

Die Bakterien des Waldbodens

Autor(en): **Düggeli, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **74 (1923)**

Heft 10

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-765753>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

5. Teilung der Lehrpraxis in dem Sinne, daß eine halbjährige bis einjährige Praxis nach dem vierten Studiensemester resp. nach der zweiten Übergangsdiplomprüfung eingeschoben wird.
6. Herbeiziehung der Kommission für die praktische Staatsprüfung zur Schlußdiplomprüfung, bzw. theoretischen Staatsprüfung, in konsultativem Sinne.
7. Errichtung eines geeigneten Lehrreviers.

Die Bakterien des Waldbodens.¹

Von Prof. Dr. M. Düggele, Zürich.

Der Anfang und das Ende des Kreislaufes unserer Stoffe in der Natur liegen im Boden. Dem Leben, das wir in seinen mannigfaltigen Erscheinungen und Formen auf dem Boden bewundern, entspricht ein ebenso reiches Leben im Bodeninnern. Während aber das Leben auf dem Boden vorwiegend durch aufbauende Prozesse gekennzeichnet ist, betätigen sich die Lebewesen im Boden vorherrschend mit Abbauvorgängen. Die grüne Pflanze, die an der Erdoberfläche wächst, vermag aus Wasser, Mineralstoffen und dem Kohlendioxyd der Luft, unter Zuhilfenahme der Energie der Sonnenstrahlen, jene mannigfaltigen Stoffe zu produzieren, welche den Körper der höhern Gewächse bilden. Die erdrückende Mehrzahl der Lebewesen, die im Boden ihr Dasein fristen, verzehren und zersetzen jene Stoffe, die nach dem Tode der Tiere und der Pflanzen dem Schoß der Mutter Erde überantwortet werden.

Unsere Böden sind eine eigentliche Brutstätte für zahlreiche Mikroorganismen. Diese unentbehrlichen Zersetzungs Vorgänge, die sich in den Böden abspielen, sind vorherrschend an die Lebenstätigkeit der sich hier vorfindenden, einfach gebauten Organismen gebunden. Die meist mikroskopisch kleinen Bodenbewohner rekrutieren sich aus niedrig organisierten Tieren und Pflanzen. Sie umfassen Protozoen, Algen, Fadenpilze und Bakterien.

Die Bedeutung der Tätigkeit der Mikroorganismen für die Produktion pflanzlicher Substanz geht aus folgender Überlegung hervor. Die von uns mit Recht so hoch eingeschätzte Fruchtbarkeit eines Bodens wird bedingt durch die beiden Faktoren Reichtum und Tätigkeit. Dabei verstehen wir unter Reichtum des Bodens den Gesamtvorrat an Substanzen, welche für die Ernährung der höheren Gewächse bedeutungsvoll sind. Die chemische Analyse des Bodens gibt uns Anhaltspunkte über diese erste Bedingung für die Fruchtbarkeit. Unter der Tätigkeit verstehen wir die Gesamtheit jener Vorgänge, welche die im Boden ent-

¹ Nach einem im forstlichen Vortragszyklus am 5. März 1923 gehaltenen Vortrage.

haltenen Stoffe, also den Reichtum, der Pflanze zugänglich machen, ihn gewissermaßen vermitteln. Die Prüfung des Bodens auf vorhandene Mikroorganismen, speziell auf anwesende Bakterien oder Spaltpilze gibt uns Anhaltspunkte über diese zweite Bedingung für die Bodenfruchtbarkeit. Die Fruchtbarkeit eines Bodens wird deshalb nicht nur bedingt durch seine chemischen und physikalischen, sondern ebenso sehr durch seine biologischen Eigenschaften. Von der Bedeutung der rastlosen Tätigkeit dieser Mikroflora können wir uns ein Bild machen, wenn wir diese niedern Lebewesen durch Gifte vernichten — ein mehr oder weniger beträchtlicher Ernteausfall wird die Antwort auf diesen Eingriff in die Lebewelt des Bodens sein.

Die Bedeutung der Tätigkeit der Bodenorganismen ist dem Forstmann auch aus seiner praktischen Erfahrung zur Genüge bekannt. Die Pflanzenreste, die in Form von Laubblättern, Nadeln, Zweigen, abgestoßener Borke oder in anderer Form auf die Oberfläche des Waldbodens gelangen, müssen eine Zersetzung erfahren. Diese Reste sind als solche keine direkt verwendbaren Pflanzennährstoffe, sondern erst durch den einsetzenden Abbau werden erneut verwendungsfähige Verbindungen gebildet. Findet diese wünschenswerte Zersetzung nicht innert nützlicher Frist statt, so entsteht eine schädlich wirkende Anhäufung von Pflanzen- und Tierresten. Ist die Tätigkeit der Mikroorganismen durch natürliche oder durch künstlich vom Menschen herbeigeführte Umstände gehemmt, ja vielleicht gänzlich unterbunden oder wird die Zersetzung der Stoffe in abnormale Bahnen gedrängt, dann entstehen ruinös wirkende Anhäufungen organischer Stoffe. Von solchen fatalen Bildungen sei hier nur die in der Forstwirtschaft gefürchtete Entstehung von *Rohhumus* erwähnt.

An Hand solcher Überlegungen machen wir uns ein richtiges Bild von der Bedeutung der Tätigkeit dieser Lebewesen des Bodens. Wären diese Organismen nicht ständig an der Arbeit, so müßte die Erdoberfläche schon längst ein großes Leichenfeld darstellen, auf welchem die Nachkommen früherer Generationen infolge Mangel an Platz und passenden Nährstoffen ein wenig beneidenswertes Dasein fristen würden, sofern ihre Existenz nicht gänzlich verunmöglicht wäre. Durch die rastlose Arbeit der niedern Lebewesen des Bodens, die weder den Achtstunden- noch den Feiertag kennen, die auch nicht ferienbedürftig sind, werden die Tier- und Pflanzenreste normalerweise vorweg beseitigt und die darin enthaltenen Stoffe dem Kreislauf wieder zugeführt.

Unter den bodenbewohnenden Mikroorganismen sind, wie wir noch vernehmen werden, die Bakterien zwar die kleinsten, bekannten Lebewesen, dabei aber die zahlreichsten. Dank ihrer sehr bescheidenen Dimensionen besitzen sie im Verhältnis zum Zellinhalt eine bedeutende *Körperoberfläche*, ein Umstand, der für die rasche Durchführung chemischer Prozesse von großer Bedeutung ist. Ausgeführte Versuche ergaben, daß

ein Gewichtsteil lebende Bakterienmasse innerhalb weniger Stunden das Hundert- bis Tausendfache des eigenen Körpergewichtes an Harnstoff, an Zucker und andern Stoffen umzusetzen vermag. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ist es verständlich, daß die winzigen Bakterien im Boden unter den Mikroorganismen die Hauptrolle spielen.

Wie aus den spätern Angaben ersichtlich ist, können in fruchtbaren Böden nicht selten zehn Millionen Bakterien pro Gramm feuchte Erde nachgewiesen werden. Bei der Berücksichtigung solcher Zahlen machen wir uns leicht die falsche Vorstellung, daß ein wesentlicher Teil des Bodens aus Bakterien bestehe. Wir müssen dann aber beim direkten mikroskopischen Betrachten eines solchen bakterienreichen Bodens, trotz Inanspruchnahme von tausendfacher und noch stärkerer Vergrößerung zu unserm Erstaunen feststellen, daß neben den übrigen Bodenbestandteilen nur vereinzelte Spaltpilze sichtbar werden. Dieser scheinbare Widerspruch, daß trotz hohen Bakteriengehaltes beim Mikroskopieren des Bodens nur wenige Spaltpilze zu sehen sind, ist durch die kaum vorstellbare Winzigkeit der Bakterien erklärlich. Wir wollen versuchen, an einem Beispiele die Verhältnisse klarzulegen.

Angenommen, der Boden eines freudig wachsenden Laubwaldes enthalte pro Gramm feuchte Substanz zehn Millionen Bakterien. Wir wollen fernerhin voraussetzen, daß die Bakterienzellen im Durchschnitt einem Würfel von $\frac{1}{1000}$ mm Kantenlänge entsprechen, eine Annahme, die der Wirklichkeit einigermaßen nahe kommen dürfte. Es hätten unter dieser Voraussetzung bezüglich Körpergröße eine Milliarde Bakterienzellen in einem Würfel von einem Kubikmillimeter Platz. Die zehn Millionen Bakterien pro Gramm Boden würden also in einem Hundertstel Kubikmillimeter Unterkunft finden. Ein Gramm feuchter Boden beansprucht ungefähr 300 Kubikmillimeter Platz. Es besteht das zehn Millionen Bakterien enthaltende Gramm Boden aus 29 999 Volumteilen Boden und nur einem Volumteil Bakterien.

Ähnlich gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir statt der Volum- die Gewichtsverhältnisse von Boden und darin reichlich enthaltenen Spaltpilzen in Rechnung stellen. Auch diese Beziehungen sollen an einem Beispiele erörtert werden. Angenommen, eine Laubwalderde enthalte bis zu 30 cm Tiefe einen durchschnittlichen Bakteriengehalt von zehn Millionen pro Gramm feuchten Bodens. Das Gewicht dieser 30 cm mächtigen Bodenschicht dürfen wir pro Suchart auf 1 700 000 kg schätzen. Nehmen wir an, daß 1000 Millionen Bakterien rund ein Milligramm wiegen, so wäre das Gewicht der pro Suchart Laubwalderde sich vorfindenden Bakterien auf rund 34 kg pro 1 700 000 kg Erde zu schätzen. Bei Berücksichtigung solcher Verhältniszahlen ist es verständlich, daß beim direkten Mikroskopieren des Bodens die Bakterien nicht in Masse zu sehen sind, auch dann nicht, wenn ihre Zahl eine sehr stattliche ist.

Die gründliche Erforschung der Bakterienflora des Bodens als des einen die Fruchtbarkeit bedingenden Faktors, ist für die Wissenschaft wie für die Praxis gleich nutzbringend.

Was für Methoden stehen uns heute zur Verfügung, um die Bakterienflora eines Bodens studieren zu können? Da muß leider gesagt werden, daß die heutigen bakteriologischen Untersuchungsmethoden nicht gestatten, einen sichern und erschöpfenden Einblick in den Fruchtbarkeitsgrad eines vorliegenden Bodens zu gewinnen. Drei verschiedene Wege können eingeschlagen werden, um die im Boden enthaltenen Mikroorganismen in ihrer Lebenstätigkeit zu verfolgen, nämlich: Das direkte Mikroskopieren, die mehrfache chemische Analyse der unter bestimmten Verhältnissen gehaltenen Bodenproben und das Kulturverfahren. Unter diesen drei Methoden gebe ich der letzten den Vorzug, obwohl zuzugeben ist, daß auch die zweite Methode wertvolle Resultate ergeben kann.

Das direkte Mikroskopieren des Bodens wird unbefriedigende Resultate geben müssen, da, wie wir oben ausführten, auch in einem bakterienreichen Boden die Spaltpilze nur einen verschwindend kleinen Bruchteil des Gesamtvolumens des Bodens ausmachen. Beim Mikroskopieren des in sterilem Wasser aufgeschwemmten Bodens stören die toten Bodenbestandteile anorganischer und organischer Natur, so daß bei der Anwendung starker Vergrößerungen auch in bakteriologisch verschieden zusammengesetzten Böden mikroskopisch kaum nennenswerte Unterschiede feststellbar sind. Zudem können wir mit Hilfe des Mikroskopes nur die Form der im Boden vorhandenen Bakterien konstatieren, ohne über ihre Lebens-eigentümlichkeiten Anhaltspunkte zu gewinnen. Es ist aber für die Spaltpilze charakteristisch, daß sie morphologisch sehr einfach und einförmig gebaut sind, trotzdem aber in ihrer Biologie große Unterschiede zeigen. Das Mikroskopieren führt deshalb günstigsten Falles zur Feststellung, daß im Boden kugelige, zylindrische oder schraubenförmige Spaltpilze mehr oder weniger reichlich vertreten seien; über ihre Lebenstätigkeit, die praktisch das Maßgebende darstellt, erfahren wir aber nichts. Jeder, der sich mit der Mikroflora des Bodens beschäftigt, weiß aber schon längst, daß unter den Bodenbakterien die zylindrischen Formen die weit vorherrschenden sind.

Bedeutend besser ist der zweite erwähnte Weg, die mehrfache chemische Analyse der unter bestimmten Verhältnissen gehaltenen Bodenproben, um einen Einblick in die Tätigkeit der Mikroflora eines Bodens zu erhalten. Wir geben bestimmte Mengen des zu untersuchenden Bodens in Nährlösungen von bekannter Zusammensetzung und stellen die chemischen Veränderungen, welche die Nährflüssigkeit unter dem Einfluß der Mikroflora des Bodens erleidet, quantitativ fest. Auf diese Weise wird beispielsweise die sogenannte Fäulnis-kraft eines Bodens festgestellt. Eine

Nährlösung mit bekanntem Peptongehalt wird in genau abgemessenen Mengen in eine Serie von Erlenmeyerkölbchen abgefüllt, dort mit einer bestimmten Menge des zu prüfenden Bodens versetzt und dann in den Brutschrank zu solchen Temperaturgraden gegeben, welche für die peptonzerlegenden Mikroorganismen des Bodens günstig sind. Die mit dem eingespikten Boden in die Nährlösung gelangenden peptonabbauenden Spaltpilze werden ihre Tätigkeit entfalten und mit der Überführung des Peptons in Ammoniakverbindungen beginnen. Unterwerfen wir die Versuchskölbchen nach bestimmten Zeitintervallen der Prüfung auf Ammoniakverbindungen, so erhalten wir einen Einblick in die sogenannte Fäulnis- kraft des Bodens. Entsprechend können wir auf andere bakteriologische „Kräfte“ des Bodens prüfen, indem wir andere Nährlösungen und Versuchsbedingungen in den Dienst der bakteriologischen Bodenuntersuchung stellen. Bei den so erhaltenen Untersuchungsergebnissen ist aber zu beachten, daß sie nicht unter den natürlichen Verhältnissen des Bodens gewonnen wurden, sondern unter den ausgewählten künstlichen Versuchsbedingungen. Aus diesem Grunde sind die gewonnenen Prüfungsergebnisse nur mit Vorbehalt für die richtige Einschätzung der wirklichen bakteriologischen Eigentümlichkeiten unseres Bodens verwendbar.

Um die Mikroflora eines Bodens zu studieren, können wir ein drittes Verfahren anwenden, die Kulturmethode. Wir stellen bei dieser Untersuchungsmethode den Bakterien passende feste und flüssige Nährsubstrate zur Verfügung, auf oder in denen sie sich entwickeln können. Je nach dem eingeschlagenen Vorgehen halten wir bei der Kulturmethode auseinander: Das Verdünnungsverfahren und die elektive Methode. Da die später angeführten, bei verschiedenen Böden gefundenen bakteriologischen Verhältnisse mit Hilfe der Kulturmethode eruiert wurden, so wollen wir das Verdünnungsverfahren und die elektive Methode in ihren Grundlagen kurz beschreiben.

Beim Verdünnungsverfahren, das in der Bakteriologie zur Bestimmung der Keimmengen in den zu untersuchenden Stoffen oft Verwendung findet, wird eine bestimmte Menge der zu prüfenden Substanz, in unserm Falle einige Gramm Boden, abgewogen und mit einer bestimmten Menge sterilisierten Wassers solange bearbeitet, bis eine gut durchmischte Emulsion vorliegt. In manchen Laboratorien wird zu diesem Zwecke die Erde mit Wasser in einem geräumigen sterilisierten Glaskolben kräftig geschüttelt, während in andern ein Zerreiben im ausflambierten Tiegel, unter Zuhilfenahme von sterilisiertem Wasser, bevorzugt wird. Um Zufälligkeiten zu vermeiden, ist es empfehlenswert, nicht zu kleine, sondern größere Erdmengen in den Dienst der bakteriologischen Untersuchung zu stellen. Um zuverlässige Resultate zu erhalten, wird die zu untersuchende Erde mittelst Spatel auf dem Felde in Form eines Zylinders von ungefähr 10 cm Durchmesser und 15 cm Höhe enthoben,

in Pergamentpapier gehüllt und bald nach der Probeentnahme im Laboratorium der Untersuchung unterworfen. Durch Verdünnung dieser Erdemulsion mit bestimmten Mengen sterilen Wassers erhält man im Kubikzentimeter Erdaufschwemmung dezimal abgestufte Erdmengen (z. B. $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{10\ 000}$ usw. Gramm Boden), die in passende Nährsubstrate gebracht werden können. Diese Nährsubstrate sind bei Zimmertemperatur entweder fest, gehören mithin zu den eigentlichen Nährböden, wie z. B. die vielverwendeten Gelatine- und Agar-Nährböden oder sie sind dauernd flüssig, das sind die Nährflüssigkeiten.

Bevor die Nährböden mit Erdemulsion von bestimmter Konzentration versetzt werden können, müssen wir sie vorübergehend flüssig machen, was durch Einstellen in ein Warmwasserbad von 30° bei Gelatinesubstraten und durch Siedetemperatur bei Agarnährböden erreicht werden kann. Bei letztern ist vor dem Zufügen der Erdemulsionen ein Abkühlen auf $40-42^{\circ}$ C notwendig, um die eingesäeten Bakterienzellen durch die hohe Temperatur nicht zu schädigen. Die passend erscheinenden Erdemulsionen (bei der Untersuchung von Waldböden wählt man $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{10\ 000}$ und $\frac{1}{100\ 000}$ g Erde) werden mittelst steriler Pipette entweder in das in Reagensgläsern enthaltene Nährsubstrat (Gelatine oder Agar) gebracht und dann in sterile Petrischalen gegossen oder in bereit gehaltene sterilisierte Glasdosen, sogenannte Petrischalen gegeben und dann das Nährsubstrat zugefügt. In beiden Fällen muß der Nährboden mit der zugefügten Erdemulsion gründlich vermischt werden. Dies ist unerlässlich, damit die Bakterienzellen im Nährsubstrat gleichmäßige Verteilung erfahren. Durch Stellen der beschickten Petrischale auf eine kalte Unterlage (meist verwendet man einen sogenannten Plattengießapparat) wird der mit Erdemulsion versetzte und vermischte, noch flüssige Nährboden zum Erstarran gebracht. Durch das Erstarran werden die Bakterienzellen im Nährsubstrat fixiert und werden sich, sofern ihnen geeignete Existenzbedingungen geboten sind, vermehren. Der einzelne, mit der Erdemulsion ausgesäete Keim bildet meist nach zwei bis sieben Tagen auf dem festen Nährsubstrat eine Kolonie. Aus der Zahl und der Art der angegangenen Kolonien können wir Rückschlüsse ziehen auf die Zahl und die Art der Bakterien in der eingesäeten Erdmenge.

Auf diese Weise werden die später angeführten Keimmengen, die als „auf Gelatineplatten wachsend“ und „auf Agarplatten gedeihend“ bezeichnet werden, festgestellt. Es ist einleuchtend, daß durch dieses Anlegen von Gelatine- und Agarplattenkulturen oder Gußkulturen von Nährgelatine und Nähragar, wie sie auch genannt werden, noch nicht alle im Boden vorkommenden Bakterien nachweisbar sind. Nur jene Arten, die auf diesen Kulturen ihr Auskommen finden, werden zur Koloniebildung schreiten und entsprechend zum Nachweis gelangen, also diejenigen, die sich beim Luftzutritt, bei der Zimmertemperatur der Gelatine-

platten oder bei den 30° der Agarkulturen auf den Substraten Nährgelatine bzw. Nähragar zu entwickeln vermögen. Um auch den ausschließlich oder mit Vorliebe bei Luftabschluß gedeihenden Bakterienarten des Bodens Gelegenheit zum Wachstum zu bieten, werden sogen. hohe Schichtkulturen von Zuckeragar angelegt, wobei das mit Bakterien infizierte Nährsubstrat nicht in dünner Schicht, wie bei der Plattenkultur, sondern in Zylinderform erstarrt und so den Bakterien Gelegenheit bietet, bei 37° anaërobes Wachstum zu entfalten.

Einfacher als die Verwendung von Nährböden gestaltet sich die Anwendung von Nährflüssigkeiten mit verschiedener chemischer Zusammensetzung. Wir bringen die geeignet erscheinenden Bodenemulsionen mittelst steriler Pipetten in die vielfach in Reagiergläser oder in Erlenmeyerkölbchen eingeschlossenen sterilisierten Nährlösungen und stellen zu günstigen Temperaturgraden. Die eingimpften Bakterien bedingen in den Nährflüssigkeiten vielfach charakteristische Veränderungen, aus denen die Zugehörigkeit der tätigen Spaltpilze zu bestimmten physiologischen Gruppen oft erkennbar ist.

Das Prinzip der elektiven Kultur besteht darin, daß in einem bunten Bakteriengemisch, wie es der Erdboden enthält, entweder eine einzige oder doch nur wenige Bakterienarten von ähnlicher physiologischer Tätigkeit nachgewiesen werden. Es gelingt dies durch die Anwendung solcher Züchtungsbedingungen, welche die gewünschte Spezies in dem Maße begünstigen und bevorzugen, wie die andern unerwünschten begleitenden Arten benachteiligt werden. Dadurch wird die eine nachzuweisende Art oder Gruppe dominierend und vollführt vielfach charakteristische Umsetzungen. Auf solchen Anhäufungsversuchen baut sich ein großer Teil unserer Kenntnisse über die im Boden vorkommenden und in charakteristischer Weise tätigen Arten von Mikroorganismen auf.

Die Kombination der Verdünnungsmethode mit der elektiven Kultur erlaubt sowohl in einem Boden die Arten, wie die annähernden Mengen der bekannten, ihn bewohnenden Spaltpilze festzustellen. Die Resultate werden um so zuverlässiger sein, eine je größere Zahl elektiv wirkender Nährsubstrate wir verwenden und dabei bestrebt sind, durch mehrere parallele Kontrolluntersuchungen Zufälligkeiten möglichst auszuschalten. Durch die chemische Untersuchung der angegangenen Kulturen lassen sich außerdem Anhaltspunkte über die Leistungsfähigkeit der Bodenbewohner gewinnen. Dieser Umstand ist für die Wirksamkeit der im Boden vorhandenen Mikroorganismen bedeutungsvoll, da erfahrungsgemäß diese Leistungsfähigkeit ganz bedeutenden Schwankungen unterworfen ist.

Diese von mir ausgearbeitete und schon oft verwendete bakteriologische Untersuchungsmethode gewährt hübsche Einblicke in das vielseitige Bakterienleben unserer Böden. Wir werden uns von vornherein darüber

klar sein, daß die Bakterienflora eines Bodens sehr artenreich ist, da eine Ansammlung von Zersetzungs- und Umsetzungsprozessen ausgelöst werden muß und die Lebensbedingungen innerhalb Jahresfrist starken Veränderungen unterworfen sind. Vergleichen wir die Mikroflora solcher Böden, die mit verschiedenen Kulturpflanzen bestellt sind und deshalb in Bearbeitung und Düngung große Differenzen zeigen, oder ziehen wir zum Vergleich verschiedene Bodentypen heran, so werden wir nicht erstaunt sein, hinsichtlich Zahl und Art der bodenbewohnenden Bakterien bedeutende Unterschiede feststellen zu können.

Die Kombination der Verdünnungsmethode mit der elektiven Kultur sei im folgenden skizziert. Um mich kurz fassen zu können, verweise ich auf die später angeführten Tabellen 2 und 3. Diese Übersichten enthalten die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung von 10 Bodenproben aus verschiedenen Nadelholz- und 9 Bodenproben aus Laubholzbeständen. Sie wurde im Januar/Februar 1923 ausgeführt. Auf die erzielten Resultate werde ich später eintreten.

Da für die Entwicklung der Bakterien im Boden die Korngröße der Bodenbestandteile schon aus dem Grunde wichtig sein dürfte, weil die Durchlüftungs- und Wärmeverhältnisse, sowie der Wasserhaushalt des Bodens davon maßgebend beeinflusst werden, so wurden die Bodenproben der bekannten Schlämm-Methode oder dem Spülverfahren von Kopecký unterworfen. Der lufttrocken gemachte Boden wird durch ein Sieb von 2 mm Maschenweite gegeben und dadurch der Gehalt an Feinerde einerseits und derjenige an Steinen und Pflanzen-, sowie Tierresten anderseits bestimmt. 50 g Feinerde werden mit Wasser gekocht und nach längerem Stehenlassen in den Spülapparat von Kopecký gegeben. Dieser Apparat besteht aus drei miteinander verbundenen Glaszylindern mit verschiedenem Durchmesser, die von einem Wasserstrom von bestimmtem, gleichbleibendem Druck durchflossen werden. Durch diese spülende Tätigkeit des Wassers wird die Feinerde in vier Fraktionen von verschiedener Korngröße zerlegt. Im engsten Glaszylinder bleiben die Bodenbestandteile von 0,1—0,2 mm Durchmesser liegen; im mittleren Zylinder sammeln sich dagegen die Bodenteile von 0,05—0,1 mm Korngröße. Im weitesten Glasgefäß werden jene Bodenkonstituenten angehäuft, die 0,01—0,05 mm Durchmesser aufweisen, während die Fragmente unter 0,01 mm Korngröße fortgespült werden. Unter Zuhilfenahme des Schlämmapparates von Kopecký läßt sich also der Gehalt des Bodens an Steinen und an den vier Kopeckýschen Fraktionen (Korngrößen unter 0,01, 0,01—0,05, 0,05—0,1 und 0,1—0,2 mm) bestimmen.¹ Die bei 10 Nadelwald- und 9 Laubwaldböden erzielten Resultate sind in Tabelle 1 (siehe hinten) zusammengestellt.

¹ Näheres siehe in: Kopecký, Die Bodenuntersuchung zum Zwecke der Drainagearbeiten, Prag 1901.

In den die bakteriologischen Untersuchungsergebnisse enthaltenden Tabellen 2 und 3 ist die erste Kolonne überschrieben mit: Reaktion, Wasser-, Kalk- und Humusgehalt, sowie Spaltpilzgruppen. Von dem Gedanken ausgehend, daß die Mikroflora des Bodens wesentlich beeinflusst werde von der Reaktion und vom Wasser-, Kalk- und Humusgehalt, bestimmte ich von jeder zu untersuchenden Erdprobe diese vier Größen.

Die erste Zeile gibt Anhaltspunkte über die Reaktion der Bodenprobe, bestimmt nach der Methode Hasenbäumer.¹ Wer je Bakterien zu züchten versuchte, weiß, welche wichtige Rolle die Reaktion der Umgebung in der Entwicklung der Spaltpilze spielt. Die erdrückende Mehrzahl der bekannt gewordenen Spaltpilzarten bevorzugt neutrale oder schwach alkalische Reaktionen im Entwicklungsmaterial. Bescheiden ist die Zahl der Spezies, welche saure Reaktion gut ertragen oder gar verlangen.

Zum Feststellen des Wassergehaltes in Prozent der feuchten Erde wird eine zirka 100 g betragende Menge frischen Bodens in eine abgewogene Papierdüte gegeben und bis zum Erzielen konstanten Gewichtes über konzentrierter Schwefelsäure aufbewahrt. Der erhaltene Gewichtsverlust läßt den Wassergehalt leicht berechnen. Die Bestimmung des Wassergehaltes in den bakteriologisch zu charakterisierenden Böden läßt sich schon aus dem Grunde nicht umgehen, da diese Größe in kürzester Zeit starken Schwankungen unterworfen ist. Es werden deshalb die in verschiedenen Bodentypen nachgewiesenen Bakterienmengen vielfach zu Vergleichszwecken auf das Gramm trockenen Bodens umgerechnet.

Den prozentualen Gehalt an kohlensaurem Kalk bestimme ich so, daß 5—10 g lufttrockene, pulverisierte Erde im Erlenneyerkölbchen mit verdünnter Salzsäure behandelt, bei Vorhandensein von Kalziumkarbonat einen Gewichtsverlust erleiden, da Kohlendioxid entweicht. Die Höhe dieses Gewichtsverlustes läßt die prozentuale Menge des vorhandenen kohlensauren Kalkes im Boden berechnen. (Näheres siehe: A. Nowacki, Praktische Bodenkunde, Band 81 der Chaerbibliothek, 5. Auflage, Parey, Berlin, 1910, S. 136—139).

Der Humusgehalt des Bodens ist für das Leben vieler Bodenbewohnender Mikroorganismen von größter Bedeutung. Der Humus als Gesamtheit aller pflanzlichen und tierischen Reste, die im Boden in Abbau begriffen sind, ist besonders wichtig für die saprophytisch lebenden Spaltpilze. Die kompliziert zusammengesetzten Stoffe sind für diese Arten als Nährstoff- und Energielieferanten wichtig. Aber auch andere Bakterienarten werden in ihrer Entwicklung durch den Humusgehalt wesentlich beeinflusst. Zur Bestimmung des Humusgehaltes im Boden wurde

¹ Hasenbäumer, J.: Die Bestimmung des Säuregrades bezw. der Reaktion der Kulturböden. „Deutsche Landwirtschaftliche Presse“, Jahrg. 48, 1921, Nr. 35, S. 268.

eine nur Annäherungswerte liefernde Methode verwendet, da sich aus dem beim Glühen des Bodens eintretenden Gewichtsverlust unter Berücksichtigung des Gehaltes an kohlensaurem Kalk und Ton der annähernde Humusgehalt berechnen läßt.

Was die bakteriologische Untersuchung selbst betrifft,¹ so werden sowohl quantitative Gußkulturen mit Nährgelatine bei 20°, wie mit Nähragar bei 30° angelegt, die den Gehalt des Bodens an den auf Gelatine- und Agarplatten wachsenden Keimen anzugeben erlauben. Es handelt sich dabei meistens um saprophytisch lebende Spaltpilzarten, die sich lebhaft an der Zersetzung organischer Stoffe beteiligen. Die mit den Gußkulturen von Nährgelatine und Nähragar erhältlichen Resultate sind keineswegs identisch. Wohl sind die Luftzutrittsverhältnisse bei beiden Kulturen die nämlichen; aber schon die verschiedenen Züchtungstemperaturen (20 und 30°), wie namentlich die verschiedenen Ernährungsverhältnisse, welche die beiden Substrate bieten, lassen auf den Kulturen vielfach verschiedene Spaltpilzarten zur Entwicklung gelangen. Eine Reihe von Bodenbakterien vermögen sich sowohl auf den Gelatine- wie auf den Agarplatten zu entwickeln und es ist Sache des Untersuchenden, durch Vergleich der Kulturen, durch Mikroskopieren und Weiterimpfen festzustellen, inwiefern sich die beiden Kulturarten im richtigen Einschätzen der Mikroflora ergänzen. Bei diesen Arbeiten wirkt auf den Gußkulturen von Agar oft das Vermögen einzelner Spaltpilzarten, durch intensives Wachstum einen bedeutenden Teil der Nährbodenoberfläche für sich zu beanspruchen, stark störend. Infolge des Wucherns einiger weniger Kolonien auf der Agaroberfläche werden die andern, sich langsamer entwickelnden Keime hintangehalten oder es wird ihr Wachstum gänzlich verunmöglicht, wenn die rasch wachsende Art eine antagonistische Wirkung auszuüben vermag. Unter diesen rasch sich entwickelnden Spezies ist der *Bacillus mesentericus* ein häufiger Vertreter.

Auf den Gelatine-Gußkulturen, die mit Bodenemulsion beschriftet wurden, entwickeln sich regelmäßig peptonisierende Kolonien, welche das Nährsubstrat mehr oder weniger rasch verflüssigen und dadurch den langsam wachsenden Arten die Entwicklung zu makroskopisch sichtbar werdenden Kolonien verunmöglichen. In der Behandlung mit Silbernitrat haben wir zwar ein Mittel, um solch lästig werdende Arten nach erfolgter Bestimmung zu vernichten. Aber öfters kommt es vor, daß die rasch verflüssigenden Kolonien zu spät entdeckt werden und schon nicht mehr gut zu machenden Schaden stifteten. Von solchen, die Gelatine rasch verflüssi-

¹ Die anlässlich des Vortrages vorgewiesenen zahlreichen Bakterienkulturen, welche die Vielseitigkeit der von den Spaltpilzen des Bodens eingeleiteten und durchgeführten Vorgänge demonstrierten, eignen sich für die Reproduktion nicht gut und würden die Publikationskosten stark erhöhen. Ich will deshalb versuchen, im Text die Tätigkeit der verschiedenen Bakteriengruppen zu charakterisieren.

genden Bodenbakterienarten sind zu erwähnen: *Bacillus megatherium*, *Bac. mesentericus*, *Bacterium fluorescens*, *Bact. proteus* u. a.

Um anaëroben, also luftscheuen Bodenbakterien das Wachstum zu ermöglichen, werden quantitativ gehaltene Zuckeragar hohe Schicht-Kulturen nach Burri angelegt. Das Nährsubstrat Zuckeragar wird nach erfolgtem Impfen mit Bodenemulsion in eine dickwandige, sterile Röhre, die unten durch einen Gummistopfen verschlossen ist, gegeben. Da der Zuckeragar in zylindrischer Schicht erstarrt, so bietet er in seinem Innern luftscheuen Mikroorganismen Gelegenheit zur Entwicklung, da der Luftsaurestoff nur in die oberflächlichen Partien einzudringen vermag. Es erweist sich als angezeigt, zum Anlegen der hohen Schicht-Kultur zuckerhaltigen Agar zu verwenden, da bei der anaëroben Lebensweise der Bakterien spannkraftreiche Stoffe, die leicht abgebaut werden können, zur Verfügung stehen müssen. So wird von vielen Anaëroben der Trauben- und der Milchzucker des Zuckeragars in organische Säuren zerlegt, mit oder ohne Abspaltung von Gas. Die Zersetzung der Stoffe geht bei den Lebensprozessen, die sich beim Fernbleiben des Luftsaurestoffes abspielen, nicht so weit, wie bei den aëroben, unter Sauerstoffzutritt durchgeführten Lebensvorgängen, bei denen aus den zerlegten Stoffen schließlich Kohlendioxyd, Wasser und Ammoniakverbindungen entstehen. Die bei 37° gehaltenen hohen Schichtkulturen gestatten manchen luftscheuen Bodenkeimen, die auf den Plattenkulturen nicht zu gedeihen vermögen, die Koloniebildung.

Ein großer Teil der in der hohen Schichtkultur wachsenden Bakterien vermag auf der Plattenkultur zufolge des dort herrschenden guten Sauerstoffzutrittes nicht zu gedeihen und muß zum Resultat der Plattenkultur gezählt werden, um der Gesamtzahl der im Boden nachweisbaren Spaltpilze näher zu kommen. Aber es gibt auch eine Reihe von Arten, die sowohl auf den Platten- wie in den hohen Schichtkulturen zur Koloniebildung zu schreiten vermögen.

Nach meinen Erfahrungen geht aber nur ein bescheidener und dabei stark wechselnder Prozentsatz der tatsächlich im Boden vorkommenden anaëroben Spaltpilzarten in der hohen Schichtkultur zur Koloniebildung an und wird dadurch nachweisbar. So lassen sich im Boden die anaëroben Buttersäurebazillen meist nur in bescheidener Menge mittelst Zuckeragar hoher Schichtkultur feststellen, während die Kultur in anaërob verschlossener Milch, auf die wir später noch zu sprechen kommen werden, weit höhere Zahlen im gleichen Boden nachweisen läßt. Dieser befremdende Befund dürfte auf den Umstand zurückzuführen sein, daß die, wie alle Bakterien, im kapillar festgehaltenen Bodenwasser sich aufhaltenden anaëroben Buttersäurebazillen nicht in der Lage sind, unter den gänzlich veränderten Lebensbedingungen des Zuckeragars zur Koloniebildung zu schreiten, während die Entwicklung in anaërob verschlossener Milch auf

wesentlich geringere Schwierigkeiten stößt. Wir dürfen also nicht hoffen, mit der hohen Schichtkultur von Zuckeragar einen erschöpfenden Einblick in die Gesamtheit der luftscheuen Bodenbewohner zu erhalten.

Der Umstand, daß sich im Boden obligat anaérobe Bakterienarten, also solche Spezies, die nur bei Sauerstoffabschluß gedeihen können, nachweisen lassen, muß Befremden erregen. Das in unsern Böden sich vorfindende Gasgemisch ist zwar erfahrungsgemäß ärmer an Sauerstoff als die atmosphärische Luft, enthält aber in normalen Böden den Sauerstoff immer in wechselndem Prozentsatz. Es erscheint deshalb unwahrscheinlich, daß streng sauerstoffscheue Mikroorganismen im Boden ihr Dasein fristen können. Der Gedanke, die obligat anaeroben Bakterienarten seien im Boden nicht so empfindlich auf Sauerstoff, wie sie dies beim wissenschaftlichen Experiment dokumentieren, hat denn auch Anhänger gefunden. Wenn wir uns das Leben der Bakterien im Wasser der Bodenkapillaren vergegenwärtigen, so spricht kein Befund dagegen, daß in den einzelnen Bodenporen die sauerstoffliebenden Arten an der Peripherie den zutretenden Sauerstoff für sich beanspruchen, während im Innern der Kapillare für die Anaeroben günstige Existenzbedingungen geboten sind. Es wären also, um dies bildlich auszudrücken, die Anaeroben in der mit Flüssigkeit gefüllten Bodenpore von einer Leibgarde sauerstoffbedürftiger Arten umgeben. (Fortsetzung folgt.)

Über die Anpassung der Betriebseinrichtung an die heutigen waldbaulichen Verhältnisse.

Vortrag, gehalten anlässlich des forstlichen Fortbildungskurses in Zürich,
am 8. März 1923, von Prof. Dr. Hermann Rnuhel.

(Fortsetzung.)

IV.

Welches sind nun die Eigentümlichkeiten, Vor- und Nachteile eines auch für den ungleichaltrigen Wald passenden Einrichtungsverfahrens?

Zunächst ist darauf hinzuweisen, daß wir mit der Aufgabe des Bestandes als Taxationseinheit auf die Kenntnis einer Reihe von Durchschnittswerten verzichten müssen, welche bisher zur Charakterisierung des Waldes dienen konnten. Dr. Flury macht hierauf eindringlich aufmerksam, indem er sagt,¹ daß wir von den gleichalterigen Beständen, infolge direkter Ermittlung oder Vergleichung mit den Ertragstafeln, den Entwicklungsgang nach Höhe, Stärke, Stammzahl, Holzvorrat in verschiedenen Altersstufen, die Größe des laufenden und durchschnittlichen Zuwachses, die Vertretung der Altersklassen einer ganzen Betriebsklasse und deren

¹ „Allg. Forst- und Jagd-Zeitung“, 1922, S. 221.