

Studien über den Einfluß der Sauerstoffspannung auf pflanzliche Mikroorganismen.

Von

Theodor Porodko.

Die vorliegende Arbeit ist in zwei Teile eingeteilt. In dem ersten Teil wird der Einfluß der gesteigerten, in dem zweiten der verminderten Sauerstoffspannung untersucht.

In den beiden Teilen war ich in erster Linie bestrebt, die maximalen und minimalen Sauerstoffspannungen für das Wachstum verschiedener pflanzlicher Mikroorganismen festzustellen. Die fraglichen Spannungen wurden nur annähernd bestimmt, und zwar in der Weise, daß einerseits, so weit als dies möglich war, die oberen resp. unteren Sauerstoffgrenzen, bei denen das Wachstum der betreffenden Mikroorganismen noch stattfand, andererseits aber die nahe bei jenen liegenden, schon supramaximalen resp. subminimalen Sauerstoffspannungen festgestellt wurden.

Außer dieser Frage bin ich auf zwei andere eingegangen, welche mit jener eng verknüpft sind, und zwar wurde die schädliche Wirkung der gesteigerten und verminderten Sauerstoffspannung auf pflanzliche Mikroorganismen näher präzisiert, ferner sind annähernd die Grenzen nachgewiesen, bei denen die obige schädliche Wirkung erst beginnt.

I. Teil.

Die maximalen Sauerstoffspannungen.

Historisches.

Über den Einfluß der höheren Sauerstoffspannungen auf pflanzliche Mikroorganismen¹⁾ liegen nur wenige eingehendere Untersuchungen vor.

1) Betreffs der höheren Pflanzen ist diese Frage schon mehrfach Gegenstand eingehender Studien gewesen. Die einschlägige Literatur ist bei Jentys (Untersuchungen

Bekanntlich hat Paul Bert¹⁾ zuerst sehr ausgedehnte Versuche mit komprimiertem Sauerstoffgas angestellt und die Beeinflussung verschiedener Lebensfunktionen, sowohl der Tiere als der Pflanzen, durch diesen Faktor eingehender geprüft.

Bei der allmählichen Erweiterung der Untersuchungen hat er seine Versuche auch auf einige Gärungsprozesse ausgedehnt. Namentlich prüfte er das Faulwerden des Fleisches und anderer leicht zersetzbarer Stoffe, wie Wein, feuchtes Brot, gekochte Mandeln, Himbeeren, Kirschen usw., ferner die Essigsäuregärung, die Milchsäuregärung der Milch und die Ammoniakgärung des Harns. Die Bakterien der zwei letztgenannten Gärungen erwiesen sich als besonders resistent: in einer Luft, die auf 24 Atm. komprimiert war, konnte P. Bert nur eine schwache Verzögerung ihrer Gärfähigkeit konstatieren. Die fäulniserregende Tätigkeit der Bakterien ließ sich dagegen bei 23 Atmosphären Luftdruck schon bedeutend abschwächen und bei 44 Atmosphären völlig sistieren. Gegen den Einfluß des komprimierten Sauerstoffs ist besonders *Mycoderma aceti* empfindlich: bei 5 Atmosphären Sauerstoffdruck wächst es überhaupt nicht und kann es selbst bei 1 Atmosphäre Sauerstoffdruck nur zu einer sehr schwachen Entwicklung bringen.

Auf Grund sowohl dieser, als anderer diesbezüglicher Versuche stellte P. Bert folgende zwei Sätze fest:

1. Die komprimierte Luft oder überhaupt jedes komprimierte sauerstoffhaltige Gasgemisch beeinflußt die Entwicklung des Organismus nur in dem Maße, in welchem der Sauerstoffpartiärdruck durch Kompression gesteigert wird. Dabei ist der Druck der beteiligten indifferenten Gase ohne Belang.

2. Bei erhöhter Sauerstoffspannung nehmen die physiologischen Oxydationsprozesse bedeutend ab.

Großmann und Mayerhausen²⁾ haben die Wirkung des

aus dem Botanischen Institut zu Tübingen, Bd. II, p. 419—424); Pfeffer (Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Bd. I, p. 538—542, 547—551; Bd. II, p. 131—133) und Pütter (Zeitschrift für allgemeine Physiologie, 1904, Bd. III, p. 363—405) angegeben. Bei Pfeffer ist außerdem die kritische Besprechung dieser Frage vom Standpunkte der allgemeinen physiologischen Probleme aus zu finden. Die betreffenden Untersuchungen auf tierischem Gebiete sind bei Lehmann (Vierteljahrsschrift der Naturf. Gesellsch. in Zürich, 1883, Jahrg. 28, p. 153) und Pütter (a. a. O.) zusammengestellt.

1) Compt. rend. 1873, t. 77, p. 531—535, ebenda 1875, t. 80, p. 1579—1582.

2) Pflüg. Arch. 1877, Bd. 15, p. 245—268.

Sauerstoffs auf die Bewegungsfähigkeit der Bakterien untersucht. Die von ihnen benutzten Bakterien stammten teils aus animalischen, teils aus vegetabilischen Infusen. Ein Tropfen aus den Infusen wurde in die Gaskammer übertragen und hier während der Einwirkung des Sauerstoffs mikroskopisch untersucht.

Der reine Sauerstoff wirkt stets bewegungsbeschleunigend, jedoch bei weitem mehr auf jüngere, als auf ältere Objekte. Die gleichen Versuche wurden dann mit komprimiertem Sauerstoff wiederholt. Vorgenannte Forscher wollten das Verhalten der Bakterien während der Einwirkung des komprimierten Sauerstoffs deshalb untersuchen, um die nach ihrer Ansicht von P. Bert in dieser Beziehung offene gelassene Lücke auszufüllen. Als Resultat ihrer Untersuchungen ergab sich folgendes: Bei einem Druck von 5—7 Atmosphären Sauerstoff bewahrten die Bakterien ihre Lebensfähigkeit über 6, jedoch weniger als 20 Stunden lang. Bis zu 6 Stunden war an den Bewegungen durchaus keine Verlangsamung wahrzunehmen, nach 20 Stunden dagegen herrschte in der Gaskammer absolute Ruhe, welche selbst nach dem Abschluß des Versuches nicht aufgehoben wurde.

Am Schluß ihres Berichtes bemerken die Verfasser, daß es wegen der eventuellen Unvollkommenheit ihres Apparates dahingestellt bleiben müsse, ob wirklich die gesteigerte Sauerstoffspannung oder aber eine anderweitige Nebenursache den Tod der Bakterien zur Folge gehabt habe.

Van Overbeek de Mejer¹⁾ hingegen fand, daß die Bakterien „selbst nach zweimal 24 Stunden bei 12 Atmosphären Sauerstoff teilweise noch Bewegungen zeigten“.

Wosnessenski²⁾ untersuchte ziemlich eingehend die Wirkung des komprimierten Sauerstoffs auf *Bac. anthracis*. Zunächst stellte er seine Versuche bei 35° C. an. Bei 13 Atmosphären Luftdruck konnte er keine Abschwächung der Virulenz nachweisen, es machte sich im Gegenteil bei diesem Drucke eine kleine, jedoch unverkennbare Verstärkung derselben geltend. Bei 15—25 Atmosphären Luftdruck trat eine Änderung der Ergebnisse ein. Unter diesem Druck fand überhaupt kein Wachstum mehr statt, und die Sporen keimten, falls die Bouillon mit ihnen geimpft worden war, nicht

1) „Over den invloed van zuurstoffgas onder hoogere drukking op lagere organismen en levende grondvormen.“ Onderzoekingen gedaan in het physiologische Laboratorium der Utrechtsche hoogeschool. Derde reeks (VI. Utrecht, 1881). — Zitiert nach Lehmann (Pflüg. Arch. 1882, Bd. 27, p. 434).

2) Compt. rend. 1884, t. 98, p. 314—317.

aus; jedoch starben sie auch nicht ab, sondern entwickelten sich, als der Versuch abgeschlossen war, nach 2—6tägigem Stehenlassen bei 35° C. weiter. Bei den im zweiten Teile seiner Arbeit beschriebenen Versuchen hat Wosnessenski die Temperatur auf 42—45° C. erhöht. Unter diesen ungünstigeren Bedingungen konnte er begreiflicherweise die erwünschten Resultate selbst bei verhältnismäßig niedriger Sauerstoffspannung erzielen. Es genügte eine 12tägige Einwirkung bei 4—6 Atmosphären Luftdruck, um die Virulenz bedeutend abzuschwächen.

Winogradsky¹⁾ fand, daß die Beggiatoen nie auf der Oberfläche der Kulturflüssigkeit wachsen, sondern sich stets einige Millimeter unter der Oberfläche ansammeln. Bringt man sie in unmittelbare Berührung mit atmosphärischer Luft, zB. durch das Kultivieren im hängenden oder offenen Tropfen, so büßen sie zuerst ihre Beweglichkeit ein und gehen dann nach 2—4 Tagen zugrunde. Aus diesen Erfahrungen ist es einleuchtend, daß schon die Sauerstoffspannung in der Luft den Beggiatoen schädlich ist. In ähnlicher Weise verhalten sich auch die roten Schwefelbakterien. Selbst im stark schwefelwasserstoffhaltigen, also ziemlich sauerstoffarmen Tropfen sammeln sich diese Arten nur in einer Entfernung von mehr als 1 mm vom Deckglasrande an. Sorgt man aber für hinreichenden Luftzutritt, so treten bedeutende Störungen im Zustande der Kulturen auf.

Außer diesen ziemlich sauerstoffempfindlichen Formen gibt es auch solche, die, der allgemeinen Bemerkung Winogradskys zufolge, „in bezug auf Sauerstoffbedarf verschiedene Gradationen darstellen“²⁾.

Jentys³⁾ untersuchte den Einfluß des komprimierten Sauerstoffs auch auf das Wachstum des *Phycomyces nitens*. Bei 60—80% Sauerstoff wächst der Pilz nicht nur unabgeschwächt fort, sondern weist sogar eine kleine Beschleunigung auf. Bei 4,2 Atmosphären Sauerstoffdruck tritt dagegen eine bedeutende

1) Botan. Zeitung 1887, Bd. 45, p. 513—517. „Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Bakterien.“ Heft I, 1888, p. 50—52.

2) Aus den Angaben Engelmanns (Botan. Ztg. 1888, Bd. 46, p. 694—698) und Beijerincks (Zentralblatt f. Bakt., II. Abt., 1893, Bd. 14, p. 827—844), daß einige Bakterien nur sehr niedrige Sauerstoffspannungen vertragen können, läßt sich leider nicht ersehen, welche reale Höhe diese Sauerstoffspannungen hatten.

3) Tübinger Untersuchungen, Bd. II, p. 446—450.

Wachstumsverzögerung ein, und zwar im Verhältnis 100 : 31,5. Außer dem Partiärdruck des Sauerstoffs übt auch der Druck der indifferenten Gase (zB. Wasserstoff oder Stickstoff) eine schädliche Wirkung aus. Da aber diese Umstände bei der Sauerstoffkompression¹⁾ ebenfalls in Betracht kommen, so bedürfen die erhaltenen Resultate in diesbezüglichem Sinne einer Korrektur. Schließlich stellte Jentys fest, daß das Wachstum von *Phycomyces* durch die Druckänderungen, insbesondere durch die Evakuierung, stets beeinträchtigt wird.

Fränkel²⁾ stellte ziemlich ausgedehnte Versuche über den Einfluß des reinen Sauerstoffs auf das Leben der Bakterien an, von welchen ca. 40 Arten zur Untersuchung gelangten. Die Hälfte der Anzahl wurde von den pathogenen Spezies vertreten, die andere aber bestand aus folgenden saprophytischen Arten: 1. *Micr. prodigiosus*, 2. *B. indicus*, 3. und 4. gelbe und orange Sarcine, 5. Heubazillus, 6. Wurzelbazillus, 7. *Bac. megatherium*, 8—10. roter, violetter und fluoreszierender Bazillus aus Wasser, 11. phosphoreszierender Bazillus, 12. *Proteus vulgaris*, 13. *Bact. Zopfii*, 14. Bazillus der blauen Milch, 15. *Bac. acidi lactici*, 16. *Bac. butyricus*, 17.—19. rosa, schwarze und Weißbier-Hefe, 20. *Bac. pyocyaneus*.

Als Resultat der Fränkelschen Versuche, gleichviel ob sie mit pathogenen oder saprophytischen Arten ausgeführt wurden, ergab sich folgendes:

Mit Ausnahme der streng anaëroben, im Sauerstoff zugrunde gehenden Mikroorganismen gedeihen alle übrigen Arten, inklusive der fakultativ anaëroben, im Sauerstoff „auf das allervortrefflichste“. Dabei läßt sich teilweise sogar eine deutliche Beschleunigung der Entwicklung konstatieren. So geht zB. die Verflüssigung der Gelatine besonders schnell von statten; dagegen tritt die Farbstoffbildung bei den betreffenden Arten anscheinend etwas zurück.

Unter Zuhilfenahme einer genauen quantitativen Methode stellte zuerst Chudjakow³⁾ fest, bei welchen Sauerstoffspannungen

1) Tatsächlich arbeitet man in der Regel nicht mit absolut reinem, also 100proz. Sauerstoff, sondern nur mit mehr oder mit weniger sauerstoffreichen Gasgemischen.

2) Zeitschrift für Hygiene 1889, Bd. V, p. 332—362.

3) „Zur Lehre von der Anaërobiose“, Teil I, Moskau, 1896 (russisch), p. 53. Referat: Zentralbl. f. Bakt. 1898, Bd. 4, p. 392. Freilich war es schon vor Chudjakow bekannt (Liborius [Zeitschr. f. Hygiene, 1886, Bd. 1, p. 115—177], Lüderitz [Zeitschr. f. Hygiene, 1889, Bd. 5, p. 141—159], Beijerinck [„Über die Butylalkoholgärung und das Butylferment.“ Verhandlungen der Akademie van Wetenschappen te Amsterdam.

die Obligatanaeroben sich noch zu entwickeln vermögen. Er untersuchte in dieser Beziehung fünf Arten. *Bactridium butyricum* konnte noch bei 0,13%, nicht aber bei 0,26% Sauerstoff gedeihen. Übrigens war selbst bei 0,2—0,5% Sauerstoff diese Form in ihrer Entwicklung nur behindert, nicht aber zugrunde gegangen. Andererseits läßt sich diese Art durch fortgesetzte Kultivierung bei allmählicher Steigerung des Luftdrucks so weit akkommodieren, daß sie schließlich bei 1,3% Sauerstoff gut gedeiht. *Clostridium butyricum* wächst noch bei 0,27% Sauerstoff, und es kann 10 Tage lang einer Spannung von 0,69% Sauerstoff ausgesetzt werden, ohne daß es seine Lebensfähigkeit verliert. *Bac. oedematis maligni* und *Bac. tetani* wächst noch bei 0,52% Sauerstoff, der Rauschbrandbazillus bei 1,04% Sauerstoff.

Ähnliche Untersuchungen hat Chudjakow auch mit Obligat-aeroben (*Bac. subtilis* und *Aspergillus niger*) und Fakultativanaeroben (Bierhefe[?] und *Clostridium viscosum*) ausgeführt. Gleichzeitig suchte er die Bedeutung der Zusammensetzung der Nährlösungen auf das Wachstum dieser Mikroorganismen im komprimierten Sauerstoff klarzulegen. Nach diesen Versuchen sind die oberen Sauerstoffgrenzen auf verschiedenen Nährlösungen verschieden ausgefallen. Leider sind diese Grenzen für einige Mikroorganismen auf dieser, für einige auf jener Nährlösung ermittelt worden. Ich konnte daher nur jene Beobachtungen in Betracht ziehen, bei denen für alle Mikroorganismen die gleiche Nährlösung angewandt wurde. Diese eine Lösung, welche somit die Vergleichung einzelner Formen untereinander ermöglicht, ist Glycerin-Pepton. In dieser Lösung wuchs *Clostridium viscosum* bei 1 Atmosphäre Sauerstoffdruck, nicht aber bei 2 Atm.; *Bac. subtilis* bei 3 Atm., nicht aber bei 4 Atm.; *Aspergillus niger* bei 1 Atm., nicht aber bei 2,5 Atm. *Saccharomyces cerevisiae* hat in verschiedenen Nährlösungen (unter ihnen Glycerin-Pepton) bei 2,2—3 Atm. Sauerstoff zu wachsen versagt.

Tweede Sectie, Deel I, N. 10, pp. 51), Kitt [Zentralbl. f. Bakt., I. Abt., 1895, Bd. 17, p. 168—171], Braatz [Zentralbl. f. Bakt., I. Abt., 1895, Bd. 17, p. 737—742], Kitasato [Zeitschr. f. Hygiene, V, p. 105; VII, p. 225; VIII, p. 55], Kitasato und Weyl [Zeitschr. f. Hygiene, VIII, p. 41; IX, p. 17]) und wurde ebenso nach Chudjakow (Ferràn [Zentralbl. f. Bakt., I. Abt., 1898, Bd. 24, p. 28—29]) mitgeteilt, daß manche Obligatanaeroben geringe, individuell verschiedene Sauerstoffspannungen vertragen können. Aus diesen Studien ist jedoch nicht zu ersehen, wie hoch diese Sauerstoffspannungen wirklich sind, weil die angewendeten Methoden nur für Orientierungszwecke, nicht aber für genaue Bestimmungen geeignet sind.

Bedenkt man, daß Pepton-Glyzerin keine hervorragende Nährlösung darstellt, so ist begreiflich, daß Chudjakow bei Anwendung besserer Nährlösungen höhere Werte bekommen konnte. So wächst zB. *Aspergillus niger* auf Dextrose-Pepton noch bei 2,5 Atm. Sauerstoff. Übrigens hat Chudjakow gezeigt, daß der relative Nährwert verschiedener Substanzen sich mit dem Sauerstoffdruck wesentlich ändern kann. Für *Bac. subtilis* ist in Luft Dextrose ein viel besserer Nährstoff als Glyzerin; im komprimierten Sauerstoff scheint das Umgekehrte der Fall zu sein. Außerdem erwies sich bei 2,5 Atm. Sauerstoffdruck für *Clostridium viscosum* und *Bacillus subtilis* Pepton allein (selbstverständlich enthalten alle Nährlösungen Salze) als besserer Nährstoff wie Dextrose-Pepton.

Bei den der Wirkung des komprimierten Sauerstoffs ausgesetzten Kulturen, welche kein Wachstum aufzuweisen hatten, beobachtete Chudjakow während zwei Tagen unter normalen Bedingungen folgendes: Es ergab sich, daß nur *Clostridium viscosum* bei 14tägiger Einwirkung von 4 Atm. Sauerstoff abgestorben war. Die anderen Formen wurden bei diesem Drucke nur in ihrer Entwicklung gehemmt, ebenso wie *Clostridium viscosum* bei viertägiger Einwirkung von 3 Atm. Sauerstoff.

An seine Versuche knüpft Chudjakow auch einige allgemeinere Betrachtungen an.

Zunächst spricht er die Vermutung aus, daß die fakultativ-anaëroben Arten, insofern sie auch auf anaërobiotisches Leben angewiesen sind, sich empfindlicher gegen den komprimierten Sauerstoff verhalten müssen, als die Obligataëroben¹⁾. Diese Vermutung glaubt Chudjakow durch seine Versuche bestätigt zu haben²⁾.

Ferner kommt er auf Grund seiner Erfahrungen zu dem Schlusse, daß die Schimmelpilze und Bakterien sich bei der Kultur auf dextrosehaltigen und anderen kohlehydrathaltigen Nährlösungen als besonders empfindlich gegen den komprimierten Sauerstoff erweisen. Diese Tatsache läßt sich, nach Chudjakows Meinung, dadurch erklären, daß sich die Dextrose, nachdem sie vom Organismus assimiliert worden ist, möglicherweise teils zu Zwischen-, teils zu Nebenprodukten umwandeln kann, die ihrerseits unter der Einwirkung des komprimierten Sauerstoffs giftige oder jedenfalls wachstumshemmende Verbindungen bilden.

1) a. a. O., p. 85.

2) a. a. O., p. 92.

Arloing¹⁾ fand, daß 2—2 $\frac{1}{2}$ Atmosphären Sauerstoffdruck schon eine deutliche Schädigung des Tuberkelbazillus verursachen können.

P. Bert, Großmann und Mayerhausen und van Overbeek de Mejer stellten ihre Versuche nicht mit reinen Kulturen, sondern mit unbestimmten und inkonstanten Bakterienmischungen an. Die dabei ermittelten Resultate sind daher allgemeine und können keinen Anschluß darüber geben, ob, wie es in bezug auf andere äußere Faktoren der Fall ist, auch im Verhalten verschiedener Bakterien gegen komprimierten Sauerstoff sich spezifische Differenzen geltend machen.

In der Mehrzahl der oben dargelegten Schriften vermißt man eine Angabe, die meines Erachtens von der größten Wichtigkeit ist: es wurden die Kulturen nach dem Abschluß des Versuches in normalen Bedingungen nicht oder nicht genügend lange stehen gelassen und beobachtet. Derartige Angaben könnten aber wichtige Anhaltspunkte für das nähere Verständnis der wachstumshemmenden Wirkung des komprimierten Sauerstoffs liefern. In erster Linie würde die Frage zu erledigen sein, ob der komprimierte Sauerstoff je nach der Einwirkungsdauer und der Spannungshöhe abtötend wirkt. Träfe dies nicht zu und würden die dem komprimierten Sauerstoff ausgesetzten Kulturen in normalen Bedingungen sich weiter entwickeln, so wäre des weiteren zu entscheiden, ob in dem Entwicklungsgange der betreffenden Bakterien, speziell in der Geschwindigkeit ihres Wachsens und in dem Auftreten partialer Funktionen (zB. Gelatineverflüssigung, Farbstoffbildung usw.), irgendwelche vorübergehende oder stabile Modifikationen resp. Erlöschungen einträten. Dadurch würde erst erwiesen, ob und wie weit die höheren Sauerstoffspannungen den lebendigen Organismus schädigen.

An die Frage der aktiv schädigenden Wirkung des komprimierten Sauerstoffs, falls dieselbe sich feststellen ließe, knüpfte sich die interessante und überaus wichtige Frage hinsichtlich der Nachwirkung. In dieser Beziehung würde die von Großmann und Mayerhausen angewendete Methode besondere Bequemlichkeiten für experimentelle Forschungen bieten. Indessen ist diese Frage von jenen Forschern so gut wie ganz außer acht gelassen worden.

1) Compt. rend. soc. biol. 1900, No. 12, p. 271. Zitiert nach Pütter (a. a. O.).

Chudjakow behauptet a priori, daß die fakultativanaeroben Bakterien sich darum empfindlicher gegen komprimierten Sauerstoff als Aëroben erweisen müssen, weil sie auf Anaëbiose, also auf niedrigere Sauerstoffspannungen als Aëroben, angewiesen sind. Auf diese Weise schließt Chudjakow aus der Empfindlichkeit der Bakterien gegen verminderte Sauerstoffspannungen auf deren Empfindlichkeit gegen gesteigerte Sauerstoffspannung. Hieraus ist ersichtlich, daß er die beiden Empfindlichkeiten in ihrer Qualität als identisch betrachtet. Ob eine solche Annahme überhaupt berechtigt ist, läßt sich von vornherein nicht sagen. Daß aber diese Annahme durch die Versuche Chudjakows eine ausreichende Bestätigung nicht gefunden hat, darf man behaupten. Zunächst sind die untersuchten Arten, sowohl der Obligataëroben als der Fakultativanaeroben, zu wenig zahlreich, um irgend welches zuverlässiges Generalisieren zu gestatten. Außerdem sind die mit diesen Arten ermittelten Resultate nicht immer beweiskräftig genug. Freilich ist aus den von Chudjakow angegebenen Versuchen ersichtlich, daß *Bac. subtilis* gegen komprimierten Sauerstoff resistenter als *Clostridium viscosum* ist. Aber diese Angabe ist dadurch beträchtlich abgeschwächt, daß der obligataërobe *Aspergillus niger* sich auf dieselbe Weise wie das fakultativanaerobe *Clostridium viscosum* verhält: bei 2,5 Atm. O₂ wachsen die beiden Formen, bei 3 Atm. O₂ aber nicht. Übrigens erwies sich *Clostridium viscosum* nur darin schwächer, daß sie bei 14tägiger Einwirkung von 4 Atm. Sauerstoff abgetötet wurde, was bei dem *Aspergillus* nicht der Fall war.

Wie erwähnt, war Chudjakow bestrebt, die Bedeutung der Zusammensetzung der Nährlösungen für das Wachstum der Bakterien im komprimierten Sauerstoff kennen zu lernen. Bei Besprechung seiner diesbezüglichen Versuche muß ich zunächst einige widersprechende Angaben hervorheben. Im Versuch No. 2, bei 1 Atm. O₂ während 3 Tagen, ist *Bac. subtilis* in Glycerin-Pepton schwächer als in Dextrose-Pepton gewachsen, *Aspergillus niger* aber gerade umgekehrt. Im Versuche No. 6, bei 1 Atm. O₂ 6 Tage lang, waren keine Unterschiede im Verhalten des *Bac. subtilis* gegenüber den beiden Nährlösungen nachzuweisen, *Aspergillus niger* aber ist besser gewachsen in Dextrose- als in Glycerin-Pepton. Da diese Versuche nicht wiederholt wurden, so muß es dahingestellt bleiben, ob wirklich im Verlauf der folgenden drei Tage die erwähnten Differenzen, eventuell Widersprüche, sich geltend machen, oder ob hier lediglich ein Versuchsfehler vorliegt.

Bei der ziemlich ausführlichen Beschreibung der Versuche Chudjakows vermißt man leider jegliche Erwähnung der Kontrollkulturen. Die zum Versuch angesetzten Kulturen vergleicht Chudjakow stets nur miteinander und nie mit denen der Kontrolle. Wenn aber die Angabe der Kontrollergebnisse in physiologischen Untersuchungen überhaupt notwendig ist, so gilt das besonders für Chudjakows Versuche, die par excellence vergleichend sind.

Die von Chudjakow angewendeten Nährlösungen waren nicht nur nach ihrer Zusammensetzung, sondern auch nach ihrem Nährwert äußerst verschieden. Impft man solche Lösungen und läßt sie nachher unter normalen Bedingungen stehen, so machen sich sowohl in der Geschwindigkeit des Wachsens, als in der Ernte erhebliche Unterschiede geltend. Insofern der Versuch unter normalen Bedingungen angestellt ist, darf man die Wachstumsunterschiede ohne weiteres auf den Nährwert oder auf ungleiche Assimilationsgeschwindigkeit einzelner Nährlösungen zurückführen.

Ungleich verwickelter aber fallen diese Verhältnisse unter anormalen Bedingungen, zB. in komprimiertem Sauerstoff, aus. Abschwächung resp. Ausbleiben des Wachsens dürfen hier nur dann als solche angegeben werden, wenn die betreffenden Kontrollkulturen zu Ende des Versuches genügend gewachsen sind. Bei der Anwendung der schlechteren Nährlösungen aber kann das nur dann zutreffen, wenn die Versuchsdauer genügend lang ist. Dennoch kommen in diesem Falle neue Schwierigkeiten in Betracht und zwar dann, wenn der Versuch mit verschiedenen, sowohl guten, als schlechteren Nährlösungen angestellt ist, sodaß bei genügend lange fortgesetzter Versuchsdauer die in gute Nährlösungen geimpften Mikroorganismen selbstredend kräftiger gewachsen sein werden, als die in weniger guten Nährlösungen befindlichen. Infolgedessen dürfen die Versuche nicht mit mehreren in ihrem Nährwerte variierenden Lösungen angestellt werden, sondern nur mit einer einzigen. Dabei muß man für jeden konkreten Fall empirisch entscheiden, wie lange der Versuch dauern muß, damit die beimpften Bakterien ihre maximale Entwicklung bei gegebener Sauerstoffspannung erreichen können. Dann wird man zwei konstante Größen haben: die maximale Entwicklung in der Kontrolle und die im Versuch. Vergleicht man die letztere mit der ersteren, so erhält man das Verhältnis, in welchem der komprimierte Sauerstoff bei gegebener Spannung und für die gegebene Bakterienart wach-

tumshemmend wirkt. Diese Verhältnisse müssen dann für verschiedene Sauerstoffspannungen, verschiedene Nährlösungen und verschiedene Bakterienarten einzeln ermittelt werden; nur dann darf man die gefundenen Verhältnisse einem Vergleich unterziehen und eventuell Schlüsse daraus folgern. Meines Erachtens ist das die einzige zuverlässige Methode, um die Bedeutung der Zusammensetzung der Nährlösungen für das Wachstum der Mikroorganismen im komprimierten Sauerstoff kennen zu lernen. Selbstverständlich ist diese Methode nur auf dem gewichtsanalytischen Wege, also unter Ermittlung des trocknen Gewichtes der Ernte, ausführbar.

Alles hier gesagte bezieht sich nur auf die negativen Resultate der Chudjakowschen Versuche.

Die auffallenden Resultate, daß im komprimierten Sauerstoff der Nährwert einzelner Lösungen sich umkehren läßt, bedürfen meines Erachtens noch der Nachprüfung. Einerseits sind sie, wie oben gezeigt, zum Teil widersprechend, andererseits sind sie sicher genug nur für *Bac. subtilis* festgestellt und gelten keineswegs für *Aspergillus niger*. Dessenungeachtet zieht Chudjakow aus diesen Versuchen einen allgemeingültigen Schluß, daß sowohl Bakterien als Schimmelpilze in den dextrose- oder anderen kohlehydrathaltigen Nährlösungen besonders empfindlich gegen die giftige Wirkung der hohen Sauerstoffspannung sind. Dieser Schluß aber bringt Chudjakow unvermeidlich zu seiner oben dargelegten, generellen Erklärung des schädlichen Einflusses der hohen Sauerstoffspannung auf pflanzliche Organismen, einer Erklärung, die jedenfalls als zu voreilig angesehen werden muß.

Methodisches.

Für die Züchtung der Mikroorganismen wurden bei sämtlichen in dieser Arbeit niedergelegten Versuchen folgende Nährsubstrate angewendet:

1. Für Fäulnisbakterien (Rosa Hefe inklusive):

Pepton (Witte)	1	‰,
Rohrzucker	4	„
Fleischextrakt (Liebig)	0,5	„
Gelatine	12	„

Die Lösung war mit Natriumbikarbonat schwach alkalisch gemacht.

2. Für Schwefelbakterien:

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	. . . . .	0,5 ‰
NH_4NO_3	. . . . .	0,5 ‰
MgCl_2	. . . . .	0,1 ‰
KH_2PO_4	. . . . .	0,1 ‰
NaCl}	. . . . .	3,0 ‰
Agar	. . . . .	1,5 ‰

3. Für Schimmelpilze:

Pepton	. . . . .	1 ‰
Rohrzucker	. . . . .	4 ‰
Fleischextrakt (Liebig)	. . . . .	0,5 ‰

Mit dieser Lösung wurden Brotstücke durchtränkt.

Für sämtliche Nährsubstrate wurden kleine Reagensgläser (10 × 1,25 cm oder 12 × 1 cm oder 7 × 1,5 cm) benutzt. Dabei wurden die mit Gelatine und Agar beschickten Röhrrchen in schiefe Lage gebracht, um der Oberfläche des Nährbodens eine schräge und somit für Strichkulturen geeignete Gestalt zu geben.

Bei der Impfung habe ich in die zu infizierenden Röhrrchen stets nur eine minimale und auf dem Striche mit bloßem Auge fast unsichtbare Menge der Bakterienauflagerung eingeführt. Die zur Abimpfung gebrauchten Kulturen waren nur wenige (4—6) Tage alt und rein gezüchtet.

Was die benutzten Bakterien anbetrifft, so gehört die Mehrzahl derselben wohlbekanntem Arten an. Nur um die Zahl der Fakultativanaeroben zu vermehren, mußte ich noch sieben nicht näher bestimmte Arten in den Bereich der Versuche ziehen. Diese sieben Arten habe ich von Herrn Eckardt (München) erhalten, der sie meistens aus Erde isoliert und mit den weiter angegebenen Namen bezeichnet hatte. Der Grund für diese Benennungen ist mir leider unbekannt geblieben. Wenn ich dieselben im folgenden reserviere, so tue ich es deshalb, weil meine in den Tabellen angegebenen Beschreibungen bei weitem nicht ausreichend sind und noch bedeutender Vervollkommnungen bedürfen, welche vielleicht in der künftig erscheinenden Arbeit von Herrn Eckardt zu finden sein dürften.

Die für die Versuche zur Verwendung gelangenden Glasgefäße, Nährsubstrate usw. wurden in üblicher Weise sterilisiert.

Von jeder Art der Mikroorganismen habe ich stets in vier Röhrrchen abgeimpft, von denen zwei für den Versuch, zwei aber für die Kontrolle dienten. Die für den Versuch bestimmten wurden

sofort nach der Infektion in die speziellen, nach Pfeffers Angaben konstruierten Apparate eingebracht. Mir standen zwei Apparate zur Verfügung.

Die Abbildung sowie die Beschreibung des ersteren Apparates ist bei Johannsen¹⁾ zu finden. Meinerseits habe ich nur folgendes hinzuzufügen. Zu diesem Apparate gehören zwei Zylinder, je einer aus Glas und aus Messing. Da ich nur mit den chlorophylllosen Pflanzen arbeitete und während des Versuches keine Messungen hinsichtlich des Wachstums auszuführen hatte, so habe ich den gläsernen Zylinder weggelassen. Freilich ist dadurch die Möglichkeit der unmittelbaren Beobachtung des Wachstums eliminiert und zweifellos ist diese Beobachtung sehr wertvoll für die Beurteilung, ob der Versuch früher oder später zu unterbrechen sei. Andererseits aber ist die Gefahr, daß bei Benutzung des Glaszylinders leicht eine unerwartete und eventuell sehr heftige Explosion stattfinden kann²⁾, nicht von der Hand zu weisen. Der zum Apparat gehörige Messingzylinder ist 22 cm hoch, hat 8 cm inneren Durchmesser und eine 1 cm dicke Wandung. Seine Kapazität beträgt ca. 1080 ccm. Der Messingzylinder wurde auf ein solides metallenes Gestell geschraubt; zwischen den abgeschliffenen Oberflächen des Gestells und Zylinders wurde eine Gummiplatte eingelegt, welche ringförmig (2 cm breit, 3½ cm dick) ausgeschnitten und beiderseits mit zähem Pumpenfett³⁾ bedeckt war.

Der zweite nach demselben Prinzip gebaute Apparat ist nur in seiner Form etwas modifiziert. Einen ähnlichen Apparat hat auch Jentys⁴⁾ gebraucht und teilweise beschrieben; er besitzt ebenfalls zwei Zylinder, aus Glas und aus Messing. Die Dimensionen des zu meinen Versuchen benutzten Messingzylinders sind folgende: 73,5 cm hoch, 0,5 cm dick, 2,5 cm weit, Rauminhalt ca. 360 ccm. Da dieser Zylinder ziemlich hoch und eng ist, so wurden die hineinzubringenden Röhren etagenweise an einen Glasstab mittels Gummischlauchringen befestigt. Die Höhe des Zylinders gestattete es nicht, mehr als 8—9 Röhren (7 × 1,5 cm) auf einmal einzuführen. Von unten wurde der Glasstab im Zylinder mittels eines Kupferdrahtnetzes festgehalten. Außerdem wurde zwischen den Oberflächen des Zylinders und Gestells ein gefetteter Gummiring eingelegt.

1) Unters. aus d. Botan. Inst. zu Tübingen, Bd. I, p. 686—717.

2) Vgl. bei Jaccard, Rev. génér. d. Botan. 1893, t. 5, p. 292.

3) Kolophonium 50%, weißes Wachs 20%, Vaseline 30%.

4) Tübinger Untersuchungen, Bd. II, p. 419—464.

Die Befestigung des Zylinders geschah bei dem ersteren Apparat durch vier, bei dem letzteren nur durch eine Mutterschraube, durch welche gleichzeitig die ringförmige Fassung des Zylinders und Gestells festgehalten wurde.

Die beiden Apparate wurden zur Kontrolle des Druckes mit einem Federmanometer (15 kg pro 1 ccm bzw. 30 kg pro 1 ccm) verbunden. Die beiden Manometer wurden sowohl miteinander als auch mit dem Quecksilbermanometer verglichen. Die geringfügigen sich dabei als nötig erwiesenen Korrekturen fanden Berücksichtigung. Die sämtlichen Werte sind in Atmosphären umgerechnet angegeben.

Die beiden Apparate waren mit einer Kompressionspumpe verbunden. Sämtliche in Gebrauch kommenden Verbindungswege waren aus Blei- oder Messingröhren angefertigt. Bei der Kompression habe ich von einer Abkühlung des zu komprimierenden Sauerstoffes Abstand genommen. Allerdings wurde das Gas beim Komprimieren etwas erwärmt, jedoch dürfte die Erwärmung nicht mehr als 2–3° C. betragen. Alle meine Versuche sind bei 26–28° C. ausgeführt worden; anderseits aber wurde die benutzte Nährgelatine schon bei 30–31° C. flüssig. Indessen konnte ich nach Abschluß der Versuche, selbst jener, bei denen die Gesamtgasspannung 13,5 Atm. betrug, niemals irgend welche stattgefundene Verflüssigung wahrnehmen. Im Gegenteil war die ursprüngliche Gestalt der Nährgelatineoberfläche überall tadellos geblieben. Die Druckpumpe wurde durch einen Gummischlauch mit dem Sauerstoffgasometer verbunden. Als Sauerstoffquelle benutzte ich die bekannten Sauerstoffbomben; vor dem Gebrauch ließ ich den Sauerstoff durch ein U-Rohr mit KMnO_4 , zwei U-Rohre mit 20% KOH (in Bimssteinstücken) und eine Wasserwaschflasche langsam passieren. Die direkt aus der Bombe entnommene Gasprobe wies nur 91,2% Sauerstoff auf, bei dem Durchleiten und mehrtägigen Aufbewahren im Gasometer über Leitungswasser sank der Sauerstoffgehalt auf 88–89% herab. Die Gasanalysen wurden immer vor und nach dem Versuch ausgeführt. Die erste Analyse ermöglichte eine ziemlich genaue Berechnung der einzuführenden Sauerstoffquantität und somit des Gesamtgasdruckes. Bei dem Abschluß des Versuchs wurde das im Apparat befindliche Gas mittels eines regulierbaren Kegelventils langsam abgelassen. Der Strom muß genügend langsam sein, weil sonst in der Gelatine viele Gasblasen entstehen, welche die Beurteilung des Wachstums wesentlich erschweren. Nach etwa $\frac{1}{4}$ stündigem Strömen

des Gases wurde eine Probe desselben in einer kleinen mit Wasser gefüllten Gasglocke gesammelt und sofort analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse gestatteten die wirkliche Sauerstoffspannung festzustellen.

Die sämtlichen Gasanalysen wurden nach Hempel ausgeführt.

Ob Wachstum stattgefunden hatte oder nicht, wurde makroskopisch kontrolliert; die Ergebnisse sind in den unten folgenden Tabellen wiedergegeben. Der Übersichtlichkeit halber veranschaulichen jedoch die einzelnen Tabellen nicht die Resultate einzelner Versuche, welche sich begreiflicherweise immer auf mehrere Bakterienarten bezogen haben, sondern die mehrerer Versuche, in welchen der gegebene Organismus u. a. beteiligt war. Wie ersichtlich, ist die Zahl der Versuche bei verschiedenen Arten bei weitem nicht gleich. Das ist aber insofern ganz begreiflich, als man, anfangs wenigstens, bei der Auswahl der anzuwendenden Sauerstoffspannung keine Anhaltspunkte hat und lediglich dem Glück und Zufall überlassen ist.

Da meine Versuche nur die Ermittlung der maximalen Sauerstoffspannung bezweckten, so dürfte die Frage auftreten, warum eine Angabe sämtlicher angestellter Versuche erfolgt? Allerdings kommt es bei der Feststellung der maximalen Sauerstoffspannungen nur auf zwei Versuche an, und zwar auf jene, die nach der angewendeten Sauerstoffspannung nicht weit voneinander liegen und von denen der eine negativ, der andere aber positiv ausgefallen ist. Dies ist zweifellos richtig! Wenn ich trotzdem die ganze Reihe, sowohl der negativen, als positiven Versuche zu jenen zwei entscheidenden hinzufüge, so geschieht es aus dreierlei Gründen. Erstens ist aus der Angabe sämtlicher auf den betreffenden Mikroorganismus bezüglichen Versuche besser ersichtlich, daß die maximale Sauerstoffspannung durch die allmähliche Annäherung jener Spannungen gefunden ist, die einerseits nur negative, andererseits nur positive Resultate geliefert hatten. Auf diese Weise wurden die Versuchsfehler allmählich verringert. Zweitens lassen die bei supramaximalen Sauerstoffspannungen angestellten Versuche erkennen, ob und wie weit dieselben den Organismus schädigen. Drittens können jene Versuche, welche bei inframaximalen Sauerstoffspannungen angestellt wurden, Aufschluß über die Grenzen der schädlichen Wirkung des komprimierten Sauerstoffs für verschiedene Mikroorganismen geben.

Was die ersten 25 Tabellen anlangt, so sind diese folgendermaßen eingerichtet:

Die Reihenfolge der Tabellen entspricht der der betreffenden Mikroorganismen je nach der Höhe ihrer Sauerstoffmaxima.

Jede Tabelle bezieht sich somit nur auf eine einzige Art.

In der Kolumne 1 („Gesamtdruck“) ist der Gesamtdruck des Gasgemisches in Atmosphären angegeben.

Die Kolumne 2 („Sauerstoffspannung“) zeigt den Partiärdruck des Sauerstoffs in Atmosphären an.

In der Kolumne 3 („Versuchsdauer“) ist die Zeitdauer der einzelnen Versuche in Stunden angebracht.

In der Kolumne 4 („Versuch“) befinden sich die Beschreibungen des Aussehens der Kulturen nach dem Abschluß des Versuches.

In der Kolumne 5 („Kontrolle“) ist die Entwicklung der in normalen Bedingungen bei 25—27° C. befindlichen Kontrollkulturen für die Zeitdauer des Versuches angezeigt.

Die Kolumne 6 („Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 4) nach dem Abschluß des Versuches in normalen Bedingungen“) liefert die Fortsetzung der Kolumne 4. In der Regel wurden die Versuchskulturen (4) nach dem Abschluß des Versuches in normale Bedingungen bei 25—27° C. gebracht. Von Zeit zu Zeit wurden die eventuellen Fortschritte in der Entwicklung registriert nebst der Angabe der Stunden, welche annähernd seit dem Abschluß des Versuches bis zum Moment des Registrierens verstrichen waren. Von dem beschriebenen Verfahren habe ich in der Regel nur dann Abstand genommen, wenn die Versuchskulturen sich ganz normal entwickelt hatten.

Die horizontalen Spalten enthalten die Ergebnisse der einzelnen mit der betreffenden Art ausgeführten Versuche.

Die Anordnung der übrigen Tabellen (mit Ausnahme der zusammenfassenden) ist folgende: Jede Tabelle enthält die Ergebnisse nur eines Versuches, welcher mit einigen Arten gleichzeitig angestellt wurde. In der ersten (linksseitigen) Spalte sind die beteiligten Arten angegeben. Die zweite, dritte und vierte Spalte enthalten die mit den betreffenden Arten ermittelten Resultate und zwar in derselben Anordnung, wie in den Spalten 4, 5 und 6 der erst beschriebenen Tabellen. In einigen Tabellen ist die Spalte 6 ausgelassen. Die Angaben über Gesamtdruck, Sauerstoffspannung

und Versuchsdauer finden sich dagegen über jeder einzelnen Tabelle verzeichnet.

Bei der Beschreibung des Aussehens der Kulturen (in den Kolonnen 4, 5 und 6 der ersten 25 Tabellen und in den Kolonnen 2, 3 und 4 der übrigen Tabellen) verfuhr ich folgendermaßen: Bei den nicht verflüssigenden Arten ist die Breite der Striche in Millimetern angegeben. Bei den gelatineverflüssigenden Arten ist der Grad der Verflüssigung nur annähernd bestimmt. Der Grad der Farbstoffbildung bei den betreffenden Arten ist ebenfalls mitgeteilt.

Die sämtlichen Versuche (inklusive Kontrolle und Fortsetzung des Versuches unter normalen Bedingungen) wurden bei 25—27° C. ausgeführt.

Experimentelles.

A. Die Ermittlung der maximalen Sauerstoffspannungen.

Tabelle I.

Schwefelbakterien: eine der schwefeloxydierenden Arten, die von Nathansohn¹⁾ in Neapel isoliert und beschrieben sind. Da diese Arten, welche Dr. A. Nathansohn in dankenswerter Weise zu meiner Verfügung gestellt hat, ziemlich sauerstoffempfindlich sind, so habe ich mit ihnen in Glaslocken experimentiert. Die Versuchsanordnung ist im zweiten Teil dieser Arbeit ausführlich beschrieben.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
1	0,883	89,5	Kein Wachstum.	Kräftig. Wachstum.	Nach 216 Stunden: kein Wachstum.
1	0,491	115,5	Wie in d. Kontrolle.	"	—

1) Nathansohn, „Über eine neue Gruppe von Schwefelbakterien und ihren Stoffwechsel“. Mitteilungen aus der Zoolog. Station zu Neapel, Bd. II (1903).

(Fortsetzung der Tabelle.)

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
1	0,676	211	Gutes, aber etwas verspätetes Wachs- tum. Nach ca. 150 Stunden war kein Wachstum wahr- zunehmen. An ein- zelnen Orten der Striche macht sich die Tendenz be- merkbar, in die Tiefe zu wachsen.	Kräftig. Wachstum.	—
1	0,810	330	Kein Wachstum.	"	Nach 240 Stunden: kein Wachstum.

Demzufolge liegt die maximale Sauerstoffspannung für die Schwefelbakterien zwischen 0,676 und 0,810 Atmosphären Sauerstoffdruck. Diese Sauerstoffspannungen, welche das Wachstum sistieren, wirken zugleich abtötend.

Tabelle II.

Bacillus β (unter dieser Bezeichnung von Herrn Eckardt erhalten): Unbestimmten Ursprungs; äußerst kleine kurze Stäbchen, ca. 1μ Durchmesser, beweglich. Auf Gelatineplatten erscheinen nach 2—4 Tagen einige winzige, runde, orangegelbe Kolonien, die sich nur langsam ausbreiten, etwas konvex, schleimig und glänzend werden. Der Gelatinestrich ist ziemlich eng und stark orangegelblich gefärbt. Der Gelatinestich ist nagelförmig, reicht nicht bis zum Boden hin, wächst überall gleichmäßig; der oberflächliche Teil ist rötlich gefärbt. Keine Verflüssigung der Gelatine. Fleischextraktbouillon wird nach drei Tagen trübe; etwas später setzt sich schwacher weißlicher Bodensatz ab. Kartoffelstrichkulturen sind ähnlich denen der Gelatine. Agarstich wächst gleichmäßig bis zum Boden; an der Oberfläche verbreitet sich das Wachstum nicht. Agarstrichkulturen wachsen kümmerlich. Fakultativanaërob.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
3,35	2,22	63 ³ / ₄	Kein Wachstum.	Kräftig. Wachstum und Farbstoffbil- dung.	Nach 150 Stunden: gutes Wachstum und Spuren von Farbstoff.
2,25	1,26	65 ¹ / ₂	Sehr schwach ge- wachs.; die Striche sind nur ca. ¹ / ₂ mm breit. Kein Farb- stoff.	Kräftig. Wachstum. Die Striche sind ca. 2—3 mm breit. Reichliche Farb- stoffbildung.	Nach 165 Stunden: fast wie in der Kon- trolle.
3,57	1,94	93	Kein Wachstum.	Zieml. schwach ge- wachs.: die Striche stellenweise unter- brochen und nur ¹ / ₂ —1 mm breit. Kein Farbstoff.	Nach 624 Stunden: kein Wachstum.

Der letzte Versuch verlief nicht ganz glatt. Er dürfte besser nicht zu berücksichtigen sein. Es liegt die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus β* zwischen 1,26—2,22 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle III.
Bacillus cyanogenus.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
6,99	5,40	90	Kein Wachstum.	Kräftig. Wachstum u. Farbstoffbildg.	Nach 96 Stunden: gutes Wachstum, aber schwache Farbstoff- bildung.
5,57	3,88	87 ¹ / ₂	"	Die Striche 1 mm breit; Gelatine stark gebräunt.	Nach 48 Stunden: Spuren von Wachs- tum. Nach 144 Std.: gutes Wachstum. Die Striche 1 mm breit. Gelatine braungefärbt.
4,19	2,51	89 ¹ / ₂	"	Die Striche dick u. 1 mm breit; Gela- tine braun.	Nach 72 Stunden: die Striche stellenweise unterbrochen, Gelatine schwach bräunlich. Nach 168 Stunden: wie in der Kontrolle.

(Fortsetzung der Tabelle.)

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 4.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
2,86	1,68	92 $\frac{3}{4}$	Die Striche sind sehr zart, mitunter unter- broch. u. nur $\frac{1}{2}$ mm br. Stellenw. vereinzelte Kolon. mit Farbstoff (?).	Die Striche 1 mm breit, Gelatine braun.	Nach 72 Stunden: das Wachstum ist weiter fortgeschritten, die Striche bis $\frac{3}{4}$ mm breit, die Gelatine bräunlich.
3,57	1,94	93	Kein Wachstum.	Die Striche 1 mm breit, Gelatine tiefbraun.	Nach 160 Stunden: wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus cyanogenus* liegt zwischen 1,68 und 1,94 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle IV.

Rosa Hefe.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 4.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
8,13	6,32	93	Kein Wachstum.	Kräftig gewachsene Striche 1—2 mm breit und rosa ge- färbt.	Nach 96 Stunden: die Striche $\frac{1}{2}$ —1 mm breit und schwach rosa ge- färbt.
6,66	4,84	92 $\frac{1}{4}$	"	Die Striche 2 $\frac{1}{2}$ bis 3 mm breit und rosa gefärbt.	Nach 48 Stunden: die Striche 1 mm breit und schwach rosa ge- färbt.
5,57	3,88	87 $\frac{1}{2}$	"	Die Striche solid, 2 mm breit und intensiv rosa ge- färbt.	Nach 48 Stunden: zarte, $\frac{1}{2}$ mm breite, schwach rosa gefärbte Striche. Nach 144 Std.: die Striche massiv und 2—3 mm breit. Inten- siv rosa.
4,19	2,51	89 $\frac{1}{2}$	"	Die Striche massiv, rosa und 2—3 mm breit.	Nach 72 Stunden: die Striche 1 $\frac{1}{2}$ —2 mm breit, schwach rosa. Nach 168 Std.: wie in der Kontrolle.

Fortsetzung der Tabelle.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
2,86	1,68	92 ³ / ₄	Spuren d. Wachsens.	Die Striche sehr solid, 2 mm breit und stark rosa gefärbt.	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle.
3,57	1,94	93	Kein Wachstum.	Die Striche massiv, 2—2 ¹ / ₂ mm breit und rosa gefärbt.	Nach 96 Stunden: fast wie in der Kontrolle.

Für rosa Hefe liegt also die maximale Sauerstoffspannung zwischen 1,68 und 1,94 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle V.

Bact. bruneum Schröter.

(Lehmann und Neumann „Atlas und Grundriß der Bakteriologie“.
1896, Teil II, p. 256.)

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
6,99	5,40	90	Kein Wachstum.	Kräftig. Wachstum u. Farbstoffbildg.	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.
5,57	3,88	87 ¹ / ₂	„	Die Striche sind 2 mm breit und gelblich gefärbt.	Nach 48 Stunden: Spuren d. Wachstums. Nach 144 Std.: wie in der Kontrolle.
4,19	2,51	89 ¹ / ₂	„	Die Striche sind gelblich und 2 mm breit.	Nach 72 Stunden: die Striche ¹ / ₂ mm breit, äußerst schwach ge- färbt. Nach 168 Std.: wie in der Kontrolle.
2,86	1,68	92 ³ / ₄	Die ziemlich gut ge- wachsenen Striche sind 1—1 ¹ / ₂ mm breit und stellen- weise schwach gelblich gefärbt.	Die Striche sind äußerst massiv, 3—4 mm breit und intensiv gelb- rötlich.	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle, aber nur 2—2 ¹ / ₂ mm breit.
3,57	1,94	93	Kein Wachstum.	Die gelblich. Striche sind 1—1 ¹ / ₂ mm breit.	Nach 160 Stunden: wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Bact. bruneum* Schröter befindet sich zwischen 1,68 und 1,94 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle VI.
Phycomyces nitens.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
5,77	3,88	87 1/2	Kein Wachstum.	Kräftig gewachsen. Sporenbildung.	—
4,19	2,51	89 1/2	"	Üppiges Wachstum. Sporenbildung.	—
2,86	1,68	92 3/4	Schwach gewachs., stellenweise weiß- lich. Mycel. Keine Sporen.	Kräftig. Wachstum und Sporen.	—
3,57	1,94	93	Kein Wachstum.	Kräftig gewachsen. Sporen.	—

Demgemäß liegt die maximale Sauerstoffspannung für *Phycomyces nitens* zwischen 1,68 und 1,94 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Beim Stehenlassen der Versuchskulturen kamen unglücklicherweise stets Verunreinigungen vor. Daher habe ich von der Mitteilung der diesbezüglichen Angaben Abstand nehmen müssen.

Tabelle VII.
Spirillum volutans.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
3,38	2,25	94	Kein Wachstum.	Die Striche sind 2 mm breit.	Nach 120 Stunden: ziemlich schwach ge- wachsen.
2,86	1,68	92 3/4	Die Striche sind sehr zart und nur ca. 1/2 mm breit.	"	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Spirillum volutans* liegt zwischen 1,68 und 2,25 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle VIII.
Bacillus pyocyaneus.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl 4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
3,33	2,18	127 $\frac{1}{4}$	Kein Wachstum.	Die ganze Gela- tine ist verflüssigt. Schwache Farb- stoffbildung.	Nach 120 Stunden: wie in der Kontrolle.
2,25	1,26	65 $\frac{1}{2}$	Wie in d. Kontrolle.	Die Hälfte der Ge- latine ist ver- flüssigt.	—
3,86	1,46	87	Gelatine zur Hälfte verflüssigt. Kein Farbstoff.	Die Gelatine zur Hälfte verflüssigt und schwach gelb- lich gefärbt.	Nach 72 Stunden: die Verflüssigung voll- ständig; kein Farb- stoff.
8,80	1,81	89 $\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$ Gelatine etwa verflüssigt. Kein Farbstoff.	Die ganze Gelatine verflüssigt u. gelb gefärbt.	Nach 168 Stunden: wie in der Kontrolle, aber Farbstoff ist be- deutend schwächer ge- bildet.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus pyocyaneus* liegt zwischen 1,81 und 2,18 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle IX.
Bacillus mycoides.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
3,33	2,18	127 $\frac{1}{4}$	Kein Wachstum.	Totale Verflüssi- gung der Gelatine.	Nach 192 Stunden: kein Wachstum.
2,25	1,26	65 $\frac{1}{2}$	Wie in d. Kontrolle.	Die Gelatine ist völlig verflüssigt.	—
3,57	1,94	95	Spuren von Wachs- tum und Verflüssi- gung; die Striche sind stellenweise etwas vertieft.	Totale Gelatinever- flüssigung.	Nach 160 Stunden: wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung liegt für *Bacillus mycoides* zwischen 1,94 und 2,18 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle X.

Bacillus fluorescens liquefaciens.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 4.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
8,13	6,32	93	Kein Wachstum.	Eine totale Verflüssigung. Die Gelatine ist gelblichgrün gefärbt. Fluoreszenz.	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.
6,66	4,84	92 $\frac{1}{4}$	"	Die Gelatine ist zur Hälfte verflüssigt, fluoreszierend u. schwach grüngelb gefärbt.	Nach 48 Stunden: schwach verflüssigt und gefärbt.
5,57	3,88	87 $\frac{1}{2}$	"	Fast ganz verflüssigt. Grüngelblich.	Nach 48 Stunden: ca. $\frac{1}{3}$ ist verflüssigt, schwach grüngelblich. Nach 144 Stunden: ca. $\frac{3}{4}$ der Gelatine ist schon verflüssigt.
4,19	2,51	89 $\frac{1}{2}$	"	Totale Verflüssigung der Gelatine. Deutliche grüngelbe Farbe.	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle, aber noch kein Farbstoff. Nach 168 Std.: das obere Drittel der Gelatine ist schwach grüngelb.
2,86	1,68	92 $\frac{3}{4}$	Die Striche sind vertieft; ca. $\frac{1}{3}$ der Gelatine ist verflüssigt.	Die gesamte Gelatine ist verflüssigt. Grüngelb.	Nach 72 Stunden: totale Verflüssigung, aber nur Spuren von Farbstoff.
3,57	1,94	93	Spuren v. Gelatineverflüssigung. Die Striche stellenweise vertieft.	Ganz verflüssigt. Grüngelbe Farbe.	Nach 80 Stunden: fast wie in der Kontrolle.

Demgemäß ist die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus fluorescens liquefaciens* zwischen 1,94 und 2,51 Atmosphären Sauerstoffdruck zu finden.

Tabelle XI.
Aspergillus niger.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 4.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
6,24	4,29	136 $\frac{3}{4}$	Kein Wachstum.	Kräftig. Wachstum, reichliche Sporen- bildung.	Nach 168 Stunden: wie in der Kontrolle.
3,94	3,22	179 $\frac{3}{4}$	"	Kräftig. Wachstum. Sporen.	Nach 180 Stunden: wie in der Kontrolle.
4,19	2,51	89 $\frac{1}{2}$	"	Gutes Wachstum. Sporenbildung.	Nach 72 Stunden: ca. $\frac{1}{3}$ des Brotes ist mit Mycel bedeckt. Stellen- weise Sporen. Nach 168 Stunden: wie in der Kontrolle.
2,25	1,26	65 $\frac{1}{2}$	Wie in d. Kontrolle.	Mäßiges Wachstum. Selten Sporen.	—
3,57	1,94	93	Stellenw. schwach gewachsen. Mycel. Keine Sporen.	Gutes Wachstum u. Sporenbildung.	Nach 120 Stunden: wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung liegt somit für *Aspergillus niger* zwischen 1,94 und 2,51 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XII.
Sarcina lutea.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 4.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
6,99	5,40	90	Kein Wachstum.	Kräftiges Wachs- tum, schwach gelb- lich, keine Ver- flüssigung.	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.
5,57	3,88	87 $\frac{1}{2}$	"	Die Striche sind 1 mm breit und orangengelb ge- färbt.	Nach 48 Stunden: Spu- ren von Wachstum. Nach 144 Stunden: wie in der Kontrolle.
4,19	2,51	89 $\frac{1}{2}$	Die farblos. Striche sind teilweise un- terbrochen, fast durchsichtig und $\frac{1}{2}$ mm breit.	Die massiven oran- gengelben Striche sind 1 mm breit.	Nach 72 Stunden: die Striche sind 1 mm breit und schwach ge- färbt. Nach 168 Std.: wie in der Kontrolle.

(Fortsetzung der Tabelle.)

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
4,71	3,18	93	Kein Wachstum.	Die soliden Striche sind 1—1 1/2 mm breit und intensiv orangengelb ge- färbt.	Nach ca. 200 Stunden: fast wie in der Kon- trolle.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Sarcina lutea* liegt zwischen 2,51 und 3,18 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XIII.

Vibrio albensis Lehm. et Neum.

(Lehmann und Neumann, a. a. O. p. 340.)

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
6,66	4,84	92 1/4	Kein Wachstum.	Mäßiges Wachstum. Die Striche sind etwas vertieft und die Gelatine zum Teil verflüssigt.	Nach 96 Stunden: kein Wachstum. Nach 144 Stunden: Spuren von Wachstum.
5,57	3,88	87 1/2	"	Die Striche sind verflüssigt, die Vertiefungen sind sind ca. 3 mm breit.	Nach 48 Stunden: Spu- ren von Wachstum. Nach 144 Stunden: sehr schwach gewachs.
4,19	2,51	89 1/2	Die Striche sind schwach vertieft und verflüssigt. Ihre Breite beträgt ca. 1 mm.	Die Striche sind stark verflüssigt, etwa 1 1/2 mm breit.	Nach 168 Stunden: wie in der Kontrolle.
4,71	3,18	93	Kein Wachstum.	Mäßiges Wachstum. Die Striche sind ziemlich tief ver- flüssigt und ca. 1 mm breit.	Nach 624 Stunden: fast kein (?) Wachstum.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Vibrio albensis* liegt also zwischen 2,51 und 3,18 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XIV.
Penicillium glaucum.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
6,24	4,29	136 ³ / ₄	Kein Wachstum.	Kräftig. Wachstum.	Nach 96 Stunden: schwach gewachsen.
4,89	3,63	113 ¹ / ₂	"	Kräftig. Wachstum u. reichl. Sporen- bildung.	Nach 120 Stunden: ziemlich schwach ge- wachsen.
3,94	3,22	90	Mycel, aber keine Sporen gebildet.	Kräftig. Wachstum. Sporen.	Nach 96 Stunden: das Wachstum ist weiter vorgeschrift. Sporen.

Für *Penicillium glaucum* liegt die maximale Sauerstoffspannung zwischen 3,22 und 3,63 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XV.
Mucor stolonifer.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
6,24	4,29	136 ³ / ₄	Kein Wachstum.	Kräftig. Wachstum u. reichl. Sporen- bildung.	Nach 144 Stunden: Mäßiges Wachstum. Sporen.
4,89	3,63	113 ¹ / ₂	"	Kräftig. Wachstum. Sporen.	Nach 168 Stunden: zieml. gut gewachsen. Sporen.
3,94	3,22	90	Stellenweise weiß- liches Mycel. Die Sporen fehlen.	Kräftig gewachsen. Reichliche Sporen- bildung.	Nach 24 Stunden: ver- einzelte Sporen. Nach 48 Stunden zahlreiche Sporen.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Mucor stolonifer* liegt somit zwischen 3,22 und 3,63 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XVI.
Bacillus subtilis.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
6,99	5,40	90	Kein Wachstum.	Totale Verflüssigung. Kahlhäute.	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.
5,57	3,88	87 1/2	"	Die Gelatine ist mehr als z. Hälfte verflüssigt. Kahlhäute.	Nach 48 Stunden: Spuren d. Wachstums: ca. 1/4 der Gelatine ist flüssig. Nach 144 Stunden: wie in der Kontrolle.
4,19	2,51	89 1/2	Die Gelatine ist fast vollständig verflüssigt. Kahlhäute fehlen.	Totale Verflüssigung. Kahlhäute.	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle.
4,71	3,18	93	Spuren von Wachstum. Die Striche sind deutlich verflüssigt.	Die ganze Gelatine ist verflüssigt. Kahlhäute.	Nach 96 Stunden: fast wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus subtilis* liegt also zwischen 3,18 und 3,88 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XVII.
Proteus vulgaris.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
3,94	3,22	90	ca. 1/3 der Gelatine ist verflüssigt.	Gelatine vollständig verflüssigt	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.
4,89	3,63	113 1/2	Die Striche sind schwach verflüss., d. übrige Gelatine bleibt intakt.	Die ganze Gelatine ist verflüssigt.	Nach 120 Stunden: fast wie in der Kontrolle.
5,80	4,35	113 1/2	Kein Wachstum.	Totale Verflüssigung der Gelatine.	Nach 48 Stunden: kein Wachstum. Nach 170 Stunden: ca. 1/2 d. Gelatine verflüssigt.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Proteus vulgaris* liegt zwischen 3,63 und 4,35 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XVIII.

Bacillus a (unter dieser Bezeichnung von Herrn Eckardt erhalten): schwach bewegliche Stäbchen, ca. 1—2 μ lang, $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ μ dick. Gelatineplattenkulturen sind äußerst klein, erscheinen nur nach 2—4 Tagen, sind rund und vergrößern sich langsam und wenig. Gelatinestriche sind ziemlich massiv, weißlich, glänzend, mit scharfem Rande. Gelatinestichkulturen verbreiten sich über die ganze Oberfläche, in die Tiefe wachsen sie gleichmäßig bis zum Boden und haben ein bändchenähnliches Aussehen. Keine Verflüssigung der Gelatine. Fleischextraktbouillon ist nach 24 Stunden schon ganz trübe, nach zwei Tagen setzt sich ein reichlicher feinflockiger weißlicher Bodensatz ab. An der Oberfläche ist ein derbes Häutchen vorhanden. Kartoffelstrichkulturen stellen schmutzige chokoladefarbige Auflagerung vor, die sich allmählich verbreitert und schleimglänzend wird. Agarstich- und Agarstrichkulturen sind denen der Gelatine ähnlich. Fakultativanaerob.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
3,35	2,22	63 $\frac{3}{4}$	Das Wachstum ist sehr wenig abgeschwächt.	Kräftig.	—
4,79	3,25	112	Spuren von Wachstum.	Die Striche sind ca. 3 mm breit.	96 Stunden: wie in der Kontrolle.
5,80	4,35	113 $\frac{1}{2}$	Kein Wachstum.	Die Striche sind etwa 2 mm breit.	48 Stunden: wie in der Kontrolle.
5,57	3,88	87 $\frac{1}{2}$	Die Striche sind $\frac{1}{2}$ mm br., äußerst zart u. fast durchsichtig.	Die ziemlich soliden Striche sind ca. 1 $\frac{1}{2}$ —2 mm breit.	48 Stunden: die Striche sind noch zieml. zart, aber schon 1—1 $\frac{1}{2}$ mm breit.

Demzufolge liegt die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus a* zwischen 3,88 und 4,35 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XIX.

Bacillus d (unter dieser Bezeichnung von Herrn Eckardt erhalten): aus Erde isoliert; Gelatinestriche massiv, in der Mitte der Striche enge, schwach vertiefte Furche, die Ränder dagegen etwas erhaben, lappenförmig; rötlich gefärbt, schwach glänzend. Der Gelatinestich verläuft gleichmäßig bis zum Boden, hat ein bändchen-

ähnliches Aussehen; die Mitte des Stichbändchens ist fast durchsichtig, die Ränder dagegen massiver und aus den vereinzelt kleinen naheliegenden Kolonien zusammengestellt; an der Oberfläche ist etwa $\frac{1}{2}$ Gelatine bedeckt. Keine Verflüssigung der Gelatine. Fakultativanaërob.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
3,35	2,22	63 $\frac{3}{4}$	Das Wachstum ist etw. abgeschwächt.	Kräftig. Wachstum. Farbstoffbildung.	—
4,79	3,25	112	Die Striche sind stellenweise unter- brochen und nur ca. 1 mm breit.	Die ziemlich mas- siven, schwach rötlich gefärbten Striche sind ca. 2—3 mm breit.	96 Stunden: fast wie in der Kontrolle.
5,80	4,35	113 $\frac{1}{2}$	Kein Wachstum.	Die Striche sind 1—3 mm breit, rosa gefärbt.	48 Stunden: gutes Wachstum und Spuren von Farbstoff.
5,57	3,88	87 $\frac{1}{2}$	Spuren des Wach- sens. Die Striche sind $\frac{1}{2}$ mm breit sehr zart und mitunter durch- sichtig.	Die soliden Striche sind 1 $\frac{1}{2}$ —2 mm breit und intensiv rötlich gefärbt.	48 Stunden: die feinen Striche sind ca. $\frac{1}{2}$ bis 1 mm breit, sehr schwach gefärbt. 144 Stunden: fast wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus δ* liegt zwischen 3,88 und 4,35 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XX.

Bacterium coli commune.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
5,94	4,09	68 $\frac{1}{2}$	Die Striche sind $\frac{1}{2}$ mm breit.	Gutes Wachstum. Die Striche sind ca. 2—2 $\frac{1}{2}$ mm breit.	72 Stunden: fast wie in der Kontrolle.
6,66	4,84	92 $\frac{1}{2}$	Kein Wachstum.	Die Striche sind 1 $\frac{1}{2}$ —2 mm breit.	48 Stunden: wie in der Kontrolle.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Bact. coli commune* liegt zwischen 4,09 und 4,84 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XXI.
Bacillus prodigiosus.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
4,73	3,85	45 ³ / ₄	Die ganze Gelatine ist verflüss. Farb- stoff aber fehlt.	Totale Verflüssi- gung, reichliche Farbstoffbildung.	Nach 72 Stunden: Farbstoffbildung.
6,44	5,14	45 ¹ / ₂	Gelatine etwa zur Hälfte verflüssigt; kein Farbstoff.	"	Nach ca. 60 Stunden: fast wie in der Kon- trolle.
8,13	6,32	93	Kein Wachstum.	Die ganze Gelatine verflüssigt; Farb- stoff.	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.
7,37	5,45	88	Schwaches Wachs- tum. Die Striche und ca. ¹ / ₄ der Ge- latine sind ver- flüss. Kein Farb- stoff.	Die ganze Gelatine ist verflüss. Reich- licher Farbstoff.	48 Stunden: fast wie in der Kontrolle.

Demgemäß liegt die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus prodigiosus* zwischen 5,45 und 6,32 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XXII.

Bacillus intracis (unter dieser Bezeichnung von Herrn Eckardt erhalten): Gelatinestriche — ziemlich massiv, glänzend, mit längs verlaufenden Linien bedeckt; die Ränder etwas erhaben, lappenförmig; weißlich; keine Verflüssigung. Gelatinestichkulturen wachsen gleichmäßig fast bis zum Boden. Der obere Teil ist trichterförmig vertieft. In der Tiefe der Gelatine hat der Stich ein bändchenähnliches Aussehen. Das Bändchen ist stellenweise feinkörnig. Fakultativanaërob.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
3,33	2,18	63 ¹ / ₂	Fast wie in der Kontrolle.	Kräftig.	—
4,79	3,25	112	Wachstum unbeden- tend abgeschwächt.	Kräftig.	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.

(Fortsetzung der Tabelle.)

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
5,80	4,35	113 1/2	Schwaches Wachs- tum. Die Striche sind 1/2 mm breit.	Die soliden Striche sind ca. 1 mm breit.	48 Stunden: schwache Fortschritte.
6,66	4,84	92 1/4	Sehr schwach. Die Striche sind zart und nur 1/2 mm breit.	Die Striche sind ca. 1—1 1/2 mm breit und etwas vertieft.	48 Stunden: etwas schwächer als in der Kontrolle.
7,37	5,45	88	Die zarten und fast durchsichtigen Striche sind ca. 1/3 mm breit.	Die Striche sind ziemlich massiv u. 1 mm breit.	Nach 48 Stunden: fast wie in der Kontrolle.
9,65	6,79	88 1/4	Die äußerst zarten durchsicht. Striche sind ca. 1/4 mm breit.	Die Striche sind 1 mm breit und etwas vertieft.	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle.
12,50	9,38	93	Kein Wachstum.	Die Striche sind ca. 1 mm breit.	72 Stunden: Die Striche sind stellenweise ganz unterbrochen, durch- schnittl. 1/2 mm breit.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Bacillus intracis* befindet sich somit zwischen 6,79 und 9,38 Atmosphären Sauerstoffdruck.

Tabelle XXIII.

Micrococcus laevolans (unter dieser Bezeichnung von Herrn Eckardt erhalten): Gelatinestriche sind sehr massiv, weit verbreitet, schleimig und glänzend, fast spiegelnd; strukturlos; die Ränder bilden keine Lappen und sind nur schwach wellenförmig; weißschmutzig gefärbt; nicht verflüssigend. Der Gelatinestich verläuft bis zum Boden gleichmäßig in der Form eines dünnen Bändchens; an der Oberfläche verbreitet sich das Wachstum über die ganze Gelatine. Fakultativanaërob.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
3,33	2,18	63 1/2	Die Striche sind 1 mm breit.	Die Striche sind 2—4 mm breit.	—

(Fortsetzung der Tabelle.)

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
4,79	3,25	112	Die Striche sind ca. $\frac{1}{2}$ —1 mm breit.	Die mächtig. Striche sind 4—5 mm br.	96 Stunden: wie in der Kontrolle.
5,80	4,35	113 $\frac{1}{2}$	Die zarten, fast durchsichtigen Striche sind ca. $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ mm breit.	Die mächtig. Striche sind ca. 3—5 mm breit.	48 Stunden: wie in der Kontrolle.
6,66	4,84	92 $\frac{1}{4}$	Die äußerst feinen Striche sind $\frac{1}{3}$ mm breit.	Die äußerst dicken Striche sind 4 bis 5 mm breit.	48 Stunden: fast wie in der Kontrolle.
7,37	5,45	88	Die durchsichtigen Striche sind etwa $\frac{1}{3}$ mm breit.	Die massiv. Striche sind 2—3 mm br.	48 Stunden: die Striche sind 1 $\frac{1}{2}$ —2 mm breit.
9,65	6,79	88 $\frac{1}{4}$	Die sehr zarten Striche sind ca. $\frac{1}{3}$ mm breit.	Die massiv. Striche sind 2—3 mm br.	48 Stunden: die Striche sind 1 $\frac{1}{2}$ —2 mm breit.
12,50	9,38	93	Spuren von Wachstum.	Die mächtig. Striche sind ca. 2—3 $\frac{1}{2}$ mm breit.	72 Stunden: die Striche sind dick und 2 mm breit.

Tabelle XXIV.

Bacillus γ (unter dieser Bezeichnung von Herrn Eckardt erhalten): aus Erde isoliert. Die Gelatinestriche sind ziemlich massiv, in allen Zonen gleichmäßig gewachsen, schwach rosagrau gefärbt, glänzend; die Ränder sind schwach erhaben und bilden winzige Läppchen. Keine Verflüssigung. Gelatinestich: nagelförmig, gleichmäßig bis zum Boden gewachsen, bändchenähnliches Aussehen, schwach gelblichrosa gefärbt und mit feinlappenförmigem Rande versehen. Fakultativanaërob.

1. Gesamt- druck in Atmosphären	2. Sauerstoff- spannung	3. Versuchsdauer in Stunden	4. Versuch	5. Kontrolle	6. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
3,35	2,22	63 $\frac{3}{4}$	Wachstum ist unbedeutend abgeschw.	Kräftig.	—
4,79	3,25	112	Etwas schwächer. Kein Farbstoff.	Die Striche sind 1 mm breit und schwach gefärbt.	96 Stunden: wie in der Kontrolle, aber kein Farbstoff.

(Fortsetzung der Tabelle.)

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
5,80	4,35	113 1/2	Die Striche sind ca. 1/2 mm breit.	Die Striche sind 1 mm breit und massiver.	48 Stunden: wie in der Kontrolle.
6,66	4,84	92 1/4	Die Striche sind zart und ca. 1/4 bis 1/2 mm breit.	Die Striche ca. 1 bis 1 1/2 mm breit.	Nach 48 Stunden: die Striche werden dicker und 1 mm breit.
7,37	5,45	88	Die farblos. Striche sind ziemlich zart, teilweise durchsichtig und 1/3 mm breit.	Die Striche sind massiv, 1 mm breit und schwach rosa gefärbt.	48 Stunden: wie in der Kontrolle.
9,65	6,79	88 1/4	Die Striche sind äußerst fein, ca. 1/2 mm breit.	Die rosa gefärbten Striche sind ca. 1 mm breit und massiv.	72 Stunden: wie in der Kontrolle.
12,50	9,38	93	Die äußerst zarten Striche sind farblos, durchsichtig und ca. 1/2 mm breit.	Die massiv. Striche sind 1 1/2—2 mm breit und schwach rosagebl. gefärbt.	Nach 72 Stunden: die massiven Striche sind ca. 1 mm breit; kein Farbstoff.

Tabelle XXV.

Bacillus ε (unter dieser Bezeichnung von Herrn Eckardt erhalten): aus Erde isoliert. Die Gelatinestriche sind ziemlich zart, stellenweise aus vereinzelt, äußerst kleinen, runden Kolonien bestehend, weiß, etwas vertieft, schwach glänzend; eine Mittellinie vorhanden, die Ränder stellenweise lappenförmig. Die Gelatinestichkulturen wachsen bis zum Boden, gleichmäßig, trichterförmig, bändchenähnlich mit schwach lappenförmigen Rändchen. Keine Verflüssigung der Gelatine. Fakultativanaërob.

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
3,35	2,22	63 3/4	Fast normal. Wachstum.	Kräftig.	—
4,79	3,25	112	Wachst. ist bedeut. abgeschwächt.	"	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.

(Fortsetzung der Tabelle.)

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Gesamt- druck	Sauerstoff- spannung	Versuchsdauer in Stunden	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.4) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
in Atmosphären					
5,80	4,35	113 1/2	Die Striche ca. 1/2 mm breit.	Die Striche 1 mm breit.	48 Stunden: kleine Fortschritte.
6,66	4,84	92 1/4	Die Striche sind dünn und zart, ca. 1 mm breit.	Die massiv. Striche sind ca. 2 mm breit.	48 Stunden: die Striche sind 1 mm breit, aber massiver.
7,37	5,45	88	Die Striche sind zart und zum Teil durchsichtig, ca. 1/2 mm breit.	Die ziemlich massiven Striche sind 1 1/2 mm breit.	48 Stunden: die Striche sind 1 mm breit und etwas solider geword.
9,65	6,79	88 1/4	Die Striche sind 1/2 mm breit.	Die schwach vertieften Striche sind 1—1 1/2 mm breit.	72 Stunden: wie in der Kontrolle.
12,50	9,38	93	Die Striche sind zart, fast durchsichtig und ca. 1/2 mm breit.	Die Striche sind massiv und ca. 1—1 1/2 mm breit.	Nach 72 Stunden: die Striche sind massiver und ca. 3/4—1 mm breit geworden.

Die maximale Sauerstoffspannung für *Micr. laevolans*, *Bac. γ* und *Bac. ε* liegt somit höher als bei 9,38 Atmosphären Sauerstoffdruck. Da alle diese Formen, nur mit Ausnahme des weniger resistenten *Micr. laevolans*, bei 9,38 Atm. O₂ fast so gut wie bei 4,35 Atm. O₂ wuchsen, so scheint die maximale Sauerstoffspannung für sie bedeutend höher als bei 9,38 Atm. O₂ zu liegen. Von der bedeutenden Erhöhung des Gesamtdruckes aber, welche sich für die genaue Ermittlung der maximalen Sauerstoffspannung voraussichtlich notwendig machte, mußte ich deshalb Abstand nehmen, weil der angewandte Druck von 9,38 Atm. O₂ einem Gesamtdruck von 12,50 Atm. entsprach, ich aber 15 Atm.¹⁾ nicht überschreiten durfte.

B. Mögliche Versuchsfehlerquellen.

Die in den Tabellen I—XXV zusammengefaßten Versuche wurden nicht unter absolut gleichen Bedingungen ausgeführt. Es fragt sich daher, ob und wie weit die ermittelten Resultate

1) Das betreffende Manometer ist 30 kg pro 1 cem stark. Bekanntlich garantieren die Firmen nur für die Hälfte des auf ihren Manometern angebrachten Grenzdruckes.

durch die zugelassenen Differenzen in der Versuchsanordnung alteriert wurden?

Um diese Frage zu beantworten, habe ich den Einfluß jeder der vier zugelassenen Versuchsdifferenzen detailliert erörtert.

1. Die Bedeutung der absoluten Menge des Sauerstoffs.

Bei der Ausführung der obigen Versuche wurde mit beiden Apparaten gearbeitet. Der eine derselben besitzt, wie oben erwähnt, eine dreimal größere Kapazität als der andere. Demzufolge sind bei gleichen Sauerstoffspannungen die absoluten Mengen des Sauerstoffs in beiden Apparaten nicht gleich. Setzen wir nun den gleichen Sauerstoffverbrauch durch Bakterien in beiden Apparaten voraus, so wird das Verhältnis des konsumierten Sauerstoffs zu dem gebliebenen, und somit die Verminderung der Sauerstoffspannung, im kleineren Apparat beträchtlicher als im größeren sein. Auf diese Weise werden die im kleineren Apparat befindlichen Bakterien, *ceteris paribus*, sich günstigeren Bedingungen erfreuen.

Wenn dieser Fehler prinzipiell auch möglich ist, so ist er in Wirklichkeit aus naheliegenden Gründen ohne Belang. Zunächst waren die absoluten Mengen des Sauerstoffs in beiden Apparaten zu groß, um durch viertägigen Sauerstoffverbrauch einiger kümmerlich gedeihender Strichkulturen merklich vermindert zu werden. Ferner wurden die Gasanalysen, und somit die definitiven Bestimmungen der Höhe der Sauerstoffspannung, immer am Ende der Versuche ausgeführt. Schließlich habe ich, um diese Frage definitiv zu erledigen, folgende zwei Versuche angestellt. Der eine Versuch wurde im kleineren, der andere im größeren Apparat ausgeführt. Die übrigen Bedingungen waren möglichst gleich gehalten. Die Ergebnisse dieser Versuche ergeben sich aus den Tabellen XXVI und XXVII.

Tabelle XXVI.

Der kleinere (ca. 360 ccm fassende) Apparat.
 Gesamtdruck der Luft 6,04 Atmosphären.
 Sauerstoffspannung 1,29 Atmosphären.
 Versuchsdauer $90 \frac{1}{4}$ Stunden.

1.	2.	3.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle
Rosa Hefe	Die Striche sind rosa gefärbt und ca. $1\frac{1}{2}$ —2 mm breit.	Die mächtigen rosa gefärbten Striche sind ca. 2—3 mm breit.
<i>Bact. bruneum</i>	Wie in der Kontrolle.	Die massiven Striche sind 2 mm breit und gelblich gefärbt.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Die Striche sind ca. 1 mm breit. Farbstoffbildung.	Die Striche sind ca. 2 mm breit. Gelatine stark gebräunt.
<i>Bac. pyocyaneus</i>	Das Wachstum wie in der Kontrolle, aber kein Farbstoff.	Die Gelatine ist zur Hälfte verflüssigt. Grüngelbe Farbe und Fluoreszenz.

Tabelle XXVII.

Der größere (ca. 1080 ccm fassende) Apparat.
 Gesamtdruck 3,86 Atmosphären.
 Sauerstoffspannung 1,46 Atmosphären.
 Versuchsdauer 87 Stunden.

1.	2.	3.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle
Rosa Hefe	Die rosa gefärbten Striche sind ca. 1—2 mm, stellenweise sogar 3 mm breit.	Die mächtigen Striche sind 2 mm breit. Rosa Farbe.
<i>Bact. bruneum</i>	Wie in der Kontrolle.	Die Striche sind massiv und 1—2 mm breit. Farbstoff.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Die Striche sind ca. $\frac{1}{2}$ —1 mm breit. Die Gelatine ist schwach braun.	Die Striche sind ca. 1—2 mm breit. Gelatine zum Teil stark gebräunt.
<i>Bac. pyocyaneus</i>	Das Wachstum gleicht dem der Kontrolle. Farbstoff fehlt.	Die Gelatine ist zur Hälfte verflüssigt, fluoreszierend und gelblich gefärbt.

Aus diesen Tabellen dürfte ersichtlich sein, daß die Differenzen in der absoluten Menge des Sauerstoffs, bei gleichen Spannungen desselben, keine wahrnehmbare Wirkung auf die Entwicklung der Bakterien ausüben.

2. Die Bedeutung des künstlich dargestellten Sauerstoffs.

Fast sämtliche Versuche sind mit dem aus der Bombe entnommenen, also auf künstlichem Wege dargestellten, nicht aber in der freien Luft befindlichen Sauerstoff ausgeführt. Allerdings wurde

der benutzte Sauerstoff stets sorgfältig gewaschen, jedoch wäre es immerhin möglich, daß dieser Sauerstoff trotzdem noch solche schädliche Verunreinigungen enthielt, die ungeachtet der angewendeten üblichen Waschlösungen unabsorbiert passierten.

Um die Möglichkeit dieses Fehlers zu prüfen, stellte ich zwei Versuche an: in dem einen wurde Luft, in dem anderen ein Gasgemisch, welches aus ca. 80% Wasserstoff und ca. 20% Sauerstoff aus der Bombe bestand, komprimiert. Die übrigen Bedingungen waren gleich. Die Resultate dieser Versuche zeigen, wie aus Tabelle XXVI und XXVIII zu ersehen ist, ohne weiteres, daß der benutzte Sauerstoff aus der Bombe genügende Reinheit besaß.

Tabelle XXVIII.

Das zu komprimierende Gasgemisch ist aus Wasserstoff und Sauerstoff aus der Bombe (20,54% O₂) dargestellt.

Der kleinere Apparat.

Gesamtdruck 6,14 Atmosphären.

Sauerstoffspannung 1,26 Atmosphären.

Versuchsdauer 87³/₄ Stunden.

1.	2.	3.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle
Rosa Hefe	Die Striche sind 2 mm breit. Farbstoff.	Die kräftig gewachsenen Striche sind rosa und 2—3 mm breit.
<i>Bact. bruneum</i>	Die Striche sind massiv, gelblich gefärbt und 1—3 mm breit.	Die massiven Striche sind gelblich und 2—4 mm breit.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Die Striche sind 1 mm breit. Reichliche Farbstoffbildung.	Die Striche sind ca. 1 ¹ / ₂ mm breit. Gelatine stark gebräunt.

3. Die Bedeutung des Druckes indifferenter Gase.

Bei der Ausführung der Versuche habe ich nur den Sauerstoffpartiärdruck im Auge gehabt. Da aber der prozentische Sauerstoffgehalt der zu komprimierenden Gasgemische in den verschiedenen Versuchen bedeutend variierte, so sind die Gesamtdrucke der Gasgemische bei gleichen Sauerstoffspannungen in den verschiedenen Versuchen bei weitem nicht gleich. Diese Differenzen sind allerdings ohne Belang, wenn der obenerwähnte P. Bertsche Satz, daß die

physiologisch schädliche Wirkung des komprimierten Gasgemisches nur von der Erhöhung der Sauerstoffspannung abhängt, richtig ist. Da aber die allgemeine Gültigkeit dieses Satzes schon mehrfach¹⁾ bestritten wurde, so schien es mir geboten, die Bedeutung des Druckes indifferenten Gase speziell für meine Objekte zu prüfen. Ich habe dazu einige Versuche angestellt, in denen die Gesamtdrucke bei gleichen Sauerstoffspannungen bedeutend variierten. Auf Grund der ermittelten Resultate — wie es durch Vergleichung der Tabellen XXVI und XXVIII mit der Tabelle XXVII, sodann der Tabelle XXIX mit der Tabelle XXX ersichtlich ist — darf ich behaupten, daß bei Kompression eines sauerstoffhaltigen Gasgemisches der Druck indifferenten Gase keinen wahrnehmbaren Einfluß auf die Entwicklung der Bakterien ausübt. Somit ist der erwähnte P. Bertsche Satz, wenigstens bezüglich der von mir untersuchten Bakterien, völlig bestätigt worden.

Tabelle XXIX.

Der kleinere Apparat.

Gesamtdruck des Gasgemisches (aus der Bombe) 3 Atm.

Sauerstoffspannung 1,84 Atmosphären.

Versuchsdauer 89³/₄ Stunden.

1.	2.	3.	4.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
Rosa Hefe	Kein Wachstum.	Die Striche sind rosa und 2 mm breit.	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle.
<i>Bact. bruncum</i>	"	Die Striche sind 2 bis 3 mm breit und gelb gefärbt.	Nach 72 Stunden: wie in der Kontrolle.
<i>Bac. cyanogenus</i>	"	Die Striche sind 1 bis 1 ¹ / ₂ mm breit. Farbstoff.	Nach 168 Stunden: fast wie in der Kontrolle.

Diese Tabelle ist mit der folgenden zu vergleichen.

1) Jaccard, Rev. génér. de Bot. 1893, t. 5, p. 354. Schaible, Fünfstücks Beitr. zur wissenschaftl. Bot., 1900, Bd. 4, p. 93—148. Jentys, a. a. O., p. 452.

Tabelle XXX.

Der kleinere Apparat.

Gesamtdruck der Luft 8,80 Atmosphären.

Sauerstoffspannung 1,81 Atmosphären.

Versuchsdauer 89³/₄ Stunden.

1.	2.	3.	4.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
Rosa Hefe	Kein Wachstum.	Die mächtigen, rosa gefärbten Striche sind 2—2 ¹ / ₂ mm breit.	Nach 96 Stunden: wie in der Kontrolle.
<i>Bact. bruneum</i>	In einem Röhrchen kein Wachstum. In dem anderen ein ca. 2—3 mm langer und ca. ³ / ₄ mm breiter Strich. Kein Farbstoff.	Die massiven Striche sind ca. 1—2 mm breit. Reichliche Farbstoffbildung.	Nach 168 Stunden: wie in der Kontrolle.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Unterbrochene Striche ca. ¹ / ₂ mm breit. Einzelte Kolon. Spuren von Farbstoff.	Die Striche sind 1 mm breit. Farbstoff.	Nach 80 Stunden: fast wie in der Kontrolle.

4. Die Bedeutung der Zeitdauer der Versuche.

Die Zeitdauer der Versuche betrug in der Regel 4 Tage, in einigen Fällen aber 2, 3 oder 6 Tage. Die gesteigerte Sauerstoffspannung kann aber die Entwicklung der Mikroorganismen nicht nur abschwächen, sondern vielleicht auch verlangsamen. Träfe das zu, so würde das Wachstum der Kulturen resp. die Erreichung seines Maximums längere Zeit beanspruchen. Von diesem Standpunkt aus betrachtet wäre es leicht möglich, daß die übliche Zeitdauer meiner Versuche zu kurz gewesen wäre und die dabei ermittelten Resultate zum guten Teil als voreilig angenommen zu gelten hätten. Um die tatsächliche Tragweite dieser Fehlerquelle klarzulegen, habe ich einen Versuch unter den üblichen Bedingungen angestellt, ihn jedoch 13 Tage lang fortgesetzt. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der Tabelle XXXI niedergelegt.

Tabelle XXXI.

Gesamtdruck 3 Atmosphären.

Sauerstoffspannung 1,72 Atmosphären.

Versuchsdauer 304 Stunden.

1.	2.	3.	4.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
Rosa Hefe	Die Striche haben kein Wachstum aufzuweisen bis auf eine Stelle, wo eine rosa gefärbte, runde, im Halbmesser ca. 2—3 mm breite Kolonie vorhanden ist.	Die Striche haben sich in eine mächtige ca. 10 mm breite Masse vereinigt. Reichliche Farbstoffbildung.	Nach ca. 60 Stunden: nur vereinzelte runde Kolonien, die sich nach einigen Tagen in eine Masse vereinigen. Farbstoff.
<i>Bact. bruneum</i>	Nur vereinzelte Kolonien, die übrigens stellenweise eine Art von Strich ca. 1—2 mm breit bilden. Reichlich gefärbt.	Die ganze Oberfläche der Gelatine ist mit einer mächtigen gelborangen Auflagerung bedeckt.	Nach ca. 120 Stunden: die Vereinigung der Kolonien schon beendet.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Vereinzelte runde, ca. 1 mm im Halbmesser, schwarz gefärbte Kolonien. Stellenweise ist schon die Vereinigung derselben vollzogen. Die Gelatine selbst ist ungefärbt.	Die Striche sind ca. 1 mm breit. Gelatine zum Teil schwarz gefärbt.	Nach 408 Stunden: anscheinend keine Veränderungen.
<i>Bac. pyocyaneus</i>	Vollständige Verflüssigung. Farbstoffspur.	Vollständige Verflüssigung. Farbstoffbildung.	In einigen Tagen tritt der Farbstoff reichlich auf.

Vergleicht man die Resultate dieser Tabelle mit denen der Tabelle III, IV, V und VIII, so ergibt sich, daß die Kulturen bei einer ca. 3 1/2 mal verlängerten Zeitdauer des Versuches sich nur unbedeutend stärker entwickelt haben. Diese Verstärkungen aber würden für die von mir zugelassenen 2—3tägigen Versuchsdauerdifferenzen noch geringer sein. Jedenfalls sind die daraus entsprungene Fehler zu geringfügig, um die gegenseitige Vergleichbarkeit der ermittelten Resultate beeinflussen zu können. Außerdem ist nicht zu übersehen, daß die oben angegebenen maximalen Sauerstoffspannungen für verschiedene Mikroorganismen nur annähernd von mir bestimmt sind.

Wie schon gesagt, läßt sich eine unbedeutende, aber deutliche Entwicklungsverstärkung durch ungefähr viermal verlängerte Versuchsdauer nicht verkennen. Diese Verstärkung bezieht sich jedoch nicht auf die sämtlichen auf dem Striche befindlichen Bakterien, was unter normalen Bedingungen wohl der Fall ist, sondern nur auf einige räumlich getrennte Strichpunkte. Solche eigenartige Verstärkung hat das Auftreten vereinzelter Kolonien zur Folge. Diese Erscheinung läßt sich wahrscheinlich dadurch erklären, daß die besäten Bakterien nicht gleich lebenskräftig oder — was fast dasselbe sagen will — nicht gleich akkommodationsfähig sind. Deshalb kommen unter ungünstigen, durch die höhere Sauerstoffspannung entstandenen Bedingungen nur die kräftigeren Individuen zur Entwicklung. Je mehr die Sauerstoffspannung gesteigert wird, je schwieriger somit die Entwicklungsbedingungen sich gestalten, desto zahlreichere Individuen werden sich nicht zu entwickeln vermögen. Bei einer genügend gesteigerten Sauerstoffspannung kommen nur vereinzelt Pioniere in Betracht, welche dauernd eine ihnen gleichkräftige Nachkommenschaft erzeugen und dadurch das oben beschriebene, eigentümliche Aussehen der Strichkulturen verursachen. Dauert der Versuch zu kurz, so gewinnen diese Kolonien zu geringe Dimensionen, um mit bloßem Auge wahrgenommen zu werden.

Wenn diese Erklärung zutrifft, so können die oben angegebenen Maxima bei genügend langer Versuchsdauer etwas aufwärts verschoben werden. Dann muß man aber für jede Bakterienart je nach den individuellen Unterschieden mehrere maximale Sauerstoffspannungen ermitteln. Wenn, dem gesagten zufolge, die Versuchsdauer eine aufwärts gerichtete Verschiebung der maximalen Sauerstoffspannung zustande bringen kann, so fragt sich, als was die von mir festgestellten Sauerstoffmaxima anzusehen sind? Meine Versuche wurden unter fast gleichen Bedingungen ausgeführt. Die zugelassenen Unterschiede in der Versuchsanordnung sind erwiesenerweise ohne Belang. Dementsprechend dürfen die in diesen Versuchen gefundenen Sauerstoffmaxima als durchschnittliche für die gegebene Zeitdauer angesehen werden. Für kräftigere Individuen jeder Bakterienart würde dieses Maximum zu niedrig sein, für schwächere dagegen ist es vielleicht schon zu hoch. Für die Mehrzahl der Individuen aber ist es richtig getroffen. Demzufolge darf es als ein allgemeines, durchschnittlich auf die gesamte Bakterienart bezügliches wohl angesehen werden.

C. Zusammenstellung der ermittelten Sauerstoffmaxima nebst den daraus zu ziehenden Schlüssen.

Jetzt, nachdem also die oben angedeuteten und besprochenen Versuchsfehlerquellen sich bei der experimentellen Prüfung ohne Belang erwiesen haben, scheint es mir geboten, die oben ermittelten maximalen Sauerstoffspannungen, der Übersichtlichkeit halber, in einer Tabelle zusammenzustellen.

Tabelle XXXII.

Bakterien- resp. Pilzart	Die maximale Sauerstoffspannung liegt zwischen den angegebenen Zahlen. In Atmosphären:
1. Schwefelbakterien Nathansohn	0,676—0,810
2. Bac. β	1,26—2,22
3. Rosa Hefe	1,68—1,94
4. <i>Bac. cyanogenus</i>	1,68—1,94
5. <i>Bact. bruneum</i>	1,68—1,94
6. <i>Phycomyces nitens</i>	1,68—1,94
7. <i>Spirillum volutans</i>	1,68—2,25
8. <i>Bac. pyocyaneus</i>	1,81—2,18
9. <i>Bac. mycoides</i>	1,94—2,18
10. <i>Bac. fluoresc. liquefac.</i>	1,94—2,51
11. <i>Aspergillus niger</i>	1,94—2,51
12. <i>Sarcina lutea</i>	2,51—3,18
13. <i>Vibrio albensis</i>	2,51—3,18
14. <i>Penicillium glaucum</i>	3,22—3,63
15. <i>Mucor stolonifer</i>	3,22—3,63
16. <i>Bac. subtilis</i>	3,18—3,88
17. <i>Proteus vulgaris</i>	3,63—4,35
18. <i>Bac. α</i>	3,88—4,35
19. <i>Bac. δ</i>	3,88—4,35
20. <i>Bact. coli commune</i>	4,09—4,84
21. <i>Bac. prodigiosus</i>	5,45—6,32
22. <i>Bac. intracis</i>	6,79—9,38
23. <i>Micrc. laevolans</i>	9,38— ?
24. <i>Bac. γ</i>	9,38— ?
25. <i>Bac. ε</i>	9,38— ?

Aus der Tabelle XXXII lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

1. Die fettgedruckten Arten sind fakultativ anaerob. Die übrigen, mit Ausnahme des *Bac. pyocyaneus* und *Sp. volutans*, deren

Sauerstoffbedürfnis nicht bekannt ist, gehören zu den Obligataëroben. Vergleicht man die Sauerstoffmaxima der Fakultativanaëroben mit denen der Obligataëroben, so ist wohl ersichtlich, daß die ersteren fast durchweg bedeutend höher als die letzteren liegen. Somit ist die oben besprochene Ansicht Chudjakows, daß die Fakultativanaëroben gegen gesteigerte Sauerstoffspannung empfindlicher als die Obligataëroben seien, endgültig widerlegt.

2. Während bei der gegebenen Sauerstoffspannung einige Mikroorganismen sich ganz vorzüglich entwickeln, bleibt das Wachstum der anderen vollständig aus. Dadurch ist ein neuer Beweis dafür erbracht, daß die Ursache des schädlichen Einflusses der gesteigerten Sauerstoffspannung nur in den Mikroorganismen selber und ihren spezifischen Fähigkeiten liegt.

3. Die verschiedenen Mikroorganismen bieten in bezug auf ihre maximalen Sauerstoffspannungen verschiedene Abstufungen, von den strengsten Obligatanaëroben an, die fast bei Spuren von Sauerstoff absterben, bis zu den Bakterien, die noch bei einer Sauerstoffspannung von ca. 9,5 Atmosphären mäßig gedeihen. Trägt man die maximalen Sauerstoffspannungen verschiedener Mikroorganismen auf der Ordinatenachse ein und ordnet man in derselben Reihenfolge die betreffenden Mikroorganismen auf der Abszissenachse an, so kann man unschwer eine Kurve konstruieren, welche den Verlauf der Empfindlichkeit dieser Organismen gegen gesteigerte Sauerstoffspannung in anschaulicher Weise darstellt. Diese Kurve beginnt unweit von dem Zusammentreffen beider Achsen, und zwar bei einem Punkt oberhalb der Abszissenachse. Dieser Punkt zeigt die Stellung des *Baktridium butyricum* an, dessen obere Sauerstoffgrenze ungefähr bei 0,001 Atm. Sauerstoffdruck liegt. Etwas höher befindet sich *Coltridium butyricum* mit seinem Maximum von ca. 0,003 Atm. O₂. Ihm folgen *Bac. oedematis maligni* und *Bac. tetani* mit ihren höheren Grenzen von ca. 0,005 Atm. O₂. Dann kommt der Rauschbrandbazillus, welcher noch bei 0,01 Atm. Sauerstoffdruck wächst. Diesen von Chudjakow untersuchten Obligatanaëroben schließen sich die Schwefelbakterien Winogradskys an, welche erst bei 0,2 Atmosphären Sauerstoffdruck absterben. Diesen Formen folgen dann die von mir untersuchten Schwefelbakterien Nathansohns mit ihrem Maximum von ca. 0,7 Atmosphären Sauerstoffdruck. Von diesem Punkte an steigt die Kurve immer steiler an bis zum *Bac. ε* mit seinem höher als bei 9,38 Atm. Sauerstoffdruck liegenden Maximum. Abgesehen von der ziemlich

bedeutenden Lücke zwischen dem Rauschbrandbazillus und den Schwefelbakterien Winogradskys hat somit fast jeder Punkt der beschriebenen Kurve zahlreiche Vertreter der bisher untersuchten Mikroorganismen aufzuweisen.

Aus dem Gesagten erhellt, daß jeder Mikroorganismus sich nur bis zu einer spezifisch verschiedenen Sauerstoffgrenze zu entwickeln vermag. Jedoch ist diese Grenze nicht konstant. Zunächst gilt eine solche Grenze nur durchschnittlich für jede Bakterienart. Tatsächlich lassen sich aber im Bereiche jeder Art je nach den ererbten oder erworbenen Eigenschaften verschiedener hierher gehöriger Individuen, wie schon betont wurde, mehrere sozusagen individuelle Sauerstoffmaxima konstatieren. Ferner lassen sich die Mikroorganismen voraussichtlich durch fortgesetzte Kultivierung in Gasgemischen mit allmählich steigender Sauerstoffspannung an etwas höhere Sauerstoffgrenzen akkommodieren. Schließlich hängt die maximale Sauerstoffspannung ganz wesentlich von den Bedingungen des Daseins der Kulturen ab. Dabei kommen verschiedene Faktoren in Betracht, zB. das Alter des Organismus, das Entwicklungsstadium, die Temperatur und insbesondere das Nährmedium. Der letzte Faktor spielt vermutlich die wichtigste Rolle. Schon von vornherein darf es wohl nicht in Abrede gestellt werden, daß die Empfindlichkeit des Organismus gegen die gesteigerte Sauerstoffspannung durch Kultivierung in verschiedenen Nährlösungen sich bedeutend abschwächen läßt. Die experimentelle Verfolgung dieser Abhängigkeit wird vielleicht nähere Aufschlüsse über die Ursache der schädlichen Wirkung der gesteigerten Sauerstoffspannung gewähren. Dadurch aber kann man der kausalen Aufklärung des Atmungsmechanismus näher gebracht werden. In dieser Beziehung bieten die Mikroorganismen, als Formen, welche auf organische Nährsubstrate angewiesen sind, besondere Bequemlichkeiten für die experimentelle Forschung, deren Schwierigkeiten bereits oben angedeutet und besprochen wurden. Leider war es mir des Zeitmangels wegen unmöglich, auf die experimentelle Verfolgung dieser interessanten und überaus wichtigen Frage einzugehen.

Auf Grund des Gesagten ist die hohe Bedeutung des Nährmediums für das Wachstum der Mikroorganismen unter gesteigerter Sauerstoffspannung unverkennbar. Da ich aber in meinen Versuchen nur einen einzigen Nährboden angewendet habe, so fragt es sich, ob daraus nicht etwa ansehnliche Fehler entsprungen seien. Es ist ja immerhin möglich, daß die ermittelten Sauerstoffmaxima

unter Anwendung anderer Nährböden in einigen Fällen beträchtlich höher ausgefallen sein würden. Der Tragweite dieser Versuchsfehlerquelle war und bin ich mir wohl bewußt; aber trotzdem konnte ich nur auf die beschriebene Weise verfahren, denn um vergleichbare Resultate zu erhalten, war ich gezwungen, unter gleichen Bedingungen zu arbeiten. Es waren also entweder ein einziger Nährboden oder mehrere verschiedene für verschiedene Mikroorganismen, aber jedenfalls solche, auf welchen dieselben unter gesteigertem Sauerstoffdruck am besten gedeihen, anzuwenden. Von dem letzteren Verfahren mußte ich jedoch Abstand nehmen, da ich sonst erst die Frage der Bedeutung der Nährlösungen für das Wachstum der benutzten Mikroorganismen unter gesteigertem Sauerstoffdruck detailliert zu erledigen gehabt hätte. Deshalb habe ich nur einen einzigen Nährboden benutzt, und zwar einen der besten unter normalen Bedingungen. Chudjakow hat zwar nachgewiesen, daß der Nährwert der Lösungen sich durch gesteigerte Sauerstoffspannung umkehren läßt, dies gilt aber nur für einige konkrete Fälle. Eine allgemeine Gültigkeit hat diese These nicht. Anderseits kam es mir wesentlich darauf an, möglichst zahlreiche Versuche anzustellen. Dies war aber bei Benutzung von zwei Apparaten nur durch mögliche Verkürzung der Versuchsdauer zu erreichen. Kein Versuch durfte aber eher abgeschlossen werden, als bis die betreffenden Kontrollkulturen kräftig gewachsen waren. Da indessen die Kontrollkulturen sich unter normalen Bedingungen befanden, so mußte ich meinem Zwecke gemäß einen unter normalen Bedingungen guten Nährboden anwenden.

D. Wirkungsweise der maximalen und supramaximalen Sauerstoffspannungen auf pflanzliche Mikroorganismen.

Bei der maximalen und supramaximalen Sauerstoffspannung bleibt jegliche Entwicklung der Mikroorganismen aus. Ob aber dabei der Organismus abgetötet oder nur in seiner Entwicklung gehemmt ist, kann man leicht entscheiden, indem man die betreffenden Kulturen nach dem Abschluß des Versuches unter normale Bedingungen bringt. Die betreffenden Angaben, welche somit die Wirkungsweise der gesteigerten Sauerstoffspannung präzisieren können, befinden sich in den Tabellen I—XXV. Aus diesen ist zu ersehen, daß die abtötende Wirkung der gesteigerten

Sauerstoffspannung nur für die Schwefelbakterien Nathansohns und *Bac. mycoides* konstatiert wurde. Mit *Bac. β* und *Vibrio albensis* wurden widersprechende Resultate erhalten. Die übrigen Arten aber starben, selbst bei Sauerstoffspannungen, welche bedeutend höher als die maximalen lagen, nicht ab, wurden jedoch merklich geschädigt. Die Schädigung gibt sich dadurch kund, daß das Wachstum in den meisten Fällen etwas später anfängt und etwas langsamer verläuft. Zum Beispiel nimmt der Wachstumsgrad, welcher unter normalen Bedingungen in drei Tagen erzielt wird, hier, je nach der Höhe der angewendeten Sauerstoffspannung, vier bis sieben Tage in Anspruch. Ebenso tritt die Farbstoffbildung später und langsamer ein. Augenscheinlich waren für diese Arten entweder die angewendeten Sauerstoffdrucke noch zu niedrig oder die Versuchsdauer war zu kurz. Ich habe daher einen Versuch angestellt, der bei einem möglichst hoch gesteigerten Sauerstoffdruck ca. zwei Wochen fortgesetzt wurde. Für diesen Versuch, dessen Resultate in der Tabelle XXXIII angegeben sind, wurden Arten mit relativ niedrigen Sauerstoffmaxima ausgewählt.

Tabelle XXXIII.

Gesamtdruck 12,69—11,12 Atmosphären.

Sauerstoffspannung 9,09—7,96 „

Versuchsdauer 333³/₄ Stunden.

1. Bakterienart	2. Versuch	3. Kontrolle	4. Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
<i>Bact. bruneum</i>	Kein Wachstum.	Die ganze Oberfläche der Gelatine ist mit einer mächtigen orangefarbenen Auflagerung bedeckt.	Nach 48 Stunden: kein Wachstum. 120 Std.: in einem Röhrrchen vereinzelt Kolonien v. ca. 1/4—1/2 mm Durchmesser. In dem anderen schon nach 96 Stunden gelblicher Strich, ca. 1—1 1/2 mm breit. 168 Std.: das Wachstum im ersten Röhrrchen gleicht dem des zweiten.

(Fortsetzung der Tabelle.)

1.	2.	3.	4.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
<i>Bac. pyocyaneus</i>	Kein Wachstum.	Vollständige Verflüssigung. Reichlich. grün-gelber Farbstoff.	Nach 48 Stunden: kein Wachstum. 96 Std.: halbe Verflüssigung. 168 Std.: vollständige Verflüssigung, kein Farbstoff. 264 Std.: deutlicher Farbstoff, aber ziemlich schwach.
<i>Bac. fluorescens liquefaciens</i>	"	Völlige Verflüssigung. Schwarzbrauner Farbstoff.	Nach 48 Stunden: kein Wachstum. 120 Std.: vollständige Verflüssigung. Farbstoff. 264 Std.: wie in der Kontrolle gefärbt.
<i>Bact. coli commune</i>	"	Die Striche sind massiv und 1 mm breit.	Nach 48 Stunden: die Striche sind ca. $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ mm breit. 120 Std.: wie in der Kontrolle.

Dieser Tabelle zufolge scheinen *Bact. coli commune* fast gar nicht, *Bac. fluorescens liquefaciens* unbedeutend, *Bact. bruneum* und *Bac. pyocyaneus* dagegen ziemlich stark gelitten zu haben. Die in diesem Versuch erzielten Schädigungen sind bedeutend stärker ausgefallen, als die der Tabellen V, VIII und X. Es kann daher kein Zweifel darüber bestehen, daß jeder Organismus durch kombinierte Einwirkung einer genügend hoch gesteigerten und genügend lange fortgesetzten Sauerstoffspannung zum Absterben gebracht werden kann. Wie hoch dieselbe steigen, bzw. einwirken muß, ist in erster Linie von der spezifischen Befähigung verschiedener Mikroorganismen abhängig. Man braucht bloß einerseits der Obligatanaeroben und Schwefelbakterien, andererseits der oben untersuchten Arten zu gedenken. Selbstverständlich sind diese spezifischen Befähigungen keine konstanten Größen. Durch verschiedene äußere Einflüsse lassen sie sich vermutlich in gewissen Grenzen verschieben.

E. Spezifische Empfindlichkeit gegen gesteigerte Sauerstoffspannung.

Überblickt man die Resultate der Tabellen I—XXV, und zwar jene, welche noch bei inframaximaler Sauerstoffspannung erhalten wurden, so ist in einigen Fällen klar gelegt: 1. bis zu welcher Sauerstoffspannung — diese bezeichne ich der Kürze wegen als eine obere Grenze der optimalen Sauerstoffspannung — die ganz normale Entwicklung stattfindet, 2. bei welcher Sauerstoffspannung — diese ist als die Stufe der schädlichen Wirkung der gesteigerten Sauerstoffspannung bezeichnet — die Entwicklung schwächer wird, 3. wie weit die gefundenen Stufen von den betreffenden Maxima, wo jegliche Entwicklung erlischt, entfernt sind.

Die Zahl derartiger Angaben ist begreiflicherweise für die Mikroorganismen mit höheren Sauerstoffmaxima größer. Für einige derjenigen Arten, welche die tieferen Sauerstoffmaxima besitzen, habe ich deshalb noch zwei Versuche ausgeführt. Es wurden bedeutend niedrigere Sauerstoffspannungen angewendet, als in den betreffenden Tabellen angegeben sind. Dadurch war die Möglichkeit gegeben, in der Glasglocke, also ohne Kompression, zu arbeiten, indem die Luft evakuiert und mit einem Sauerstoffgemisch ersetzt wurde¹⁾.

Tabelle XXXIV.

In einer Glasglocke, die ca. 1180 ccm faßt.

Bei dem Abschluß des Versuchs gefunden 88,3% O₂.

Versuchsdauer 89½ Stunden.

1. Bakterienart	2. Versuch	3. Kontrolle
Rosa Hefe	Wie in der Kontrolle.	Die mächtigen rosa gefärbten Striche sind 2—3 mm breit.
<i>Bact. bruneum</i>	desgl.	Die massiven gelblich gefärbten Striche sind ca. 1½—2 mm breit.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Die Striche sind fast wie in der Kontrolle. Farbstoffbildung etwas abgeschwächt.	Die Striche sind ziemlich massiv und ca. 1 mm breit. Die Gelatine ist zum Teil stark gebräunt.
<i>Bac. pyocyaneus</i>	Die Verflüssig. ist nur wenig abgeschwächt. Farbstoff fehlt.	Die Gelatine ist fast gänzlich verflüssigt. Farbstoff.

1) Die Versuchsanordnung ist in dem II. Teil der vorliegenden Arbeit näher beschrieben
Jahrb. f. wiss. Botanik. XLI.

Tabelle XXXV.

Dieselbe Glasglocke.

Sauerstoffgehalt am Ende des Versuches 73,3⁰/₀.

Versuchsdauer 90 Stunden.

1. Bakterienart	2. Versuch	3. Kontrolle
Rosa Hefe.	Wie in der Kontrolle.	Die mächt. rosa gefärbt. Striche sind ca. 2—2 ¹ / ₂ mm breit.
<i>Bact. bruneum</i>	desgl.	Die Striche sind massiv und ca. 1 ¹ / ₂ —2 ¹ / ₂ mm breit.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Die Striche sind in der Regel ¹ / ₃ — ¹ / ₂ mm, stellenweise aber ca. 1 mm breit. Die Dicke der Striche u. die Farbstoffbildg. ist deutlich abgeschwächt.	Die Striche sind ca. 1 mm breit und ziemlich massiv. Die Gelatine ist braun.
<i>Bac. pyocyaneus</i>	ca. ¹ / ₃ der Gelatine verflüssigt. Kein Farbstoff.	Die Gelatine ist fast gänzlich verflüssigt. Farbstoff.

Die Ergebnisse dieser Tabellen sind mit den betreffenden Resultaten der Tabellen I—XXV der Übersichtlichkeit halber in der Tabelle XXXVI zusammengestellt.

Tabelle XXXVI.

1. Mikroorganismenart	2. Noch völlig normales Wachstum bei Sauerstoffdruck von Atmosphären	3. Merklich abgeschwächtes Wachstum bei Atmosphären O ₂	4. Die maximale Sauerstoffspannung in Atmosphären
Schwefelbakt. Nathansohn	0,491	—	0,676—0,810
<i>Bac. cyanogenus</i>	—	0,733	1,68—1,94
Rosa Hefe	0,883	1,26 (Tab. XXVIII)	1,68—1,94
<i>Bact. bruneum</i>	1,46	—	1,68—1,94
<i>Bac. pyocyaneus</i>	—	0,733	1,81—2,18
<i>Bac. mycoides</i>	1,26	—	1,94—2,18
<i>Aspergillus niger</i>	1,26	—	1,94—2,51
<i>Bac. fluoresc. liquefac.</i>	—	1,68	1,94—2,51
<i>Bac. subtilis</i>	—	2,51	3,18—3,88
<i>Proteus vulg.</i>	—	3,22	3,63—4,35
<i>Bac. α</i>	—	2,22	3,88—4,35
<i>Bac. δ</i>	—	2,22	3,88—4,35
<i>Bac. prodigiosus</i>	—	3,85	5,45—6,32
<i>Bac. intracis</i>	2,18	3,25	6,79—9,38
<i>Micr. laevolans</i>	—	2,18	9,38— ?
<i>Bac. γ</i>	—	2,22	9,38— ?
<i>Bac. ε</i>	2,22	3,25	9,38— ?

Die in der Tabelle XXXVI dargelegten Werte dürfen selbstredend nur als annähernde betrachtet werden. Es ist ja leicht möglich, daß die Entwicklung der Mikroorganismen auch bei etwas höheren Sauerstoffspannungen als die in Kolumne 2 angegebenen noch ganz normal verlaufen würde. Andererseits zeigen die in Kolumne 3 verzeichneten Werte, bei welchem Sauerstoffdruck die eben merkliche Abschwächung der normalen Entwicklung erst konstatiert wurde. Diese Abschwächung ist nicht in allen Fällen gleich stark. Bei größerer Zahl der Versuche und bei genauerer Methode der Vergleichung wäre es deshalb wohl möglich, die ermittelten Werte der Kolumne 3 etwas tiefer zu verschieben. Übrigens dürften diese Corrigenda die gefundenen Werte nur unbedeutend modifizieren. Deshalb lassen sich aus der Tabelle XXXVI schon jetzt folgende Schlüsse ziehen.

1. Die oberen Grenzen der optimalen Sauerstoffspannung sind ebenso wie die Stufen der schädlichen Wirkung gesteigerten Sauerstoffdruckes für verschiedene Mikroorganismen spezifisch verschieden.

2. Die oberen Grenzen der optimalen Sauerstoffspannung scheinen nicht von der Höhe des Sauerstoffmaxima abzuhängen. *Bact. bruneum* zB. wächst, während es sein Maximum zwischen 1,68 und 1,94 Atm. Sauerstoffdruck hat, ganz normal noch bei 1,46 Atm. O₂ fort. *Mier. laevolans* dagegen kann trotz seines hohen Maximums von 9,38 Atm. Sauerstoffdruck normal nur bei 2,22 Atm. O₂ gedeihen.

3. Die Stufen der schädlichen Wirkung der gesteigerten Sauerstoffspannung stehen auch in keinem einfachen Verhältnis zu den maximalen Sauerstoffdrücken. *Bac. cyanogenus*, Rosa Hefe und *Bact. bruneum* haben zB. das gleiche Maximum zwischen 1,68 und 1,94 Atm. Sauerstoffdruck, und trotzdem beginnt die Abschwächung in der Entwicklung für *Bac. cyanogenus* schon bei 0,733 Atm., für Rosa Hefe bei 1,26 Atm. und für *Bact. bruneum* höher als bei 1,46 Atm. Sauerstoffdruck. Andererseits liegen die maximalen Sauerstoffspannungen für *Bac. subtilis* und *Bac. prodigiosus* bedeutend tiefer als die des *Mier. laevolans*, und trotzdem sind die Stufen jener höher als diejenige des letzteren.

II. Teil.

Die minimalen Sauerstoffspannungen.

Da die Obligat- und Fakultativanaeroben ihr Sauerstoffminimum bei Null haben, so kommen in diesem Teil der Arbeit, sowohl in historischer als experimenteller Beziehung, nur die Obligataeroben¹⁾ in Betracht.

Historisches.

Wieler²⁾ hat zuerst ausgedehnte Versuche über die Beeinflussung des Wachsens einiger Schimmelpilze durch verminderte Sauerstoffspannung ausgeführt. Er hat gefunden, daß „die Menge Sauerstoff, welche das Wachstum noch zu unterhalten vermag, sehr gering ist.“ Nach ihm befindet sich die Grenze für: 1. *Coprinus lagopus* zwischen 0,09 % und 0,58 % O₂, 2. *Mucor mucedo* bei 0,00029 % O₂, 3. *Phycomyces nitens* zwischen 0,14 % und 0,20 % O₂.

Liborius³⁾ hat die unteren Sauerstoffgrenzen für eine Anzahl Bakterien annähernd bestimmt. Bei der Kultivierung in hohen Gelatineschichten ließen sich die untersuchten Bakterien, je nach der Tiefe, bis zu welcher das Wachstum vorgedrungen war, in folgende Reihenfolge bringen. Am sauerstoffbedürftigsten erwies sich *Bac. aërophilus*. Ihm folgen 2. *Bac. fluor. liquef.*, 3. *Bac. cyanogenus*, 4. *Bac. aquat. fuscus*, 5. *Bac. fuscus*, 6. *Bac. subtilis*. 7. *Sarcina lutea*, 8. Rosa Hefe, 9. *Microc. tetragenus* und 10. *Bac. anthracis*. Bei Anwendung der Wasserstoffdurchleitungsmethode bleibt die Entwicklung der sämtlichen erwähnten Bakterien aus. Bei Anwendung der nicht so genauen, offenbar Spuren von Sauerstoff hinterlassenden Methode der Wasserstoffüberleitung entwickeln sich die ersten acht Arten zwar ebenfalls nicht, *Microc. tetragenus* und *Bac. anthracis* jedoch gedeihen, wenn auch mäßig. In der Wasserstoffatmosphäre befanden sich diese Kulturen 28 bis 30 Tage lang, entwickelten sich jedoch nach Abschluß des Versuches beim Stehenlassen unter normalen Bedingungen in der

1) Die betreffenden, auf höhere Pflanzen bezüglichen Angaben sind bei Wieler (Tübinger Untersuchungen, Bd. I, p. 189—232), Pfeffer (Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Bd. I, p. 551, Bd. II, p. 131—133) und Dude (Flora, 1903, Bd. 92, p. 205—252) zu finden.

2) a. a. O.

3) a. a. O.

Regel schon nach 2—4 Tagen ganz normal. Nur mit *Bac. aquat. fuscus*, Rosa Hefe und *Microc. tetragenus* wurden negative Resultate erhalten.

Winogradsky¹⁾ teilt von den Beggiatoen mit, daß sie bei ungenügender Luftzufuhr absterben. „Die roten Schwefelbakterien bilden, diesem Forscher²⁾ nach, einen sehr merkwürdigen Fall von Organismen, denen der Sauerstoff unentbehrlich ist, die sich aber trotzdem fast wie anaërobiotische Wesen verhalten, da sie nur äußerst geringe Sauerstoffspannungen gut ertragen können.“

Chudjakow³⁾ hat auf quantitativem Wege die Sauerstoffminima für das Wachstum einiger Mikroorganismen ermittelt. *Aspergillus niger*, *Penicillium glaucum* und *Mucor stolonifer* entwickelten sich noch bei 0,13% Sauerstoff, jedoch sehr schwach und langsam. Für *Bac. subtilis* liegt die Grenze zwischen 0,13% und 0,26% Sauerstoff. *Clostridium viscosum* konnte auf Glycerin-Pepton noch bei 0,13% O₂ kümmerlich gedeihen.

Bei Besprechung seiner Versuche hat Chudjakow betont, daß die Obligataëroben sich noch bei jenen Sauerstoffspannungen zu entwickeln vermögen, welche die Obligatanaëroben schon vertragen.

Bei der Ausführung seiner Versuche suchte Chudjakow gleichzeitig festzustellen, ob und wie weit die Beschaffenheit der Nährböden das Wachstum der Mikroorganismen unter vermindertem Sauerstoffdruck beeinflussen kann. Er vermochte nur zu einem allgemeinen Schluß zu gelangen, daß nämlich die Entwicklung der Mikroorganismen bei Sauerstoffmangel in den besseren und zum Teil leicht oxydierbaren Nährlösungen erheblich besser vor sich geht⁴⁾.

Dude⁵⁾ untersuchte die Einwirkung des Sauerstoffentzuges auf Sporen und Vegetativzustände von *Aspergillus niger*. Was *Aspergillus*-Sporen anlangt, so wird je nach der Dauer des Sauerstoffentzuges, „die Auskeimung derselben verzögert, die Mycelbildung entweder anfänglich oder dauernd abgeschwächt, die Sporenbildung hinausgeschoben und die Produktion derselben eingeschränkt“. Der schädliche Einfluß des Sauerstoffentzuges auf

1) Botan. Ztg. 1887, Bd. 45, p. 513—517.

2) Beitr. z. Morph. u. Phys. d. Schwefelbakt. 1888, Heft I, p. 52.

3) a. a. O., p. 101—114.

4) Das oben gesagte (p. 10—11) bezieht sich ebenfalls auf diese Nährversuche Chudjakows.

5) a. a. O.

Vegetativzustände des *Aspergillus* gibt sich dadurch kund, daß „das unterbrochene Wachstum, falls das Mycel nicht abgestorben ist, nicht sogleich wieder aufgenommen wird, sondern, je nach der Länge des Sauerstoffentzuges, nach 1—2¹/₂ Stunden, daß ferner eben gekeimte Sporen empfindlicher als ältere Mycelien sind und daß die jüngsten Zellen zuerst absterben“.

Die Lebensdauer der Vegetativzustände bei Sauerstoffabwesenheit wird wesentlich durch die Beschaffenheit der Nährsubstrate beeinflußt. Dennoch fällt dabei der Sauerstoffreichtum des Nährmaterials nicht ins Gewicht.

Methodisches.

Das methodische Verfahren, welches im I. Teil der Arbeit eingehend beschrieben ist, wurde mutatis mutandis auch im II. Teil gehandhabt.

Die wichtigste Modifikation besteht in der Benutzung der gläsernen Apparate und ist darin begründet, daß in diesem Teil der Arbeit nur mit verminderten Sauerstoffspannungen, also ohne Gaskompression, gearbeitet wurde. Bei dem Anstellen einzelner Versuche wurde folgendermaßen verfahren:

Die eben geimpften Röhrchen wurden auf eine fein geschliffene Glasplatte gebracht und mit einer dickwandigen, tubulierten Glasglocke bedeckt. Der ebenfalls gut geschliffene Rand der Glocke wurde mit Pumpenfett bestrichen und fest an die Glasplatte angepreßt. Um völligen Luftabschluß zu sichern, habe ich den unteren Teil des auf diese Weise beschickten Apparates in der Regel unter Wasser getaucht. Die tubulierte Öffnung der Glocke wurde mit einem Gummistopfen verschlossen, der mit einem rechtwinklig gebogenen Glasrohr versehen war. Das Ende dieses Rohres wurde mittels Gummischläuchen und zwei T-Stücken mit Wasserstoffapparat, Quecksilbermanometer und Wasserluftpumpe verbunden. Die Abbildung und Beschreibung des nach dem Döbereinerschen Prinzip konstruierten Wasserstoffentwicklungsapparates ist bei Pfeffer¹⁾ zu finden. Der Wasserstoff, aus Zink und Schwefelsäure dargestellt, hatte, bevor er in den Apparat mit den Kulturen gelangte, zwei U-Röhren mit KMnO_4 und Alkali²⁾ langsam zu passieren. Um die Luftdiffusion möglichst zu eliminieren, wurden die beiden

1) Tübinger Untersuch. 1885, Bd. I, p. 637.

2) Das heißt, die mit diesen Lösungen durchtränkten Bimsteinstücke wurden in U-Röhren gebracht.

U-Rohre unter Wasser gebracht, die Oberfläche der Schwefelsäure im Wasserstoffentwicklungsapparat aber mit einer ca. 1 cm hohen Schicht Paraffinöl bedeckt. Durch die Wasserluftpumpe wurde es ermöglicht, sowohl den Inhalt des Apparates mit den Kulturen, als auch den der beiden U-Rohre binnen kurzem auf 2—3 mm zu evakuieren. Nachdem der gewünschte Grad der Evakuierung erreicht worden war, stellte ich mittels Quetschhahnes die Pumpe ab und setzte dann den Wasserstoffapparat ¹⁾ vorsichtig in Gang. Das allmähliche Fallen der Quecksilbersäule des Manometers zeigte den Moment an, wann der Druck der Wasserstoffatmosphäre im Rezipient mit den Kulturen dem der Luft gleich war. Dann wurde der Wasserstoffapparat abgestellt. Dieses aus Evakuierung und Wasserstoffzufüllen bestehende Verfahren wurde in der Regel einige Male wiederholt. Dann wurde der Apparat mit den Kulturen mittels Schrauben-Quetschhahnes abgeschlossen und im Wärmezimmer bei 26—28° C. stehen gelassen. Es sei noch bemerkt, daß für hinreichende Feuchtigkeit des Rezipientenraumes stets gesorgt wurde. Nach dem Abschluß des Versuches analysierte ich, um sicher zu sein, daß der Apparat dicht gehalten hatte, das in diesem befindliche Gas. Selbstverständlich konnte ich niemals irgendwelche — wenigstens mit der Hempelschen Methode — nachweisbare Sauerstoffspuren konstatieren. Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabellen niedergelegt. Die Anordnung derselben ist schon oben beschrieben.

Experimentelles.

A. Ermittlung der minimalen Sauerstoffspannungen.

Tabelle XXXVII.

Glasglocke faßt ca. 1100 ccm.

Einmal evakuiert bis auf 2 mm Luft, entsprechend 0,06 ‰.

In der Glocke befindet sich also 0,66 ccm O₂.

Versuchsdauer 138 Stunden.

1.	2.	3.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle
<i>Bac. subtilis</i>	Schwach gewachsen.	Ziemlich schwach (?).
Rosa Hefe	Die Striche sind ca. 1/2 mm breit.	Die Striche sind 2—3 mm breit, rosa gefärbt.

1) Bei den in den Tabellen I, XXXIV und XXXV des I. Teiles mitgeteilten Versuchen wurde statt Wasserstoffs Sauerstoff angewendet.

Tabelle XXXVIII.

Die Glasglocke faßt 2000 ccm.

Einmal evakuiert bis auf 2 mm Luftdruck, entsprechend 0,06 % Sauerstoff.

In der Glocke befindet sich also 1,2 ccm O₂.

Versuchsdauer 159 1/2 Stunden.

1.	2.	3.	4.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen Nach 96 Stunden:
<i>Bac. subtilis</i>	Gänzl. Verflüssigung. Keine Kahmhäute.	Die ganze Gelatine ist verflüssigt. Kahmhäutchen.	—
<i>Vibrio albensis</i>	Die Striche sind zum Teil verflüssigt.	Gänzl. Verflüssigung.	Die Verflüssig. schreitet weiter vor.
<i>Sarcina lutea</i>	Die Striche sind ca. 1/2 mm breit.	Die Striche sind 2 bis 3 mm breit. Farbstoff und Spuren von Verflüssigung.	Wächst weiter fort. Farbstoffbildung.
<i>Bac. fluorescens liquefac.</i>	Die Striche sind ca. 1/2 — 1 1/2 mm breit. Spuren von Verflüssigung.	Gänzl. Verflüssigung. Tiefer grüngelb. Farbstoff. Fluoreszenz.	Wie in der Kontrolle.
<i>Bact. bruneum</i>	Spuren (?) von Wachstum.	Die massiven Striche sind 2—3 mm breit. Farbstoff.	Gutes Wachstum. Farbstoffbildung.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Die Striche sind ca. 1/3—1/2 mm breit. Kein Farbstoff.	Die Striche sind 1 bis 2 mm breit. Gelatine stark gebräunt.	Fast wie in der Kontrolle.

Tabelle XXXIX.

Die Glasglocke faßt 1100 ccm.

Einmal evakuiert bis auf 2 mm Luft, was 0,06 % Sauerstoff entspricht.

In der Glocke befindet sich also 0,66 ccm O₂.

Versuchsdauer 141 1/2 Stunden.

1.	2.	3.	4.
Pilzart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl 2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
<i>Aspergillus niger</i>	Kein Wachstum.	Kräftig. Sporen.	Nach 120 Stunden: Wie in der Kontrolle.
<i>Penicillium glaucum</i>	desgl.	desgl.	desgl.
<i>Mucor stolonifer</i>	desgl.	desgl.	desgl.

Tabelle XL.

Glasglocke faßt 2000 ccm.

Einmal evakuiert bis auf 22 mm Luft, entsprechend 0,66 % O₂.

In der Glocke befindet sich somit 13,2 ccm O₂.

Versuchsdauer 186 ¼ Stunden.

1.	2.	3.	4.
Pilzart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl.2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
<i>Aspergillus niger</i>	Kümmerliches Wachstum. Sporen fehlen.	Kräftig. Sporen.	Nach 120 Stunden: Wie in der Kontrolle.
<i>Penicillium glaucum</i>	Das Wachstum schwach und nur stellenweise.	desgl.	desgl.
<i>Mucor stolonifer</i>	Gutes Wachstum. Keine Sporenbildung.	Kräftiges Wachstum. Sporen.	desgl.
<i>Phycomyces nitens</i>	In einem Röhrchen Spuren von Wachstum.	Kräftig. Sporenbildung.	desgl.

Tabelle XLI.

Die Glasglocke faßt 1100 ccm.

Zweimal evakuiert bis auf 2 mm, was 0,00016 % Sauerstoff entspricht.

In der Glocke befindet sich somit 0,00176 ccm O₂.

Versuchsdauer 190 Stunden.

1.	2.	3.	4.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen Nach 48 Stunden:
<i>Bac. subtilis</i>	Die Striche sind etwas verflüssigt.	Gänzl. Verflüssigung. Kahmhäutchen.	Wie in der Kontrolle.
<i>Bac. cyanogenus</i>	Kein Wachstum.	Die Striche sind solid und 1 mm breit. Farbstoff.	Die Striche sind $\frac{3}{4}$ bis 1 mm breit. Spuren von Farbstoff.
<i>Vibrio albensis</i>	Äußerst schwach. Die Striche sind fast durchsichtig und nur etwas vertieft.	Mäßiges Wachstum. In einem Röhrchen fast gänzl. Verflüssigung, in dem anderen sind nur die Striche verflüssigt.	Fast keine Fortschritte.
<i>Bac. fluoresc. liquefac.</i>	Spuren (?) von Wachstum.	Gänzl. Verflüssigung. Farbstoff.	Wie in der Kontrolle.
Rosa Hefe	Kein Wachstum.	Die mächtigen Striche sind ca. 3—4 mm breit. Rosa.	Die rosa gefärbten Striche sind schon 1 bis $1\frac{1}{2}$ mm breit.
<i>Bact. bruneum</i>	desgl.	Die massiven Striche sind 3—4 mm breit. Farbstoff.	Die schwach gefärbten Striche sind 1 mm breit.
<i>Sarcina lutea</i>	desgl.	Die massiven orangengelben Striche sind ca. $1\frac{1}{2}$ —3 mm breit.	Die schwach gelblichen Striche sind dünn und ca. $\frac{1}{2}$ —2 mm breit.

Auf Grund der angegebenen Tabellen lassen sich für die untersuchten Obligataeroben folgende Sauerstoffminima feststellen.

Tabelle XLII.

Mikroorganismenart	Die minimale Sauerstoffspannung liegt zwischen den angegebenen Zahlen in Vol. % O ₂
1. <i>Bac. subtilis</i>	0—0,00016
2. <i>Vibrio albensis</i>	0—0,00016
3. <i>Bac. fluoresc. liquefac.</i>	bei ca. 0,00016
4. <i>Sarcina lutea</i>	0,00016—0,06
5. <i>Bac. cyanogenus</i>	0,00016—0,06
6. Rosa Hefe	0,00016—0,06
7. <i>Bact. bruneum</i>	bei ca. 0,06
8. <i>Mucor stolonifer</i>	0,06—0,66
9. <i>Aspergillus niger</i>	0,06—0,66
10. <i>Penicillium glaucum</i>	0,06—0,66
11. <i>Phycomyces nitens</i>	bei ca. 0,66

Aus den Tabellen XXXVII—XLI ist deutlich zu ersehen, daß die in den Glocken befindlichen Sauerstoffmengen sehr gering waren, und daß die Versuche ziemlich lange dauerten. Setzt man voraus, daß die Entwicklung unter diesen Umständen noch stattfindet, so wird die ursprüngliche Sauerstoffmenge und Sauerstoffspannung durch Oxydationsprozesse der Mikroorganismen bedeutend herabgesetzt¹⁾. Demzufolge liegen die in der Tabelle XLII angegebenen Werte, bei welchen Wachstumsspuren noch konstatiert wurden, tatsächlich tiefer.

Solche Verschiebungen der gefundenen Werte nach unten sind auch aus anderem Grunde berechtigt.

Wie gesagt, wurden die Versuche ziemlich lange fortgesetzt. Trotzdem ist die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß die ausgebliebene Entwicklung bei noch längerer Versuchsdauer stattgefunden hätte. Um mir darüber ein Urteil zu bilden, von welcher Bedeutung die Versuchsdauer sei, habe ich einen Versuch angestellt und ihn ca. 4 Wochen fortgesetzt. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der Tabelle XLIII wiedergegeben.

Tabelle XLIII.

Glasglocke faßt 1100 ccm.

Dreimal evakuiert bis auf 2 mm, was 0,000 000 42 % Sauerstoff entspricht.

In der Glocke befindet sich also 0,000 004 62 ccm O₂.

Versuchsdauer 696 Stunden.

1.	2.	3.	4.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 2) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
<i>Bact. bruncum</i>	Kein Wachstum.	Die ganze Oberfläche der Gelatine ist mit orangegelber Masse bedeckt.	Nach 24 Stunden: Spuren von Wachstum. 48 Stunden: d. Striche sind 1—1½ mm breit und schwach gefärbt. 144 Stunden: die Striche sind 3 mm breit. Reichlich Farbstoff.

1) Diese Fehlerquelle läßt sich durch Anwendung solcher Apparate eliminieren, welche es gestatten, die einmal hergestellte Sauerstoffspannung auf der konstanten Höhe zu erhalten. Vgl. zB. Schaible (a. a. O.) und Clark (Bot. Ber. 1888, Bd. VI, p. 273—280).

(Fortsetzung der Tabelle.)

1.	2.	3.	1.
Bakterienart	Versuch	Kontrolle	Beim Stehenlassen der Versuchskulturen (vgl. 2.) nach d. Abschluß des Versuchs unter normalen Bedingungen
<i>Bac. pyocyaneus</i>	In einem Röhrchen die halbe, in dem andern die ganze Gelatine verflüssigt. Farbstoff fehlt.	Gänzl. Verflüssigung. Farbstoff.	Nach 144 Stunden: in dem ersten Röhrchen keine Veränderungen; in dem zweiten die obere Hälfte der Gelatine gefärbt.
<i>Bac. fluorescens liquefac.</i>	Gänzl. Verflüssigung. Kein Farbstoff.	Gänzl. Verflüssigung. Schwarzgrüner Farbstoff.	Nach 48 Stunden: ca. die Hälfte der Gelatine ist von oben ab gefärbt. 144 Stunden: Tiefgrüner Farbstoff überall.
<i>Schwefelbakt. Nathansohn</i>	Mäßiges Wachstum.	Gutes Wachstum.	Nach 168 Stunden: Keine merklich. Fortschritte.

Aus dem Verhalten des *Bac. fluoresc. liquefac.* geht hervor, daß eine genügend lang fortgesetzte Versuchsdauer von wesentlicher Bedeutung ist. In der Tabelle XLII ist das Sauerstoffminimum für *Bac. fluor. liquef.* bei ca. 0,00016% Sauerstoff angegeben. Der Tabelle XLIII zufolge muß es aber bis zu 0,00000042% Sauerstoff nach unten verschoben werden. Die Frage, ob eine solche Herabsetzung der unteren Grenze des Wachsens durch individuelle Unterschiede der ausgesäten Bazillen oder durch ihre Akkommodation zu erklären ist, läßt sich nicht ohne weiteres beantworten. Berücksichtigt man die angedeuteten Fehler, welche aus der allmählichen Erniedrigung der ursprünglichen Sauerstoffspannung und aus der kurzen Versuchsdauer entstanden sind, so darf man die in der Tabelle XLII angebrachten Werte nur als annähernde Größen betrachten. Immerhin lassen sich aus dieser Tabelle mit gewisser Sicherheit folgende Schlüsse ziehen:

1. Jeder aërobe Mikroorganismus besitzt sein spezifisches Sauerstoffminimum.

2. Die Sauerstoffminima der Schimmelpilze liegen höher als die der Bakterien.

3. Die unteren Grenzen der meisten Obligataëroben liegen sehr tief und können sicherlich, wie Chudjakow es ganz richtig hervorgehoben hat, schon die Entwicklung der Obligatanaëroben zulassen.

Hier scheint es mir geboten, die maximalen und minimalen Sauerstoffspannungen in einer Tabelle zusammenzustellen.

Tabelle XLIV.

Mikroorganismen	Sauerstoffmaximum in Atmosphären	Sauerstoffminimum in Vol.-%
1. <i>Bac. β</i>	1,26—2,22	0
2. Rosa Hefe	1,68—1,94	0,00016—0,06
3. <i>Bac. cyanogenus</i>	1,68—1,94	0,00016—0,06
4. <i>Bact. bruneum</i>	1,68—1,94	0,06
5. <i>Phycomyces nitens</i>	1,68—1,94	0,66
6. <i>Bac. fluoresc. liquefac.</i>	1,94—2,51	0,00016
7. <i>Aspergillus niger</i>	1,94—2,51	0,06—0,66
8. <i>Sarcina lutea</i>	2,51—3,18	0,00016—0,06
9. <i>Vibrio albensis</i>	2,51—3,18	0—0,00016
10. <i>Penicillium glaucum</i>	3,22—3,63	0,06—0,66
11. <i>Mucor stolonifer</i>	3,22—3,63	0,06—0,66
12. <i>Bac. subtilis</i>	3,18—3,88	0—0,00016
13. <i>Proteus vulgaris</i>	3,63—4,35	0
14. <i>Bac. α</i>	3,88—4,35	0
15. <i>Bac. δ</i>	3,88—4,35	0
16. <i>Bact. coli commune</i>	4,09—4,84	0
17. <i>Bac. prodigiosus</i>	5,45—6,32	0
18. <i>Bac. intracis</i>	6,79—9,38	0
19. <i>Micr. laevolans</i>	9,38— ?	0
20. <i>Bac. γ</i>	9,38— ?	0
21. <i>Bac. ε</i>	9,38— ?	0

Auf Grund der in dieser Tabelle zusammengestellten Tatsachen wollen wir an die Frage nach den Beziehungen zwischen oberer und unterer Sauerstoffgrenze herantreten. In dem historischen Teil erwähnten wir bereits, daß Chudjakow annahm, einer niedrigen unteren müsse auch eine niedrige obere Grenze entsprechen, die Obligataëroben würden also ein höheres Maximum aufweisen als die Fakultativanaëroben, bei denen die untere Grenze auf Null herabreicht.

Ein Blick auf die Tabelle lehrt, daß diese Annahme nicht richtig ist. Unter den untersuchten Formen besitzen gerade fakultativ anaërober Formen die höchsten Maxima, während die aëroben Organismen durchweg relativ niedrige Grenzen aufweisen. Es bestehen also zwischen den Kardinalpunkten keine Beziehungen in Chudjakows Sinne; im Gegenteil, die Spannweite der einzelnen Organismen, der Abstand zwischen oberer und unterer Grenze, ist

ebenso gut wie deren absolute Höhe eine spezifische Eigenschaft. Besonders große Spannweiten besitzen z.B. die fakultativ anaëroben Formen 18—21, während alle untersuchten aëroben sich durch relativ enge Grenzen auszeichnen. Daraus darf man freilich nicht schließen, daß allgemein die fakultativ anaëroben Formen höhere Maxima besitzen als die aëroben: schon *Bazillus β* macht eine Ausnahme, indem er schon bei ca. 2 Atm. O am Wachstum verhindert wird. Noch klarer geht dies aus der Betrachtung der sog. obligat anaëroben Formen hervor, die ja im Grunde nichts anderes sind als fakultativ anaërobe Formen mit besonders niedrigem O-Maximum, also äußerst geringer Spannweite in bezug auf den das Wachstum gestattenden Sauerstoffpartiärdruck. Andererseits wird es sicherlich auch obligat aërobe Formen geben, deren obere Sauerstoffgrenze bei beträchtlicher Höhe liegt, wengleich es auffallen muß, daß die untersuchten sehr verschiedenartigen Formen in bezug auf die relativ niedrige Lage des Maximums sich recht übereinstimmend verhalten.

B. Wirkungsweise der verminderten Sauerstoffspannungen.

Aus den Tabellen XXXVII—XLI und XLIII ist leicht ersichtlich, daß die Entwicklung der Mikroorganismen durch eine genügend stark verminderte Sauerstoffspannung bedeutend abgeschwächt wird. Dabei läßt sich eine interessante und für das Verständnis der Verkettung der Partialfunktionen sehr wichtige Tatsache konstatieren.

Die Partialfunktionen des Organismus verhalten sich nämlich gegen verminderte Sauerstoffspannung sehr ungleich. Zuerst erlischt die Fähigkeit der Farbstoffbildung bei den Bakterien und die der Sporenbildung bei den Schimmelpilzen. Die Wachstumsfähigkeit dagegen läßt sich bei einem bedeutend tiefer liegenden Sauerstoffdruck sistieren. Noch tiefer liegt die Grenze für die Lebensfähigkeit des Organismus. Auf diese Weise hat jede Funktion des Organismus ihre untere Sauerstoffgrenze, wobei für jede Funktion die Aktion und die Potenz zu unterscheiden ist. Die erstere, wie gesagt, kann relativ leicht sistiert werden. Die letztere dagegen ist ungleich resistenter. Wenigstens vermochte ich, wie es aus den obigen Tabellen zu ersehen ist, niemals, gänzlich abgesehen von der Abtötung, eine dauernde Erlöschung partialer Funktionen beim Stehenlassen der Kulturen nach dem Abschluß des Versuches unter

normalen Bedingungen zu konstatieren. Höchstens machte sich eine gewisse Verspätung in dem Auftreten einzelner Funktionen bemerkbar. Demzufolge muß man die subminimalen Sauerstoffspannungen noch längere Zeit einwirken lassen, um die untersuchten Mikroorganismen dauernd zu beschädigen resp. abzutöten.

Alles hier mitgeteilte über das Verhalten einzelner Funktionen der Mikroorganismen gegen verminderte Sauerstoffspannung wurde von mir auch in bezug auf gesteigerten Sauerstoffdruck nachgewiesen.

Zum Schluß möchte ich noch über einige vorläufige Versuche berichten, bei denen ich bestrebt war, folgende Fragen zu beantworten:

Wie weit muß der Sauerstoffgehalt der umgebenden Luft sinken, um das Wachstum von *Phycomyces nitens* 1. zu verlangsamen und 2. zum Stillstande zu bringen?

Phycomyces nitens wurde auf Brotstückchen, welche mit 3proz. Traubenzuckerlösung durchtränkt waren, kultiviert. Nachdem die Sporangien sich gebildet hatten, wurde der Pilz in einen auf oben beschriebene Weise beschickten Apparat (Glasplatte und Glasglocke) gebracht. Die Glasglocke faßte 630 ccm. Die Herabsetzung der Sauerstoffspannung geschah durch Evakuieren, jedoch ohne nachfolgendes Einfüllen von Wasserstoff. Für eine hinreichende Feuchtigkeit innerhalb des Rezipienten wurde immer gesorgt. Die Messung des Zuwachses wurde mittels des horizontalen Mikroskops ausgeführt. Ein Skalenteil des Okulars entspricht 0,02 mm. Die Zuwüchse sind in Skalenteilen angegeben. Die Versuche wurden bei ca. 20° C. angestellt.

Tabelle XLV.
Viertelstündliche Ablesungen.

Gasmedium	Zuwachs in Skalenteilen
Luft	25, 28, 30.
1,4% O ₂	45, 5, 4, 3, 0, 0, 0, 0.

In dieser Verdünnung wurde der Pilz 20 Stunden lang stehen gelassen. Nach Zutritt von Luft findet kein Wachstum statt, wird aber nach ca. 24 Stunden wieder aufgenommen.

Tabelle XLVI.
Viertelstündliche Ablesungen.

Gasmedium	Zuwachs in Skalenteilen
Luft	5, 8, 9, 10, 17.
17,2% O ₂	17, 16, 17, 33, 36.
13,9% O ₂	37, 41.
10,9% O ₂	42, 33, 40.
7% O ₂	42.
3,3% O ₂	27, 27, 24.

Tabelle XLVII.
Viertelstündliche Ablesungen.

Gasmedium	Zuwachs in Skalenteilen
Luft	9 ¹ / ₂ , 12, 14.
9,3% O ₂	18, 19.
6,4% O ₂	20, 22.
4,6% O ₂	20, 17, 20, 22, 21, 22, 21, 21.
2,8% O ₂	8, 7 ¹ / ₂ , 8, 11 ¹ / ₂ , 10.
2% O ₂	6, 10 ¹ / ₂ , 10 ¹ / ₂ .
0,7% O ₂	5, ¹ / ₂ , ¹ / ₂ , 0, 0.

Nach Zutun von Luft findet kein Wachstum statt. Am folgenden Tage wurde Wachstum konstatiert.

Aus diesen Versuchen ergab sich, daß das Wachstum der Sporangienträger von *Phycomyces nitens* bei 3,3%—4,6% O₂ verlangsamt, bei 1,4% bis 2% O₂ dagegen sistiert wird.

Die vorliegende Arbeit wurde im Winter 1903/1904 und im Sommer 1904 im Leipziger Botanischen Institut ausgeführt. Dem Direktor desselben, Herrn Geheimrat Prof. Dr. W. Pfeffer, bin ich für das wohlwollende Entgegenkommen und die wertvollen Ratschläge zum größten Dank verpflichtet.

Leipzig, im Juli 1904.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [41](#)

Autor(en)/Author(s): Porodko Theodor

Artikel/Article: [Studien über den Einfluß der Sauerstoffspannung auf pflanzliche Mikroorganismen. 1-64](#)