum jedoch durch die Gegenwart des Gases sehr gehemmt ist;

1) John, Ueber die Ernährung der Pflanzen 1819 pag. 282; Davy, Elements of Agricultural Chemistry 1821, 3. Aufl., pag. 205, citirt nach Lopriore; Kossovitsch, Bot. Ztg. 1892. pag. 702.

2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. 2, II. Aufl., 1. Hälfte, pag. 333. 1901.

3) Brefeld, Untersuchung über Alkoholgährung. Arbeit. des bot. Inst. zu Würzburg, 4. Heft, 1874, pag. 517.

4) Joth, Wochenschrift für Brauereien, 1869, Bd. 6, pag. 279.

5) Ortloff, Centralblatt für Bacteriologie, Bd. 6, Abth. II, 1900, pag. 763.

6) Fraenkel, Die Einwirkung der Kohlensäure auf die Lebensthätigkeit der Mikroorganismen. Zeitschr. für Hygiene Bd. 5, 1889, pag. 332.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0353-9

3. solche, welche sich bei gewöhnlicher Temperatur in reiner $CO_2$ nicht entwickeln, wohl aber bei Bruttemperatur;

4. die übrigen Bacterien, welche im Allgemeinen Saprophyten sind und die in den obigen Klassen nicht enthalten sind; entwickeln sich nicht in $CO_2$, werden jedoch nicht getödtet, sondern wachsen nach Ersetzung der $CO_2$ durch Luft normal weiter;

5. Bacterien, welche in $CO_2$ getödtet werden; dazu gehören die wichtigsten pathogenen Formen.

Frankland's[1]) Egebnisse an Bacterien stimmen im Einzelnen mit denjenigen von Fraenkel überein.

Freudenreich[2]) fand, dass der Milzbrandbazillus und ein anderer aus der Milch gezüchteter Bazillus einem $CO_2$-Druck von ca. 60—70 Atmosphären im Verein mit einer Erhöhung der Temperatur auf ca. 65 % leicht widerstanden.

Schliesslich ist noch die Arbeit Lopriore's[3]) zu erwähnen, in welcher er berichtet, dass die Sporen von Mucor mucedo in reiner Kohlensäure nicht auskeimten, wenn sie in dem Gas drei Monate hindurch blieben. Diese Sporen keimten jedoch nach Uebertragen in Luft aus und wuchsen normal weiter. Er fand ausserdem, dass die Sporen bei 90 % Kohlensäure keimten, dass jedoch die Zahl der auskeimenden Sporen mit abnehmendem $CO_2$-Gehalt wuchs. Reine $CO_2$ sistirte das Wachsthum der Hyphen in 24 Stunden. Gasmischungen, welche 10—30 % $CO_2$ enthielten, konnten weder das Wachthum der Hyphen, noch die Fähigkeit, Sporangien zu entwickeln, unterdrücken.

Bei einem Gehalt von mehr als 30 % $CO_2$ wurde das Wachsthum der Hyphen sistirt. Es trat jedoch nach Ersetzung des Gases durch Luft wieder in normaler Intensität ein. Hohe Procente der $CO_2$ riefen Anschwellungen an den Enden der ausgekeimten Fäden hervor. Die letzteren wuchsen nicht in die Länge, waren jedoch im Stande, in normaler Luft weiter zu wachsen. Die Hefe vermochte in reiner Kohlensäure nicht zu wachsen, die indessen die Zellen nicht tödtete, da sie sich in Luft normal weiter entwickeln konnten.

Die vorstehenden Angaben sind zum Theil widersprechend, zum Theil lückenhaft, so dass eine erneute Untersuchung des Einflusses der $CO_2$ auf das Wachsthum geboten erschien.

---

1) Frankland, Ueber den Einfluss der Kohlensäure und anderer Gase auf die Entwickelungsthätigkeit der Mikroorganismen. Zeitschr. f. Hyg., Bd. 6 pag. 13.

2) Freudenreich, Beihefte zum bot. Centralblatt Bd. 4, 1894, pag. 457.

3) Lopriore, Ueber die Einwirkung der $CO_2$ auf das Protoplasma. Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. 28, 1895, pag. 621.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0354-5

Ich habe mithin folgende Fragen zu lösen versucht. Zunächst galt es, den optimalen Gehalt der $CO_2$ für das Wachsthum festzustellen, denn nach Pfeffer[1]) ist es noch nicht sicher, bei welchem $CO_2$-Gehalt das üppigste Gedeihen erreicht wird. Ausserdem musste derjenige Gehalt von $CO_2$ ermittelt werden, welcher zur Sistirung des Wachsthums nöthig ist. Dann war die Nachwirkung, welche durch das Kohlendioxyd hervorgerufen wird, zu studiren, sowie die Zeit zu präzisiren, innerhalb welcher bei verschiedenen Procenten des Gases der Tod der Pflanzen eintrat. Schliesslich war es wünschenswerth, genauer die Wirkung der $CO_2$ mit Rücksicht auf die Keimung der Sporen, das Wachsthum der gekeimten Sporen, sowie die Fructification zu untersuchen.

## II. Beschreibung des Apparates.

Um Gasgemische mit verschiedenem Gehalt an $CO_2$ herzustellen, wurde folgender Apparat benutzt, der seinen Zweck in jeder Hinsicht

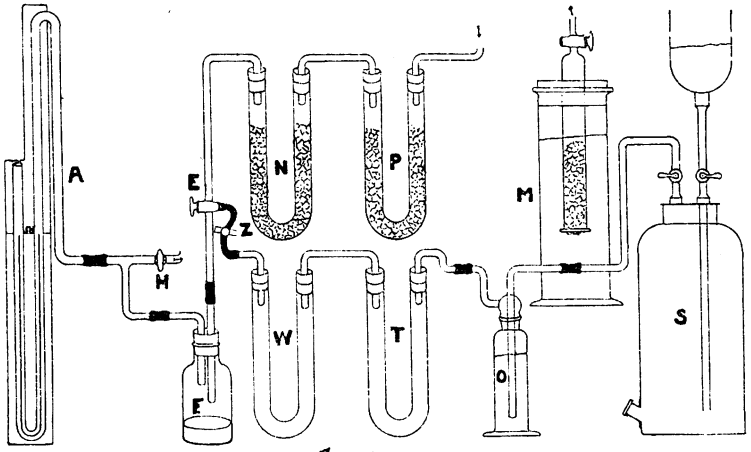



Fig. 1.

erfüllte. Der Apparat (Fig. 1) besteht aus einem Capillar-Quecksilber-Manometer $A$, hinter welchem eine Millimeter-Scala auf Papier angebracht ist. Mit dem Manometer war durch einen dicken Gummischlauch eine capillare T-Röhre verbunden, deren einer Schenkel einen Glashahn $H$ trug und zu der Wasserstrahlluftpumpe führte und deren

1) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. Bd. I, 1897, pag. 316.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0355-1

anderer Schenkel in directer Verbindung mit dem Gefäss *F* stand, in welchem die Gasmischung hergestellt werden sollte. Die Kohlensäure wurde durch Einwirkung von reiner, verdünnter Salzsäure auf Marmor in einem gewöhnlichen Kohlensäureerzeuger *M* entwickelt, welcher mit zwei U-Röhren *N* und *P* verbunden war. Diese enthielten Bimssteinstücke, getränkt mit einer Lösung von Natriumbicarbonat, und dienten dazu, das entweichende Gas von Salzsäure zu befreien. Mit der U-Röhre *N* stand eine zwei Mal rechtwinklig gebogene Glasröhre in Verbindung, welche den Dreiweghahn *E* trug, der seinerseits ebenfalls mit dem Gefäss *F* verbunden war. Der Sauerstoff wurde aus dem Gasometer *S* zugeführt, welcher mit der Waschflasche *O* zusammenhing. Diese enthielt sterilisirtes Wasser und diente dazu, nicht allein das Gas zu waschen, sondern auch die Schnelligkeit des Gasstromes anzuzeigen. Die Waschflasche stand mit zwei U-Röhren *W* und *T* in Verbindung, die sterilisirte Baumwolle enthielten und die Infection des Culturmediums verhüten sollten. Die U-Röhre *W* war mit dem Dreiweghahn *E* mittelst eines dicken Gummischlauches, welcher durch die Klammer *Z* geschlossen werden konnte, verbunden. Der Sauerstoff wurde aus den im Handel käuflichen mit comprimirtem Sauerstoff gefüllten Stahlcylindern entnommen.

## III. Methode der Benutzung des Apparates.

Die Flasche *F* oder allgemeiner das Gefäss, in welchem die Gasmischung hergestellt werden sollte, wurde mittelst dicken Gummischlauches an das T-Rohr *H* und an den Dreiweghahn *E* angeschlossen. Die Klammer *Z* wurde geschlossen, nachdem der Hahn *E* so gedreht war, dass der Zugang zum Kohlensäuregas geschlossen, derjenige zum Sauerstoffgas geöffnet war. Der Hahn *H* wurde dann geöffnet, die Pumpe in Gang gesetzt und die Flasche soweit als möglich evacuirt. Dann wurde der Hahn *H* geschlossen, und da der Hahn *E* bereits in der Richtung nach der Sauerstoffquelle offen war, war es nur nöthig, die Klammer *Z*, welche den Eintritt des Sauerstoffes gestattete, zu öffnen. Dieser strömte so lange ein, bis die beiden Quecksilbersäulen auf 50 standen und somit Normaldruck erreicht war. Dann wurde die Flasche wiederum evacuirt und von neuem mit Sauerstoff gefüllt. Wir haben nunmehr die Flasche *F* mit Sauerstoff bei normalem Druck gefüllt und wünschen eine bestimmte Mischung von Kohlensäure und Sauerstoff. Dabei müssen verschiedene Factoren beachtet werden, nämlich der Barometerstand, die Temperatur und

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0356-6

die Wassertension, da die Experimente stets in Gegenwart von Wasser ausgeführt werden. Die Correction des Barometerstandes würde sein der Barometerstand bei einer bestimmten Temperatur minus die Wassertension bei derselben Temperatur. Um dann die gewünschte Gasmischung herzustellen, ist es nur nöthig, die mit Sauerstoff gefüllte Flasche bis zu derjenigen Barometerhöhe auszupumpen, die dem gewünschten Procent der Kohlensäure entspricht. Zum Beispiel wenn man eine Gasmischung von 50 % Kohlensäure und 50 % Sauerstoff zu haben wünscht, evacuirt man die mit Sauerstoff gefüllte Flasche bis zu 50 % des corrigirten Barometerstandes und lässt dann Kohlensäure bis zum normalen Druck einströmen. Dies wird erreicht durch Schliessen der Klammer $Z$, Oeffnen des Hahnes $H$, Auspumpen bis zu der gewünschten Höhe, Schliessen von $H$ und Oeffnen von $E$ in der Richtung der Kohlensäurequelle.

Es stellte sich heraus, dass man gleichzeitig nur eine Flasche mit dem Gasgemisch füllen kann, da, wenn man mehrere hinter einander geschaltete Flaschen in der oben angegebenen Weise füllt, die Gasmischung in der mit dem Manometer verbundenen Flasche sich als nahezu reiner Sauerstoff erweist, während die mit der Kohlensäurequelle verbundene nahezu reine Kohlensäure enthält. Das lag daran, dass die Zeit der Füllung so kurz war, dass die Gase nicht rasch genug in den engen Verbindungsstücken diffundiren konnten und so keine homogene Mischung erzielt wurde.

## IV. Gasanalyse.

Die Gasanalysen wurden aus zweierlei Gründen ausgeführt: erstens um die Reinheit der verwandten Gase zu prüfen, und zweitens durch genaue Ermittelung der procentischen Zusammensetzung des Gasgemisches in der Flasche die Zuverlässigkeit des Apparates, mit dem die Gasmischungen hergestellt waren, zu controliren.

Für solche Analysen wurde der Apparat von Bonnier und Maugin[1]) benutzt. Die Kohlensäure wurde in der üblichen Weise durch eine 10proc. KOH-Lösung, Sauerstoff durch eine alkalische Lösung von Pyrogallussäure bestimmt.

Eine Probe Kohlensäure, welche direct aus der zweiten U-Röhre nach Waschung durch die beiden $NaHCO_3$-haltigen Röhren genommen wurde, ergab bei der Analyse 99,8 % $CO_2$, war somit für unseren

1) Bonnier et L. Maugin, Nouvel appareil d'analyses de gaz. Revue Générale de Botanique, tome III, 1891, pag. 97.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0357-2

Zweck rein genug. Eine direct aus dem Apparat genommene Probe Sauerstoff ergab bei der Analyse 94 % Sauerstoff. Der Rest war Stickstoff. Das stimmt ziemlich genau mit der Analyse des im Handel käuflichen comprimirten Sauerstoffes überein, der thatsächlich 6—7 % Stickstoff enthält. Kohlensäure wurde in dem Sauerstoff nicht gefunden.

Um die Genauigkeit des Apparates zu erproben und die thatsächliche Zusammensetzung des Gasgemisches in der Flasche festzustellen, wurde eine Anzahl von Gasgemischen nach der oben beschriebenen Methode hergestellt. Diese liess man vor der Analyse wenigstens eine Stunde lang stehen, so dass eine gut gemischte Probe entnommen werden konnte. Die ersten zwei oder drei Proben mussten verworfen werden, da sie direct aus der Röhre in der Flasche stammten, wo die Diffusion noch nicht so vollständig war, um eine gleichmässige Mischung zu garantiren. Eine Mischung, welche 20 % Kohlensäure und 80 % Sauerstoff enthalten sollte, setzte sich bei der Analyse aus 19,88 % $CO_2$ und 80,12 % $O_2$ zusammen. Dieses Experiment wurde wiederholt, und beim zweiten Male ergab die Analyse 19,78 % $CO_2$ und 80,22 % $O_2$. Eine weitere Mischung, welche gleiche Theile $CO_2$ und $O_2$ enthalten sollte, zeigte das erste Mal 50,3 % $CO_2$, das zweite Mal 49,8 %. Somit war die Zuverlässigkeit des Apparates hinlänglich geprüft. Es mag hier hinzugefügt werden, dass bei dem Gasanalysator die Fehlergrenze zu 0,5 % angenommen wurde.

## V. Pilze.

### a) In Flaschenculturen.

Die Experimente über das Wachsthum der Pilze bei verschiedenem $CO_2$-Gehalt wurden folgendermaassen angestellt.

Starkwandige Flaschen (*F* in Fig. 1) von 250 cm Inhalt wurden mit einem doppelt durchbohrten, gut passenden Gummistopfen geschlossen, welcher zwei Glasröhren aufnahm, von denen die eine rechtwinklig gebogen war und wenig in die Flasche hineinragte, die andere, gerade, bis dicht an die Oberfläche des Culturmediums reichte. Ausserdem waren die Glasröhren mit dicken Gummischlauchstücken versehen, mittelst welcher die Flasche an den Apparat angeschlossen werden konnte (s. Fig. 1 *F*).

Die Nährlösung hatte folgende Zusammensetzung:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $KNO_3$ | 0,1 % | $NH_4NO_3$ | 0,5 % |
| $KH_2PO_4$ | 0,1 | Zucker | 3,00 |
| $MgSO_4$ | 0,1 | $FeSO_4$ | Spur |

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0358-8

Dazu wurde noch 0,002% $ZnSO_4$ hinzugesetzt, da, wie Richards[1]) gezeigt hat, der Zusatz von etwas Zinksulfat das Wachsthum der Pilze sehr günstig beeinflusst.

Von dieser Nährlösung wurden 25 ccm in jede Flasche gegeben und diese dann, nachdem sie fest durch die Gummistopfen geschlossen waren, eine halbe Stunde lang im Dampfsterilisator bei 100° C. sterilisirt.

Darauf wurde mittels einer ziemlich langen Platinnadel, welche durch die gerade Glasröhre eingeführt wurde, die Nährlösung mit Pilzsporen inficirt. Dazu wurden frische Sporen von auf feuchtem Brod cultivirten Pilzen verwandt.

Nachdem auf die oben angegebene Weise die Flasche mit der gewünschten Gasmischung gefüllt war, wurde sie dadurch, dass die Röhren abgeschmolzen oder aber in die Gummischläuche kurze Glasstäbe gesteckt wurden, geschlossen. Die Flaschen wurden dann in das Wärmezimmer gestellt und bei einer Temperatur gehalten, welche das Optimum für den betreffenden Pilz darstellte. Nachdem das Wachsthum 25 Tage hindurch controlirt war, wurde die Gasmischung durch Luft ersetzt. Der zu diesem Zweck gebrauchte Apparat bestand aus einem grossen Gasometer, der mit einer Waschflasche und zwei Baumwolle enthaltenden, vorher sterilisirten U-Röhren verbunden war.

Das Gas entwich am anderen Ende durch eine unter Wasser getauchte Glasröhre, um eine Infection zu verhüten. Die Luft strömte so lange durch die Flasche, bis eine Probe mit Kalkwasser keinen weissen Niederschlag mehr gab. Die Flaschen wurden dann wiederum in das Wärmezimmer gesetzt und das Wachsthum von Neuem beobachtet.

Experimentirt wurde mit folgenden Pilzen: Mucor stolonifer, Aspergillus niger und Penicillium glaucum. Für jede Gasmischung wurden zwei Culturen angesetzt und ausserdem zwei Controlculturen gemacht, von denen die eine einfach mit einem Wattebausch, die andere in der oben erwähnten Weise geschlossen wurde. Dies geschah, um zu sehen, ob durch den Abschluss der Flasche von der Zirkulation der Luft irgend eine Wirkung auf das Wachsthum der Pilze ausgeübt wurde.

Mucor stolonifer und Penicillium glaucum wurden bei 27° C.[2]), Aspergillus niger bei 31° C. cultivirt.

---

1) Richards, Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 30, 1897, p. 665.

2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 1. Aufl., Band 2, 1. Hälfte, pag. 87.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0359-6

Die Untersuchung der Beziehung der Pilze zur Kohlensäure hatte die Aufgabe festzustellen:

1. die Wirkung des Gases auf die Keimung der Sporen,
2. die Wirkung des Gases auf das Wachsthum des Myceliums nach der Keimung der Sporen,
3. die Wirkung des Gases auf die Produktion der Sporen.

Die Controlculturen aller drei Pilze zeigten keine Unterschiede, einerlei, ob die Flaschen mit der freien Luft communicirten oder auf dieselbe Weise wie in den Experimenten verschlossen waren.

Was die erste Frage anbetrifft, so zeigte sich bei den drei Pilzen eine deutliche Verschiedenheit in dem Einfluss des Gases. Die Sporen von Mucor stolonifer waren bei 50 % Kohlensäure keimfähig, während diejenigen von Aspergillus und Penicillium noch bei 90 % Kohlensäure keimten. Auch die zur Keimung erforderliche Zeit war verschieden nach Maassgabe des procentischen Gehaltes. Bei Mucor stolonifer keimten die Sporen in 30 % $CO_2$ nach der gewöhnlichen Zeit, nämlich nach 24 Stunden, während in 40 % die Keimung erst am 17. Tage begann, und bei 50 % erst am 25. In 60 % war die Keimung vollständig unterdrückt.

Die Sporen von Aspergillus niger keimten alle binnen 24 Stunden in Gasgemischen, die bis 40 % $CO_2$ enthielten. Bei Aufenthalt in 50 % war die erforderliche Zeit 48 Stunden. Erst 90 % $CO_2$ liessen eine merkliche Verzögerung erkennen, die Sporen keimten erst nach fünf Tagen. Etwas langsamer war die Keimung der Penicillium-Sporen, welche bis zu 50 % $CO_2$-Gehalt innerhalb 48 Stunden, von 60—80 % in 72 Stunden keimten. Eine sehr erhebliche Verzögerung trat erst bei 90 % $CO_2$ ein; hier keimten die Sporen nach 25 Tagen. In reiner Kohlensäure vermochten die Sporen aller drei Pilze nicht zu keimen.

Es mag noch hinzugefügt werden, dass nicht alle Sporen in den Gasmischungen von höherem $CO_2$-Gehalt auskeimten. Die Zahl der auskeimenden Sporen nahm mit wachsendem $CO_2$-Gehalt allmählich ab.

Die zweite Frage kann in folgender Weise beantwortet werden. Die Hyphen von Mucor wuchsen sehr langsam in 30 % $CO_2$. In 40 % war das Wachsthum nach den ersten zwei oder drei Tagen sistirt. Bei 50 % konnte keine Beobachtung gemacht werden, da ja die Keimung erst nach 25 Tagen stattfand. Das Wachsthum von Mucor wurde ausserdem in einer feuchten Kammer unter dem Mikroskop verfolgt, worüber weiterhin berichtet werden soll.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0360-7

Die Hyphen von Aspergillus niger zeigten eine Wachsthumshemmung, welche mit wachsendem Kohlensäuregehalt grösser wurde, so dass bei 80 % das Wachsthum der Fäden sistirt war. Penicillium verhielt sich ähnlich wie Aspergillus; 80 % $CO_2$ verzögerte oder sistirte das Wachsthum. Mucor wurde in seinem Wachsthum aber schon bei viel niedrigerem Kohlensäuregehalt gehemmt, während die beiden anderen Pilze viel mehr aushalten konnten. Immerhin war auch bei ihnen bei mittlerem Kohlensäuregehalt eine ausgeprägte Hemmung vorhanden. So z. B. zeigte Aspergillus bei 20 % eine schwächere Entwickelung der Pilzdecke, die nur ungefähr halb so gross war als bei normalen Culturen. Bei 30 % war die Pilzdecke etwa ebenso gross wie bei 20 %, bei 40 % war sie $^1/_3$, bei 50 % ungefähr $^1/_5$ und bei 60 % ungefähr $^1/_8$ der normalen Entwickelung.

Was dann schliesslich die dritte Frage anbelangt, so fand keine Bildung von Sporen bei Mucor stol. statt, wenn die Gasmischung mehr als 10 % $CO_2$ enthielt. Apergillus zeigte noch Sporenbildung bei 30 % und war bis zu 70 % im Stande, Sporangienträger zu bilden, die jedoch niemals reife Sporangien trugen. Zwischen 80 und 90 % waren auch keine Sporangienträger zu beobachten. Penicillium producirte Sporen bis zu 50 % $CO_2$, bei 60 % konnten keine Sporen mehr beobachtet werden.

Was die Zeit anbetrifft, innerhalb welcher die Sporen auftreten, so zeigten sich bei Mucor die Sporen erst nach 9 Tagen in 10 %, während sie in den Controlculturen bereits nach zwei Tagen erschienen. Auch bei Penicillium und Aspergillus konnte ich eine markante Verzögerung der Sporenbildung bemerken, welche mit steigendem $CO_2$-Gehalt anwuchs. Sie war besonders ausgeprägt bei Penicillium, wo bei 10 % fünf Tage, bei 30 % hingegen schon 15 Tage zur Produktion der Sporen nöthig waren.

Es bleibt uns noch übrig, das Wachsthum der ungekeimten Sporen und der Hyphen, soweit es bei bestimmtem $CO_2$-Gehalt sistirt oder gehemmt war, nach Ersetzung der Kohlensäure durch Luft zu untersuchen. In allen Fällen, wo die Sporen unausgekeimt geblieben waren, trat Keimung ein und das Wachsthum ging normal weiter, auch Sporen wurden gebildet. Das Wachsthum der Hyphen wurde ebenfalls wieder aufgenommen, bei Mucor erst nach längerer Zeit. Diese Hyphen waren auch noch fähig, Sporen zu bilden. Die bei Aspergillus in 40 % $CO_2$ unentwickelt bleibenden Sporangien kamen zur Reife und entwickelten normale Sporen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0361-3

Um zu sehen, ob die Sporen einer länger dauernden Einwirkung von reiner $CO_2$ widerstehen konnten, wurden Culturen angesetzt, die ganz besonders gut geschlossen waren. Diese liess man vier Monate lang bei der vorher angegebenen Temperatur stehen. Nach Ablauf dieser Zeit wurde das Gas durch Luft ersetzt und das Resultat notirt. In allen Fällen keimten die Sporen aus und die Entwickelung ging bis zur Erzeugung von Sporen normal von statten.

Da das Gasgemisch aus Kohlensäure und Sauerstoff bestand, erhebt sich naturgemäss die Frage, ob der oben besprochene Effect allein auf die Kohlensäure oder auf die vereinte Wirkung von Kohlensäure und Sauerstoff zurückzuführen ist. Diese Frage lässt sich wohl dahin beantworten, dass wahrscheinlich der Effect ausschliesslich der Kohlensäure zuzuschreiben ist. Denn Jentys[1]) fand, dass Phycomyces nitens genau so gut in reinem Sauerstoff als in Luft wuchs und dass bei 60 % $O_2$ sogar ein etwas beschleunigtes Wachsthum stattfand[2]).

Auf der anderen Seite wäre es auch möglich, dass ein Theil der starken hemmenden Wirkung bei sehr hohem $CO_2$-Gehalt auf die Rechnung des Sauerstoffmangels zu schreiben ist. Dies könnte jedoch höchstens zwischen 90 und 100 % zutreffen, da nach Stich[3]) die untere Sauerstoffgrenze wenigstens für höhere Pflanzen bei 5—8 % Sauerstoff liegt. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass durch die Athmung ebenfalls der Sauerstoffgehalt verringert wird, so dass er bei hohem $CO_2$-Procent allmählich unter die minimale Grenze sinkt. Wir müssen also sagen, dass die Schädigung des sehr hohen Kohlensäuregehaltes zum Theil auch auf Sauerstoffmangel neben der specifischen Giftwirkung zurückzuführen ist. Die Widerstandsfähigkeit der Sporen gegen hohen $CO_2$-Gehalt oder reine $CO_2$ könnte vielleicht dadurch aufgehoben werden, dass die Gasmischungen, resp. die reine $CO_2$ unter Druck zur Anwendung käme. In dieser Richtung habe ich indes keine Versuche angestellt.

---

1) Jentys, Untersuchung. des Tübinger Inst., Bd. II, 1885, pag. 457.

2) Die Litteratur über diesen Gegenstand findet man bei Pfeffer, Pflanzenphys. 2. Aufl., Bd. I, 1897, pag. 548.

3) Stich, Flora 1891, pag. 1.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0362-9

## Tabelle 1. — Aspergillus niger.

Temperatur = 31° C. + bedeutet ja; — bedeutet nein.

| % $CO_2$ | Zeit, nach welcher die Sporen keimten | Zeit, nach welcher die Sporen gebildet wurden | Wachsthum der Hyphen in $CO_2$ | Wachsthum der Hyphen resp. Keimung der Sporen nach Uebertragung in Luft | Fructification nach Uebertragung in Luft | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Control | 24 Stdn. | 2 Tage | | | | |
| 10 | 24 „ | 3 „ | + | + | + | |
| 20 | 24 „ | 4 „ | + | + | + | |
| 30 | 24 „ | 4 „ | + | + | + | |
| 40 | 24 „ | (4 „ ) | + | + | + | |
| 50 | 48 „ | (4 „ ) *) | + | + | + | *) Es wurden nur Sporangienträger mit weissen und unentwickelten Sporen gebildet. |
| 60 | 72 „ | (6 „ ) | + | + | + | |
| 70 | 72 „ | — | + | + | + | |
| 80 | 72 „ | — | — | + | + | |
| 90 | 5 Tage | — | — | + | + | |
| 100 | — | — | — | + Keimung und Wachsthum | + | |

## Tabelle 2. — Penicillium glaucum.

Temperatur = 27° C. + bedeutet ja; — bedeutet nein.

| % $CO_2$ | Zeit, nach welcher die Sporen keimten | Zeit, nach welcher Sporen gebildet wurden | Wachsthum der Hyphen in $CO_2$ | Wachsthum der Hyphen resp. Keimung der Sporen nach Uebertragung in Luft | Fructification nach Uebertragung in Luft |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | 24 Stdn. | 3 Tage | | | |
| 10 | 48 „ | 5 „ | + | + | + |
| 20 | 48 „ | 7 „ | + | + | + |
| 30 | 48 „ | 15 „ | + | + | + |
| 40 | 48 „ | 15 „ | + | + | + |
| 50 | 48 „ | — | + | + | + |
| 60 | 72 „ | — | + | + | + |
| 70 | 72 „ | — | + | + | + |
| 80 | 72 „ | — | — | + | + |
| 90 | 25 Tage | — | — | + | + |
| 100 | — | — | — | + Keimung und Wachsthum | + |

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0363-5

Tabelle 3. — Mucor stolonifer.

Temperatur = 27° C. + bedeutet ja, — bedeutet nein.

| % $CO_2$ | Zeit, nach welcher die Sporen keimten | Zeit, nach welcher Sporen gebildet wurden | Wachsthum der Hyphen in $CO_2$ | Wachsthum der Hyphen resp. Keimung der Sporen nach Uebertragung in Luft | Fructification nach Uebertragung in Luft |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | 24 Stdn. | 2 Tage | | | |
| 10 | 24 „ | 9 „ | + | + | + |
| 20 | 24 „ | — | + | + | + |
| 30 | 24 „ | — | + | + | + |
| 40 | 17 Tage | — | + 2 od. 3 Hyphen wuchsen | + Keimung u. Wachsthum | + |
| 50 | 25 „ | — | — | + „ | + |
| 60 | — | — | — | + „ | + |
| 70 | — | — | — | + „ | + |
| 80 | — | — | — | + „ | + |
| 90 | — | — | — | + „ | + |
| 100 | — | — | — | + „ | + |

b) In der feuchten Kammer.

Die Experimente wurden so angestellt, dass eine Mischung von $CO_2$ und $O_2$ durch eine Gaskammer geleitet wurde, welche die Pilzcultur in einem Hängetropfen enthielt.

Um die Sporen so auf dem Deckgläschen zu befestigen, dass sich ihre Lage während der Beobachtung nicht verändern konnte, wurden kleine Stückchen Faden mit Schellack auf das Deckglas geklebt und die Sporen auf dem Faden ausgesät. Dabei bleiben genug an den Fäden haften, so dass nach der Keimung das eine Ende des Keimfadens fixirt war. Ausserdem wurde dafür Sorge getragen, dass sich nur ein paar Sporen auf dem Faden befanden. Die Gaskammern wurden mit einer $^1/_2$ proc. Lösung von Formaldehyd sterilisirt, die nachher durch sterilisirtes Wasser sorgfältig ausgewaschen wurde. Die Deckgläschen wurden in der Flamme sterilisirt. Es war nöthig, in die Kammer feuchte Stückchen von Fliesspapier zu thun, um ein Austrocknen des Tropfens durch den Gasstrom zu verhüten. Die Sporen wurden mittelst einer Platinnadel in den Tropfen der sterilisirten Nährlösung, der mit einer sterilen Pipette auf das Deckglas gebracht war, ausgesät. Das letztere wurde mittelst Vaseline auf die Oeffnung der Glaskammer aufgepasst.

Als Nährlösung wurde folgende verwandt:

Pepton 1 %, Fleischextrakt 1 %, Zucker 4 %.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0364-1

Wenn die Aussaat des Abends um 7 Uhr erfolgt war, war bei 27° C. die Cultur am folgenden Morgen um 9 Uhr zum Gebrauch fertig, d. h. die Keimschläuche hatten die gewünschte Länge erreicht. Zunächst wurde das normale Wachsthum gemessen und zwar mittelst eines Mikrometers, dessen Scaleneinheit bei der betreffenden Vergrösserung einen Werth von 4,5 μ darstellt.

Das durchschnittliche Wachsthum in einer Minute war 8,1 μ, ein Werth, der ungefähr dem von Büchner[1]) für denselben Pilz gefundenen entspricht.

Die Gasmischung wurde in einem Gasometer über Wasser in der Weise hergestellt, dass er zunächst theilweise mit $CO_2$ angefüllt und dann so lange stehen gelassen wurde, bis sich das Wasser mit $CO_2$ gesättigt hatte. Darauf wurde $O_2$ hinein geleitet.

Da jedoch die Gasmischung nicht constant blieb, liess ich dieselbe einige Zeit bei derselben Temperatur, bei welcher ich die Experimente ausführte, stehen und analysirte dann während eines jeden Experimentes.

Ich liess die Gasmischung in mässigem Strome durch den Apparat gehen und notirte die Zeit, innerhalb welcher das Wachsthum des Fadens zum Stillstand kam.

Nachdem ich darauf den Gasstrom noch 30 Minuten hatte weiter passiren lassen, ersetzte ich das Kohlensäuregemisch durch Luft, indem ich dieselbe so lange durchströmen liess, bis alle Kohlensäure entfernt war. Dann wurde die Zeit notirt, nach welcher von neuem Wachsthum auftrat, indem ich von dem Augenblicke an rechnete, wo Luft einströmte.

Tabelle 4. Mucor stolonifer.

Temperatur = 26,5° C.

| Expt. | % $CO_2$ | Wachsthum in Luft | Zeit, nach welcher das Wachsthum in dem $CO_2$-gemisch aufhörte | Zeit, nach welcher das Wachsthum wieder begann, nach Uebertragung in Luft |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 32.8 | 10.8 μ | 20 Min. | 30 Min. |
| 2 | 49.5 | 6.1 μ | 10 Min. | 60 Min. |
| 3 | 62.0 | 9.0 μ | 10 Min. | 60 Min. |
| 4 | 75.0 | 6.4 μ | 10 Min. | 2 Stdn. |

Aus Tabelle 4 ist zu ersehen, dass bei 32 und mehr Procent $CO_2$ das Wachsthum allmählich, und zwar bei höherem $CO_2$-Gehalt

1) Büchner, Zuwachsgrössen und Wachsthumsgeschwindigkeiten bei Pflanzen (Leipzig 1901) pag. 19.



Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0365-6

schneller, erlischt. Fäden, welche sich in einer Atmosphäre befanden, die weniger als 32 % enthielt, wuchsen zwar weiter, zeigten jedoch eine etwas geringere Wachsthumsgeschwindigkeit, als normale Fäden. Das Aufhören des Wachsthums bei 32 % $CO_2$ nach 20 Minuten stimmt gut mit dem Resultat überein, welches ich bei den Flaschenculturen von Mucor erhielt, und controlirt gleichzeitig die frühere Beobachtung. Ich fand dort, dass das Wachsthum bei 30—40 % $CO_2$ aufhörte (s. Tabelle 3).

Die Resultate, die ich bei höherem Kohlensäuregehalt erhielt, stimmen insofern mit den früheren überein, als die Fäden durch $CO_2$ nicht getödtet werden und nach Uebertragung in Luft weiter wuchsen.

Bei 32 % $CO_2$ fand ich, dass die Endzellen der Fäden durch das Gas nicht geschädigt waren, sondern nach 30 Minuten weiter wuchsen und kurze Zeit darauf normale Wachsthumsgeschwindigkeit erreichten. Bei höherem $CO_2$-Gehalt wurden die Endzellen der Fäden so geschädigt, dass sie nach Uebertragung in Luft überhaupt nicht weiter wuchsen. Sie producirten jedoch an den älteren Theilen Seitenzweige. Diese wurden gebildet und wuchsen weiter nach dem Aufenthalt in 49—62 % $CO_2$ innerhalb 60 Min., nach dem Aufenthalt in 75 % jedoch erst nach zwei Stunden. Bald erreichten sie dann normales Wachsthum. Wir finden also, dass Kohlensäure innerhalb der Versuchszeit die Fäden nicht tödtet, sondern dass von 32 % $CO_2$ an nur eine Hemmung des Wachsthums eintritt.

## VI. Einfluss der Kohlensäure auf Wurzeln und Sprosse.

Für diese Experimente wurde folgender Apparat gebraucht: Eine weite tubulirte Glasglocke von ungefähr zwei Liter Rauminhalt wurde oben mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen geschlossen, welcher zwei rechtwinklig gebogene, einen einfachen Glashahn tragende Glasröhren aufnahm. Die Glasglocken konnten mittelst Vaseline luftdicht auf eine matt geschliffene Glasplatte aufgesetzt und diese in eine flache Porzellanschale gestellt werden. Wurde dann diese mit Wasser angefüllt, so war ein vollkommen dichter Abschluss erreicht. (Vgl. Fig. 66 in Pfeffer's Pflanzenphysiologie II. Aufl., Bd. I pag. 542.)

Um die Gasmischung in möglichst innigen Contact mit den Wurzeln kommen zu lassen, war es nöthig, die Pflanzen in einem Medium und in einem Gefäss zu cultiviren, welches dem Gas eine freie Circulation gestattete. Zu dem Zweck wurde von einem Cylinderglase

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0366-2

mittlerer Grösse der Boden abgesprengt und über die Oeffnung ein Stück Gaze gespannt. Das Gefäss wurde auf einem Dreifuss von Eisendraht befestigt. Diese Gefässe wurden unter die Glasglocke gestellt.

Das Culturmedium war loses Sägemehl.

Die Gasmischung wurde in ähnlicher Weise wie in den früheren Experimenten hergestellt, nur war es in diesem Fall nicht nöthig, die Glasglocke ganz zu evacuiren, da die Experimente immer in einer Atmosphäre ausgeführt wurden, die neben dem gewünschten $CO_2$-Gehalt normalen $O_2$-Gehalt, nämlich ungefähr 20 %, besassen. Der Rest war Stickstoff.

Es wurde soweit evacuirt, wie es nöthig war, um den gewünschten Gehalt an Kohlensäure und Sauerstoff herzustellen. Um die Veränderung zu eliminiren, die durch die Assimilation verursacht wird, wurden alle Experimente im Dunkeln ausgeführt. Die Athmung konnte natürlich nicht vermieden werden. Da jedoch die Glasglocken 2000 bis 2500 ccm Inhalt besassen und eine beschränkte Zahl von Pflanzen zum Experiment dienten, wurde die Zusammensetzung des Gasgemisches in der Versuchszeit nicht erheblich geändert.

Die Pflanzen wurden zuerst gemessen, dann in das Gasgemisch gebracht, dort die gewünschte Zeit gelassen und dann wiederum gemessen. Darauf wurden sie in eine feuchte Kammer bei derselben Temperatur und ebenfalls im Dunkeln weiter cultivirt und das Wachsthum alle 24 Stunden bestimmt.

Gewöhnlich ist in den folgenden Tabellen der Zuwachs während 24 Stunden angegeben; nur bei den Wurzeln ist das Gesammtwachsthum verzeichnet, welches vom Beginn des Versuchs ab nach 24, 48 etc. Stunden gefunden wurde. Die Zahlen stellen den Durchschnitt von Messungen an 10—12 Pflanzen dar.

### a) Wurzeln.

Samen von „Pisum sativum“ und „Vicia sativa“ wurden nach Quellung in Wasser in Sägemehl gepflanzt, und zwar so, dass sich die Wurzeln ganz gerade entwickeln konnten. Solche Wurzeln, welche 1,5—2 cm lang waren, wurden mit chinesischer Tusche 10 mm von der Wurzelspitze markirt, dann in die Gefässe gepflanzt und diese in die $CO_2$-Atmosphäre gebracht.

Ausser der Wirkung von $CO_2$ auf die Hauptwurzel wurde noch die Entwickelung des jungen Sprosses sowie der Seitenwurzeln beobachtet.



Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0367-8

## Tabelle 5. — Pisum sativum.

Temperatur = 26.5° C. — S.W. Seitenwurzeln.

| % $CO_2$ | Wachsthum der Wurzel in Millimetern während | | | | | | | Nach vorheriger Einwirkung von $CO_2$ während | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 24 | | | | 48 | | | | 72 | | | | 96 Stdn. | | | |
| | | | | | | | | späteres Wachsthum in Luft nach | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 40 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 Std. | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 |
| Control | 30 | — | 60.0 S.W. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1 | 30 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 34.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 33.8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 33.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | 27.3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 22.3 | — | 32.8 | 57 S.W. | 62 | — | — | 42 S.W. | 68 | — | — | 52 S.W. | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 12 | 23.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 15 | 17.6 | — | 27.0 | 47 | 67.8 S.W. | — | — | 36.2 | 65 S.W. | — | — | 47 S.W. | — | — | — | 63.2 S.W. | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 12.2 | — | 15.0 | 24.0 | 29.0 | — | — | 33 | 53.5 S.W. | — | — | 27.5 | 52 S.W. | — | — | 33 | 40 S.W. | — | 40 S.W. | — | — | — | — |
| 25 | 3.0 | — | 7.0 | 6.3 | 9.8 | — | — | 16.5 | 30 S.W. | 50 | — | 19.2 | 44 S.W. | 63.6 | — | 11.0 | 15.0 S.W. | 18.0 | — | 15 S.W. | 20 | — | — |
| 30 | 3.0 | — | 4.0 | 3.5 | 3.9 | — | todt | 13.9 | 30.5 S.W. | 59 | — | 12.3 | 26.5 | 52 S.W. | — | — | — | 20.9 S.W. | 37.2 | 5.6 | 7.6 | 11.2 S.W. | 15.5 |
| 35 | 2.0 | — | 2.2 | 2.2 | 2.2 | todt | — | 10 | 24 | 43.2 S.W. | — | 9.7 | 21.2 | 49.6 S.W. | — | — | — | 12.3 | 30.3 S.W. | todt | — | — | — |
| 40 | 2.0 | — | 2.0 | 2.5 | todt | — | — | 9.2 | 21 S.W. | 36 | 45 | 10.1 | 21.2 | 38 S.W. | 49 | todt | — | — | — | — | — | — | — |
| 80 | 2.0 | todt | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0368-4

Universitätsbibliothek Regensburg

## Tabelle 6. — Vicia sativa.

*Temperatur* = 26.5° C. — S.W. Seitenwurzeln.

| % $CO_2$ | Wachsthum der Wurzel in Millimetern während | | | | | | Nach vorheriger Einwirkung von $CO_2$ während | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 24 | | | | 48 | | | | 72 | | | | 96 Std. | | | |
| | | | | | | | späteres Wachsthum in Luft nach | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 Std. | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 |
| Control | 30 | 55.1 S.W. | 74.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1 | 31 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 30.57 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 29.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 29.06 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | 27.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | 25.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 22.5 | — | — | — | — | — | 42.5 S.W. | 65 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 15 | 22.5 | — | 42 S.W. | — | — | — | 50 S.W. | 70 | — | — | 60 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 12.2 | 27.5 | — | — | — | — | 28.7 | 50 S.W. | — | — | 40 S.W. | 60 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 25 | 9.8 | 18.4 | 24.4 | 32.0 | 33.4 | — | 30 S.W. | 55 | — | — | 33 S.W. | 60 | — | — | 32.3 S.W. | 40.1 | 56.0 | — | 36 S.W. | 44.5 | 54.4 | — |
| 30 | 3.0 | 9.0 | 15 | 13.0 | — | todt | 23 | 53 S.W. | — | — | 22.4 S.W. | 55.0 | — | — | 23.1 S.W. | 35 | 51 | — | 15 S.W. | 20.2 | 30 | 40 |
| 35 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | todt | — | 9.2 | 28 S.W. | 46 | — | 9.5 | 28 S.W. | 43.7 | — | 9.0 | 21 S.W. | 32 | 42 | 8.4 S.W. | 12.8 | 21 | 39 |
| 40 | 2.0 | 2.0 | todt | — | — | — | 4.1 | 12.1 | 34.5 S.W. | 47.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 50 | — | todt | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 80 | todt | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |



urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0369-2

Ausserdem wurde die Nachwirkung von $CO_2$ auf die Pflanze verfolgt. Die Beobachtungen finden sich in den vorstehenden Tabellen zusammengestellt, mit Ausnahme derjenigen an den jungen Sprossen, über welche späterhin summarisch berichtet werden soll.

Ein Blick auf die Tabellen 5 und 6 (s. vorstehend) lehrt, dass in 24 Stunden bei geringem Kohlensäuregehalt das Wachsthum der Hauptwurzel gegenüber dem normalen etwas beschleunigt ist, und zwar findet bei Pisum das maximale Wachsthum bei 2 % $CO_2$ statt. Von da ab nimmt es weiter ab, ist aber bei 4 % noch etwas intensiver als normal. Erst bei 5 % $CO_2$ wird eine leichte Verzögerung bemerklich.

Vicia zeigt maximales Wachsthum bei 1 % und Hemmung bei 3 % $CO_2$-Gehalt.

Die Wachsthumshemmung der Hauptwurzel in den ersten 24 Stunden wird mit steigendem $CO_2$-Gehalt grösser, bis schliesslich bei Pisum in 25 % und bei Vicia in 30 % das Wachsthum nur sehr gering ausfällt. Jedoch wird auch bei höherem Kohlensäuregehalt bis zu 80 % in den ersten 24 Stunden noch ein schwaches Wachsthum ausgeführt.

Bei einem $CO_2$-Gehalt von 10 % und mehr beginnt das Wachsthum der Hauptwurzel nach 24 Stunden langsamer zu werden. Der Zuwachs ist um so geringer, je höher der Gehalt an $CO_2$ ist. Bei Pisum war der Zuwachs in 25 % und bei Vicia in 30 % nur schwach und zeigte damit an, dass die Grenzen des Wachsthums beinahe erreicht waren.

Die Benachtheiligung, welche durch einen Kohlensäuregehalt bis zu 20 % hervorgerufen wurde, ist nicht bedeutend. Alle Theile der Pflanze sind noch wachsthumsfähig; die Würzelchen haben nach Uebertragung in Luft nach 48 Stunden ungefähr dieselbe Länge erreicht wie die der Controlpflanzen in derselben Zeit.

Bis zu 35 % war die Benachtheiligung ebenfalls nicht gross, wenn sich die Keimlinge nur 24 oder 48 Stunden in der $CO_2$-Atmosphäre befunden hatten. Immerhin ist das spätere Wachsthum verlangsamt. Die Wurzeln erreichen erst 72 Stunden nach ihrer Uebertragung in Luft normales Wachsthum.

Die Keimlinge wachsen normal weiter mit Ausnahme des jungen Erbsensprosses, welcher bei 48stündiger Einwirkung von 30 % $CO_2$ getödtet wird; doch darüber später.

Keimlinge, die in 40 % $CO_2$ 24 Stunden lang gewesen waren, brauchten 96 Stunden, um zu normaler Länge heranzuwachsen. Nach 48stündiger Einwirkung zeigt sich eine deutliche Differenz zwischen den beiden Pflanzen: Pisum verhält sich ebenso wie nach vorheriger

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0370-3

24stündiger Einwirkung von 40 %, das Würzelchen von Vicia hingegen ist todt.

Sehr schädlich in Bezug auf das spätere Wachsthum wirkt erst eine 72—96stündige Einwirkung von 25—35 % $CO_2$; besonders das Würzelchen beider Pflanzen und der Spross von Pisum leiden.

Das Wachsthum der Wurzel von Pisum ist nach dem Aufenthalt in 25—30 % $CO_2$ sehr verlangsamt, denn sie wird nach der Uebertragung in Luft in 72—96 Stunden nur 18—30 mm lang. Während dieser Zeit wird die Länge der Hauptwurzel bald von den sich rasch entwickelnden Seitenwurzeln übertroffen, welche für ausreichende Ernährung der Pflanze sorgen würden, wenn nicht der Keimspross geschädigt wäre. Dieser ist jedoch nach 96stündiger Einwirkung von 25 % todt und bei 30 % bereits nach 48stündiger Einwirkung abgestorben. Normale Entwickelung kann also erst dann eintreten, wenn Adventivsprosse gebildet sind. Wenn 35 % 72 Stunden einwirken, ist etwa derselbe Effect zu verzeichnen, nach 96 Stunden sind jedoch Wurzel und Spross so sehr geschädigt, dass sie 24 Stunden nach ihrer Uebertragung in Luft abstarben. Seitenwurzeln wurden nicht gebildet. 40 % bringen innerhalb 72 Stunden dieselbe Wirkung hervor wie 35 % in 96 Stunden.

Vicia zeigt hingegen zwischen 25—35 % bei 72—96stündiger Einwirkung keine so grosse Schädigung als Pisum. Die Wurzeln wachsen nach 72—96stündiger Einwirkung von 25 % Kohlensäure in normaler Luft zu einer Länge von 55 mm, bei 72stündiger Einwirkung von 30 % $CO_2$ zu einer solchen von 51 mm heran. Nach 96stündiger Einwirkung von 30 % $CO_2$ und nach 72—96stündiger Einwirkung von 35 % $CO_2$ betrug das Wachsthum in Luft nur 40 mm.

Die Hauptwurzel gelangt jedoch nicht zu normaler Entwickelung, da die Seitenwurzeln bald nach Uebertragung in Luft gebildet werden und ihre Entwickelung bald die der Hauptwurzel übertrifft. Die Pflanze kann nunmehr normal weiter wachsen, da der Spross nicht getödtet ist.

Die Wurzel wird erst getödtet, wenn 40 % $CO_2$ 48—72 Stunden gewirkt haben; da jedoch neue Seitenwurzeln nachher angelegt werden, ist eine, wenn auch erst allmählich sich einstellende, normale Entwickelung möglich. Der Spross ist nicht todt und erreicht nach 72 Stunden eine Länge von 16—25 mm.

Aus den vorstehenden Angaben kann der Schluss gezogen werden, dass die durch $CO_2$ hervorgerufene Schädigung bei 15—40 % nach 24—48stündiger Wirkungsdauer nicht erheblich und fatal ist, eine solche vielmehr erst bei längerer Einwirkung auftritt.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0371-9

Was die Zeit anbetrifft, innerhalb welcher Wurzel und Keimspross getödtet werden, so fand ich, dass im Allgemeinen die Zeit mit der Zunahme der $CO_2$ verkürzt wird. So z. B. waren sowohl für Pisum wie für Vicia bei 30 % 144 Stunden, bei 35 % 120 Stunden, bei 40 % 96 Stunden (Pisum) resp. 72 Stunden (Vicia) erforderlich. Bei den höheren Procenten ist die Zeit viel kürzer; so sind bei 80 % die respectiven Werthe 40 und 48 Stunden.

Die ersten Entwickelungsstadien des Keimsprosses unter dem Einfluss von $CO_2$ mögen hier, da sie in der Tabelle nicht aufgenommen sind, mit ganz wenigen Worten skizzirt werden.

Der Keimspross einer Erbse erreicht in normaler Luft im Dunkeln in 48 Stunden eine Länge von 10 mm (gemessen ist das Hypocotyl). Bei 20 % $CO_2$ ist das Wachsthum gänzlich sistirt. Eine schädliche Wirkung äussert sich auf den jungen Keimspross nach 24—48stündiger Einwirkung von 10—25 % $CO_2$ noch nicht, bei 30—40 % erholt er sich erst etwas später, wenn das Gas nur einen Tag gewirkt hatte. Schon nach zweitägiger Einwirkung war jedoch dieser Procentgehalt tödtlich. Derselbe Effect zeigte sich auch schon bei 25 % nach 72 Stunden.

Wenn der Spross getödtet ist, können in dem Falle, dass die Wurzel noch erhalten bleibt, Seitensprosse gebildet werden.

Der Keimspross von Vicia ist viel widerstandsfähiger. In normaler Luft entwickelt sich das Hypocotyl im Dunkeln bei einer Temperatur von 26,5° C. zu einer Länge von 8,6 mm. In 10—30 % $CO_2$ vermag der Spross eben die Samenhülle zu durchbrechen; die dazu erforderliche Zeit wächst mit wachsendem $CO_2$-Gehalt. Die Zeit betrug z. B. in 20 % 24 Stunden, in 30 % $CO_2$ 48 Stunden. In 35 % wird die Entwickelung sistirt. In allen Fällen, wo die Entwickelung in dem Gase unterblieb, sah ich dieselbe nach Uebertragung in Luft innerhalb 24 Stunden von neuem einsetzen. Getödtet wurde der Keim erst bei 48 % oder aber bei sehr langer Einwirkung von 30—40 %. Die Ursache, weshalb der Keim von Vicia so viel widerstandsfähiger ist als der von Pisum, liegt vielleicht zum Theil daran, dass er bei Vicia viel besser durch die Cotyledonen geschützt ist und infolge dessen zunächst nur eine geringe Quantität $CO_2$ in die Plumula gelangt.

Ganz kurz sei auch noch die Wirkung von $CO_2$ auf die Entwickelung der Seitenwurzeln zusammengefasst. An normalen Pflanzen von Pisum erscheinen dieselben nach 48 Stunden bei einer Temperatur von 26,5° C. In einer Atmosphäre von 10—15 % $CO_2$ dauert es 72 resp. 96 Stunden. Bei solchen Pflanzen, welche nur 1—2 Tage

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0372-5

in diesem Gasgemisch verweilt hatten, treten sie 24 Stunden nach Uebertragung in Luft auf. In 20 % $CO_2$ und mehr fand überhaupt keine Entwickelung von Seitenwurzeln statt; sie bildeten sich jedoch nachher in normaler Luft binnen 48 Stunden aus. Die Zeit war kürzer, nämlich nur 24 Stunden, wenn die Pflanzen 96 Stunden in 20 % $CO_2$ gewesen waren. Nach vorheriger Einwirkung von 30—40 % $CO_2$ dauerte es 72 Stunden, bis die Seitenwurzeln erschienen.

Vicia entwickelte normal Seitenwurzeln nach 48 Stunden, in 10—25 % $CO_2$ werden sie 24 Stunden nach der Uebertragung in Luft gebildet, bei vorheriger Einwirkung von 35 % und 40 % dauerte das 48 resp. 72 Stunden. Vollkommen unterdrückt ist die Entwickelung der Seitenwurzeln, so lange 25 % $CO_2$ gegenwärtig sind.

Die Nachwirkung auf die Bildung der Seitenwurzeln ist nicht sehr bedeutend, nur hohe Procente $CO_2$ verlangsamten ihre Anlage wesentlich. Wenn die Hauptwurzel getödtet ist, wird naturgemäss das Wachsthum der Seitenwurzeln beschleunigt. Sie bilden an der Basis eine dichte, buschige Masse, die besonders typisch für Vicia nach 48stündiger Wirkung von 50 % $CO_2$ und bei Pisum nach 96stündiger Wirkung von 25 % $CO_2$ zu beobachten ist.

### b) Stengel.

Für diese Experimente wurden Keimlinge von Sinapis alba und Trifolium incarnatum benutzt, die bei 26,5° C. unter einer Glasglocke in feuchtem Sägemehl erzogen wurden; 2—2,5 cm lange Keimlinge wurden gemessen, und zwar wurde die Entfernung von dem Punkte, wo die Keimlinge aus dem Sägemehl hervorkamen, bis zu der Basis des Cotyledonen genommen und durch zwei Marken gekennzeichnet. Sie wurden dann in das Gasgemisch gebracht, die gewünschte Zeit im Dunkeln darin gelassen und dann von neuem gemessen. Das weitere Wachsthum unter normalen Bedingungen wurde alle 24 Stunden registrirt.

Auf Tabelle 7 und 8 (s. umstehend) ist zu sehen, dass ein beschleunigtes Wachsthum des Stengels ähnlich wie bei der Wurzel in 1—2 % stattfand. Sinapsis wuchs am besten bei 1 % $CO_2$ und zeigte erst Wachsthumsverlangsamung bei 3 % $CO_2$. Das Optimum für Trifolium war 2 % $CO_2$. Hier war der Abfall ein viel allmählicherer, da erst bei 10 % eine schwache Verzögerung des Wachsthums bemerklich wurde. Bei beiden Pflanzen tritt eine bemerkliche Hemmung erst bei 15 % $CO_2$ ein. Ein Kohlensäuregehalt zwischen 3 und 15 %

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0373-0

## Tabelle 7. — Sinapis alba.

Temperatur = 26.5° C.

| % $CO_2$ | Wachsthum des Stengels in Millimetern während | | | | | | | | | Nach vorheriger Einwirkung von $CO_2$ während | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | 24 | | | | 48 | | | | 72 | | | | 96 Std. | | | | |
| | | | | | | | | | | spätere Wachsthum in Luft nach | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 40 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 | 196 Std. | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 | 24 | 48 | 72 | 96 Std. |
| Control | 11.8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1 | 18.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 14.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 10.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | 10.1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | 10.1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 9.0 | — | 22.0 | 33.0 | 31.0 | 35.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 10.0 | — | — | — | — | — | — | — |
| 15 | 4.0 | — | 7.0 | 7.0 | 8.3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 9.9 | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 2.0 | — | 2.0 | 3.5 | 4.0 | — | — | — | 4.0 todt | 4.4 | 8.5 | — | — | 3.0 | 5.0 | 8.0 | — | 7.0 | 5.0 | 5.6 | 4.0 | 3.7 | 3.5 | 2.0 | 5.2 |
| 25 | 2.0 | — | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | — | todt | — | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 1.0 | — | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | todt | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 2.0 | — | 2.0 | 2.2 | 1.0 | todt | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 1.0 | — | — | 1.0 todt | — | — | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | — | todt | — | — | — | — | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | |

Da von 25% an die Wurzeln abstarben, konnten die Stengel erst dann wieder anfangen zu wachsen, nachdem neue adventive Wurzeln gebildet waren.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0374-6

UR Universitätsbibliothek Regensburg

Tabelle 8. — Trifolium incarnatum.

*Temperatur* = 26.5° C.

| % $CO_2$ | Wachsthum des Stengels in Millimetern während | | | | | | | | Nach vorheriger Einwirkung von $CO_2$ während | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 24 | | | | | 48 | | | | | 72 | | | | | 96 Std. | | | | | |
| | | | | | | | | | späteres Wachsthum in Luft nach | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 | 192 Std. | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 Std. |
| 1 | 14.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 14.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 11.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | 11.3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | 9.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 8.0 | — | 12.5 | — | — | — | — | — | — | 8.0 | 0 | 0 | 0 | — | — | — | — | — | — | 4.0 | 0 | 0 | 0 | — | — | — | — | — | — |
| 15 | 6.3 | 7.2 | 12.6 | 11.8 | †11.0 | — | — | — | 3.6 | 2.3 | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 2.0 | 0 | 0 | * | 3.2 | 0 | 0 | todt | — | 2.1 | 0 | todt | — | — | — |
| 20 | 5.5 | 4.0 | 4.0 | — | — | — | — | — | 5.0 | 4.6 | 1.6 | 0 | 0 | 4.0 | 2.4 | 0 | todt | — | 1.0 | 0 | 0 | todt | — | — | — | — | — | — | — |
| 25 | 2.0 | 2.4 | 2.0 | — | — | — | — | 2.0 | 7.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.6 | 2.0 | 1.0 | 0 | todt | 1.0 | 0 | 0 | todt | — | — | — | — | — | — | — |
| 30 | 1.4 | 1.9 | 2.0 | — | — | — | todt | — | 2.8 | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | 2.7 | 1.0 | 0 | * | 0 | 0 | todt | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 40 | 1.75 | 2.3 | 2.0 | — | — | todt | — | — | 1.6 | 2.6 | 1.0 | 0 | * | 2.7 | 3.2 | 1.5 | 0 | * | todt | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 50 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | todt | — | — | — | 3.5 | 4.0 | 1.5 | 0 | * | 0 | 0 | todt | — | — | 0 | 0 | todt | — | — | todt | — | — | — | — | — |
| 80 | 1.0 | todt | — | — | — | — | — | — | todt | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Control | 8.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

† Wuchs nicht in normaler Luft, sondern starb in 72 Std. * Verfault.



urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0375-2

bei Sinapsis und zwischen 8 und 15 % bei Trifolium hatte nur sehr geringen Einfluss auf das Wachsthum.

Von 15—25 % $CO_2$ nahm bei beiden Pflanzen die Hemmung allmälich zu, bis bei 25 % fast vollständige Sistirung eintrat. Von hier an war stets ein anfänglicher Zuwachs von 1—2 mm zu constatiren, offenbar als Nachwirkungserscheinung des normalen Zustandes.

Das Verhalten nach dem Aufenthalt in Kohlensäure hängt von dem Kohlensäuregehalt des Gasgemisches ab. Nach einem 24stündigen Aufenthalt in 10 und 15 % $CO_2$ wurde im Allgemeinen ein normales Wachsthum nach 24 Stunden erreicht. Nach 24—48stündiger Einwirkung von 20 % $CO_2$ kehrte das normale Wachsthum in 48 resp. 72 Stunden zurück, während nach 72—96stündigem Verweilen in 20 % $CO_2$ die Pflanze nicht zum normalen Wachsthum zurückkehrte. Da von 25 % an aufwärts die Wurzeln getödtet werden, konnte normales Wachsthum natürlich erst nach Bildung neuer Wurzeln beginnen.

Bei Trifolium incarnatum ist die Nachwirkung ziemlich bedeutend. Bei 24—48stündiger Einwirkung von 15—40 % $CO_2$ wuchsen die Pflanzen in der normalen Luft nur kümmerlich weiter und starben nach 48 Stunden allmählich ab und zwar desto eher, je höher der vorher angewandte Gehalt an $CO_2$ war.

Blieben die Pflanzen längere Zeit in 20—25 % $CO_2$, so wuchsen sie später nur kümmerlich weiter und waren gewöhnlich nach 96 Stunden todt, während nach ebenso lange andauernder Einwirkung von 30—40 % $CO_2$ überhaupt kein Wachsthum wieder eintrat, sondern die Pflanzen bald abstarben. 24stündiges Verweilen in 50 % $CO_2$ hat eine den anderen Procenten entsprechende Nachwirkung; 48stündiges Verweilen tödtet die Pflanze nach 72 Stunden.

Aehnlich wie bei den Wurzeln konnte auch hier constatirt werden, dass mit einer Zunahme des $CO_2$-Gehaltes die Lebenszeit der Pflanzen verkürzt wurde.

So betrug die Zeit bis zum Absterben von Sinapis bei 25 % $CO_2$ 168 Stunden, bei 30 % 144 Stunden, bei 40 % 120 Stunden, bei 80 % 40 Stunden. Bei Trifolium war die Lebensdauer etwas länger (25 % $CO_2$ = 192 h; 30 % = 168 h; 40 % = 144 h; 50 % = 120 h; 80 % = 48 h).

Allgemein können wir also sagen: Wenn die Pflanzen unter dem Einfluss von mehr als 15 % $CO_2$ länger als 24 Stunden gelassen werden, ist die Schädigung so gross, dass sie nicht zu normalem Wachsthum fähig sind, sondern nach längerer oder kürzerer Zeit absterben.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0376-8

c) Hordeum vulgare.

2—3 cm lange Pflänzchen wurden gemessen, und zwar wurde die Länge des Keimblatts an der Basis bis zur Spitze, oder aber, wenn das erste Laubblatt schon hervorgebrochen war, dessen Länge gemessen.

Der Zuwachs ist in folgender Tabelle 9 (s. umstehend) verzeichnet; er wurde immer nach 24 Stunden beobachtet; nur wenn die Pflanze längere Zeit in $CO_2$ blieb, ist der Gesammtzuwachs angegeben.

Wie bei Wurzeln und Sprossen liegt der optimale Gehalt der $CO_2$ für das Wachsthum bei 2 %; auch zwischen 5 und 8 % ist das Wachsthum noch supranormal. Erst bei 10 % $CO_2$ wird eine geringe Hemmung bemerklich, die langsam anwächst und bei 15 % schon sehr deutlich ausgeprägt ist, ganz analog dem Verhalten der Sinapis- und Trifolium-Keimlinge. Bei Hordeum nimmt jedoch die Hemmung von jetzt an nicht so rasch zu, ist vielmehr sehr allmählich anwachsend, so dass erst bei 50 % $CO_2$ beinahe vollständige Sistirung des Wachsthums erzielt wird. Ein geringes Wachsthum von 3—5 mm findet jedoch auch hier und noch bis zu 80 % statt.

Die $CO_2$ wirkt verschieden auf die Keimscheide und das erste Laubblatt. Bei einer normalen Pflanze ist während der ersten 24 Stunden das Wachsthum von Keimscheide und Laubblatt dasselbe; während des zweiten Tages überholt das letztere das erstere und bricht durch die Keimscheide (s. Tabelle).

Dasselbe findet statt, wenn sich die Pflanzen in 10—20 % $CO_2$ befinden, beide Theile zeigen jedoch eine geringe Abnahme des Wachsthums.

Das Wachsthum der Keimscheide wird erst bei 30 % $CO_2$ nach 24 Stunden sistirt; der in dieser Zeit erreichte Zuwachs nimmt mit steigendem $CO_2$-Gehalt ab (12,2 mm bei 30 %, 7,4 mm bei 60 %).

Wachsthumshemmung des Laubblatts tritt zuerst bei 60 % $CO_2$ innerhalb 24 Stunden ein. Der Zuwachs in dieser Zeit ist für 60—80 % $CO_2$ ungefähr der gleiche (3,5 mm).

Der Unterschied, der sich in dem Verhalten der beiden Theile bemerklich macht, ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass die Keimscheide im Grossen und Ganzen ihre Entwickelung bereits vor Uebertragung der Pflanze in $CO_2$ beendet hat und kein ganz junges embryonales Gewebe mehr enthält, während bei dem Laubblatt noch ausgedehnte embryonale Gewebe vorhanden sind, die leichter durch $CO_2$ geschädigt werden. Die Nachwirkung war bei Laubblatt und Keimscheide ebenfalls verschieden gross. Das Laubblatt vermochte nach 24—72stündiger Einwirkung von 10—40 % $CO_2$ innerhalb

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0377-4

Tabelle 9. —

Temperatur

| % $CO_2$ | Wachsthum der Hordeum-Keimlinge während | | | | | | | | | | | | Nach | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | 24 | | | 48 | | |
| | | | | | | | | | | | | | späteres | | | | | |
| | 24 | | 48 | | 72 | | 96 | | 120 | | 144 Std. | | 24 | | 48 | 72 | 24 | |
| | Ks. | Lbl. | Ks. | Lbl. | Ks. | Lbl. | Ks. | Lbl. | Ks. | Lbl. | Ks. | Lbl. | Ks. | Lbl. | | | Ks. | Lbl. |
| Control | 25.5 | 25.5 | 11.4 | 33.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | 11.4 | 33.0 | — | — | — | — |
| 1 | — | 40.7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | 48.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | — | 44.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | — | 43.1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | — | 41.8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | — | 35.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 24.5 | 24.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3.3 | 33.0 | — | — | — | — |
| 15 | 22.2 | 18.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3.0 | 33.0 | — | — | — | — |
| 20 | 16.5 | 16.5 | 20.3 | 33.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 33.0 | — | — | — | 25.0 |
| 30 | 12.2 | 14.0 | 12.5 | 20.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 25.7 | — | — | — | 25.0 |
| 40 | 10.5 | 10.0 | 11.6 | 11.2 | 11.2 | 15.8 | 11.0 | 21.0 | — | — | — | — | — | 24.8 | — | — | — | 26.4 |
| 50 | 10.4 | 3.6 | 7.5 | 7.5 | 9.5 | 5.3 | 10.0 | 6.5 | — | — | — | — | — | 20.2 | 27.6 | — | — | 15.7 |
| 60 | 7.4 | 3.3 | 7.2 | 6.0 | 7.0 | 4.0 | 7.5 | 4.9 | 7.0 | 4.3 | 7.0 | *5.0 | — | 8.0 | 24.7 | — | — | 6.5 |
| 70 | 4.3 | 3.3 | 7.2 | 3.0 | 7.0 | 3.0 | 7.0 | 4.6 | 6.5 | 3.0 | — | — | 1.5 | 7.1 | 12.4 | 25.0 | 1.8 | 7.0 |
| 80 | 4.0 | 1.0 | 2.7 | 2.7 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.1 | 4.0 | 15.6 | 20.0 | 25.0 | — |

Ks. = Keimscheide. Lbl. = Laubblatt.

24 Stunden nach Uebertragung in Luft ungefähr normal weiter zu wachsen, während die Keimscheide nach 24stündigem Aufenthalt in 20 % $CO_2$ kein weiteres Wachsthum in Luft zeigte. Von 40 % $CO_2$ an braucht das Laubblatt, entsprechend der Zunahme der $CO_2$ und der Expositionsdauer, immer längere Zeit zur Wiederaufnahme des normalen Wachsthums, bis bei 96stündiger Einwirkung von 60 % $CO_2$ oder bei 70 % für 72 Stunden das spätere Wachsthum gänzlich ausklingt. Bei 96stündigem Aufenthalt in 60 % und 72stündigem in 70 % $CO_2$ fand ich, dass die wachsende Zone durch das Gas nicht getödtet worden war. Denn als die Pflanzen wieder in Luft versetzt wurden, wuchs das Laubblatt nach 96—120 Stunden weiter. Dabei brach es nicht durch die Spitze der äusseren Scheide hindurch, sondern nahe der Basis, und ragte in Form einer Schlinge hervor. Dieses liegt vielleicht daran; dass die abgestorbene Keimscheide dem Laubblatt so fest anliegt, dass es sich nicht durch die Spitze schieben kann

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0378-9

Hordeum vulgare.

= 26.5° C.

| vorheriger Einwirkung von $CO_2$ während | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 48 | | 72 | | | | | | 96 | | | | | 120 Std. | | | | |
| Wachsthum in Luft nach | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 48 | 72 | 24 | | 48 | 72 | 96 | 120 | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 Std. |
| | | Ks | Lbl. | | | | | | | | | | | | | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | 25.5 | — | — | — | — | 22.0 | 31.0 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 23.3 | — | — | 9.0 | 10.2 | 19.0 | 25.0 | — | 8.9 | 15.3 | 20.0 | 28.0 | — | — | — | — | — | — |
| 18.5 | 23.3 | — | 3.4 | 4.0 | 7.2 | 15.5 | 25.0 | 2.2 | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | todt | — |
| 12.0 | 23.0 | 1.0 | 3.0 | 2.6 | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | todt | — | 0 | 0 | todt | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

* Wuchs nicht weiter, sondern starb in 48 Stunden ab.

und infolge dessen bei seiner Verlängerung unten zur Seite ausbiegen muss.

Der Tod tritt ein bei 120- und 144stündigem Verweilen in 60 % $CO_2$ in 96 resp. 48 Stunden; 96- und 120stündiger Aufenthalt in 70 % tödtete die Pflanzen in 96 resp. 72 Stunden. Bei 80 % genügte ein 48stündiges Verweilen, um die Pflanzen binnen 24 Stunden zum Absterben zu bringen.

---

Wenn wir die Resultate der vorhergehenden Experimente zum Schluss kurz zusammenfassen, so können wir Folgendes sagen: Die Sporen von Pilzen (Mucor, Aspergillus, Penicillium) keimen bei hohem Kohlensäuregehalt nicht, werden jedoch auch bei viermonatlicher Einwirkung selbst von reinem $CO_2$ nicht getödtet, sondern keimen aus, nachdem sie wieder in Luft gebracht werden. Der $CO_2$-Gehalt, welcher erforderlich ist, um die Keimung zu verhindern, ist verschieden

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0379-8

bei verschiedenen Sporen. Für Mucor ist die Grenze 60 %, für Penicillium und Aspergillus 90 %.

Die Wachsthumshemmung der Hyphen findet bei Mucor bei 30—40 %, bei Aspergillus und Penicillium bei 80 % $CO_2$ statt.

Die Produktion von Sporen wird bei Mucor durch 20 % $CO_2$, bei Penicillium durch 50 % verhindert, während bei Aspergillus 40 % zwar die Bildung der Sporen unterdrücken, aber noch die Entwickelung unreifer Sporangien gestatten. Letztere wurden noch in 70 % angelegt. In allen obigen Fällen, wo das Wachsthum der Hyphen durch $CO_2$ gehemmt ward, wurde Wiederaufnahme des Wachsthums nach Uebertragung in Luft beobachtet. Auch vermochten sich wieder Sporen zu bilden. Bei Mucor war die schädliche Nachwirkung grösser.

Die Beobachtung des Wachsthums der Hyphen von Mucor in der feuchten Kammer lehrt, dass eine vollständige Wachsthumshemmung bei 32 % Kohlensäure nach 20 Minuten eintritt. Wenn das Kohlensäuregemisch durch Luft ersetzt wird, beginnen die Hyphen nach 30 Minuten von neuem zu wachsen.

Ein höherer $CO_2$-Gehalt bringt das Wachsthum in 10 Minuten zum Stillstand. In mehr als 32 % $CO_2$ werden die Fadenspitzen so geschädigt, dass sie nicht weiter wachsen können. In diesem Falle werden dann Seitenzweige gebildet.

Bei den Wurzeln von Vicia sativa und Pisum sativum fand ich, dass eine Hemmung erst bei 5 % $CO_2$ bemerklich wird und dass bei 25—30 % das Wachsthum sistirt wird.

Eine schädliche Nachwirkung wurde bis zu 120stündiger Einwirkung von 20 % $CO_2$ nicht bemerkt. Bei 40 % wurde nach 24—48 Stunden ebenfalls noch keine bedeutende Schädigung wahrgenommen. Blieben die Pflanzen jedoch 72—96 Stunden in 20—40 %, so war eine schädliche Nachwirkung vorhanden.

Die Bildung der Seitenwurzeln ist vollständig in 20—25 % $CO_2$ unterdrückt. Der Keimspross von Pisum sativum kommt von 20 % $CO_2$ an nicht zur Entwickelung und wird bei 25 % in 96 Stunden getödtet. Die entsprechenden Werthe für Vicia sativa sind 35 und 80 % (40 h).

Die Hypokotyle von Sinapis und Trifolium wurden in ihrem Wachsthum erst deutlich bei 15 % $CO_2$ gehemmt, bei 25 % $CO_2$ hörte das Wachsthum gänzlich auf.

Die Nachwirkung war, wenn die Pflanzen eine kürzere Zeit (24 bis 48 Stunden) bei niedrigerem $CO_2$-Gehalt cultivirt waren, nicht so gross, dass nicht nach 24 Stunden wieder normales Wachsthum eingetreten wäre. Bei den höheren Procenten $CO_2$ wächst die Pflanze

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0380-9

nachher immer kümmerlicher oder sie stirbt ab. Ein gleich schädlicher Effect wird auch schliesslich herbeigeführt, wenn sich die Pflanze längere Zeit bei niedrigerem $CO_2$-Gehalt (15—20 %) befindet.

Bei Hordeum ist die Wachsthumshemmung bei der Keimscheide und dem ersten Laubblatt verschieden gross; sie tritt zuerst auf bei 15 % $CO_2$. Vollständige Sistirung tritt bei der Keimscheide bei 30 %, beim Laubblatt in 50—60 % ein.

Die Nachwirkung beginnt bei Hordeum erst bei länger dauernder Einwirkung (72—96 Stunden) von 50 und mehr Procenten $CO_2$, während 96stündiges Verweilen in 40 %, sowie 48stündiges Verweilen in 50 bis 80 % noch keine dauernde Schädigung verursacht. 96—144stündigen Aufenthalt vermochten die Pflanzen nicht zu ertragen, sondern starben bald nach ihrer Uebertragung in Luft. Die auffallende Widerstandsfähigkeit der Hordeum-Keimlinge ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass die embryonale Zone fest von Blättern umschlossen ist und so geschützt wird.

Die Zeit, innerhalb welcher die Pflanzen in $CO_2$ abstarben, nimmt mit dem $CO_2$-Gehalt ab. Bei Wurzeln und Sprossen fand während der ersten 24 Stunden bei allen höheren Procenten von $CO_2$ noch ein geringes Wachsthum statt. Die Wirkung des Gases ist also keine momentane, sondern es ist eine gewisse Zeit nöthig, bis die Kohlensäure ihre schädliche Wirkung auf das Protoplasma ausüben kann. Vergleichen wir die Wirkung der Kohlensäure auf die verschiedenen untersuchten Pflanzen und Pflanzentheile, so können wir folgende Unterschiede constatiren: Der Spross ist viel empfindlicher als die Wurzel. Die Sprosse können nur kurze Zeit der Wirkung der Kohlensäure widerstehen und sterben nachher über kurz oder lang ab. Die Wurzeln hingegen halten die Einwirkung des Gases viel länger aus und sind schon kurze Zeit nachher wieder wachsthumsfähig. Dieses verschiedene Verhalten erscheint uns ganz erklärlich, wenn wir berücksichtigen, dass die Wurzel in dem kohlensäurereicheren Boden Gelegenheit hat, sich an Kohlensäurewirkung anzupassen, während der Spross immer einer Atmosphäre von demselben $CO_2$-Gehalt ausgesetzt ist.

Ein noch grösserer Unterschied der Widerstandsfähigkeit gegen $CO_2$ macht sich zwischen höheren Pflanzen und Pilzen geltend. Die ersteren werden schon bei längerem Aufenthalt in 20—30 % Kohlensäure getödtet, während die Pilze überhaupt nicht gänzlich zum Absterben zu bringen waren. Gleicherweise sehen wir, dass die höheren Pflanzen ihr Wachsthum bereits bei 20—30 % einstellten, während



Universitätsbibliothek Regensburg urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0381-5

die Pilze erst bei 40 % (Mucor) bis 80 % (Penicillium und Aspergillus) aufhörten zu wachsen.

Wenn wir schliesslich noch Pilze und Bacterien vergleichen, so sehen wir, dass bei den letzteren es manche Arten gibt, die noch in reiner Kohlensäure entwickelungsfähig sind.[1])

Zum Schluss seien noch einige Bemerkungen über den optimalen $CO_2$-Gehalt in Bezug auf das Wachsthum hinzugefügt, wobei jedoch zu beachten ist, dass diese Angaben nichts darüber sagen, welcher $CO_2$-Gehalt optimal für das Durchlaufen des ganzen Entwickelungsganges, also für lange Zeiten ist. Tabellen 5, 6, 7, 8, 9 zeigten uns, dass der maximale Zusatz nicht bei dem normalen $CO_2$-Gehalt der Luft stattfindet, sondern bei 1—2 %. Wir haben hier also die interessante Thatsache, dass eine bestimmte kleine Quantität eines Stoffes, der in grossen Mengen giftig wirkt, einen förderlichen Einfluss auf die Entwickelung ausübt. Die Kohlensäure wirkt also ganz ähnlich wie gewisse Salze, die nach Raulins[2]) und Richards[3]) das Wachsthum in geringer Menge befördern, in grösseren Mengen jedoch giftig sind. Auch Aether wirkt nach Townsend[4]) ganz ähnlich.

Nach Analogie dieser Thatsachen können wir auch für $CO_2$ sagen, dass 1—2 % als Stimulans wirken.[5])

Zwischen dem optimalen und dem letalen $CO_2$-Gehalt ist ein ganz allmählicher Abfall des Wachsthums konstatierbar, wie das deutlich aus der Tabelle 10 zu sehen ist, wo ich von 1—80 % die 24stündige Wirkung der Kohlensäure registrirt habe.

## VII. Zusammenfassung der Resultate.

Die Resultate der vorliegenden Arbeit sind im Wesentlichen folgende:

1. Das Optimum des $CO_2$-Gehaltes für das Wachsthum der untersuchten höheren Pflanzen liegt ungefähr bei 1—2 %.

2. Kohlensäure wirkt in geringer Dosis als Stimulans auf das Wachsthum, in grösserer Dosis als Gift.

3. Das Wachsthum der Wurzel wird zuerst bei 5 % $CO_2$ gehemmt und bei 25—30 % sistirt. Die entsprechenden Werthe für Stengel

---

1) S. pag. 3 (Fraenkel).
2) Raulins, Annales des sciences naturelles 1869, Bd. 2 pag. 252.
3) Richards, Jahrb. f. wiss. Bot. 1897, Bd. 30, pag. 665.
4) Townsend, Annals of Botany 1897, Bd. 2 pag. 522.
5) Pfeffer, Jahrb. f. wiss. Bot. 1895, Bd. 28 pag. 238.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0382-0

sind 15 % $CO_2$ resp. 20—25 %. Die Keimpflanzen von Hordeum sind widerstandsfähiger gegen $CO_2$.

4. Eine schädliche Nachwirkung an Wurzeln findet dann nicht statt, wenn sie nur 24—48 Stunden in 25—40 % $CO_2$ bleiben.

5. Auf den Stengel übt bereits 24—48stündige Einwirkung von 20 % $CO_2$ eine schädliche Nachwirkung aus.

6. Die zum Abtödten der Pflanze erforderliche Zeit nimmt mit wachsendem $CO_2$-Gehalt ab.

7. Die Wirkung der Kohlensäure äussert sich nicht momentan, sondern erst nach einer gewissen Zeit.

8. Pilzsporen keimen in reiner Kohlensäure nicht, behalten aber ihre Keimfähigkeit.

9. Der Gehalt $CO_2$, welcher eben die Keimung der Sporen verhindern kann, ist 60 % (Mucor), 100 % (Aspergillus, Penicillium), das Wachsthum wird gehemmt bei 30—40 % (Mucor) und 80 % (Aspergillus, Penicillium). Reife Sporen können noch bis zu 10 % (Mucor), 50 % (Penicillium) und 40 % (Aspergillus) gebildet werden.

10. Alle Sporen und Mycelfäden, deren Keimung, resp. Wachsthum durch $CO_2$ unterdrückt war, waren nach Uebertragung in Luft fähig zu keimen, resp. zu wachsen. Auch Sporen wurden nachher gebildet.

---

Vorstehende Untersuchung wurde in dem Laboratorium des Herrn Prof. Dr. W. Pfeffer ausgeführt. Ich ergreife am Schlusse mit Vergnügen die Gelegenheit, ihm für seine unermüdliche, gütige Unterstützung meinen wärmsten Dank auszusprechen. Ausserdem fühle ich mich Herrn Dr. Miehe zu grossem Dank verpflichtet.

Leipzig, im Mai 1902.

---



Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05174-0383-6

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1902

Band/Volume: 91

Autor(en)/Author(s): Chapin Paul

Artikel/Article: Einfluss der Kohlensäure auf das Wachsthum. 348-379