

Die Bodenkunde auf chemisch-physikalischer Grundlage

Fleischer, Moritz

Berlin, 1922

§ 55. Einfluß lebender und abgestorbener Pflanzen auf die Bodenbildung.
Bodenbakterien

[urn:nbn:de:hbz:466:1-78696](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:466:1-78696)

nicht auf diese vereinzelten Vorkommnisse, sie spielt vielmehr bei der Entstehung aller Bodenarten eine wichtige Rolle.

§ 55.

Einfluß lebender und abgestorbener Pflanzen auf die Bodenbildung.

Bodenbakterien. Alle Pflanzen bedürfen zu ihrer Ernährung gewisser Mineralstoffe, die wir als Bestandteile der die Erdrinde bildenden Gesteine kennen gelernt haben, und ferner sind ihnen Wasser, Stickstoff und Kohlenstoff nötig. Wasser, Stickstoff und Kohlenstoff sind die vornehmsten Bildner des verbrennlichen („organischen“) Teils der Pflanzenmasse. In unerschöpflichen Mengen bietet die Atmosphäre für alle Pflanzen leicht aufnehmbares Wasser. Der in ihr gleichfalls reichlich vorhandene Kohlenstoff ist mit Sauerstoff zu Kohlendioxyd (CO_2) verbunden. Aber die höher organisierten, Blattgrün (Chlorophyll) enthaltenden Pflanzen besitzen die Fähigkeit, das Kohlendioxyd der Luft in ihren chlorophyllhaltigen Zellen mit Hilfe des Sonnenlichtes zu spalten und dessen Kohlenstoff zum Aufbau ihres Körpers zu benutzen. Einige von ihnen, die Schmetterlingsblütler (Papilionaceen), vermögen auch, wie dies zuerst Hellriegel nachgewiesen hat, mit Hilfe kleinster Lebewesen („Bacterium radicieola“, „Rhizobium“, „Azotobakter“), die sich in ihren Wurzeln in eigentümlichen Anschwellungen (Wurzelknöllchen) ansiedeln, den freien Stickstoff der atmosphärischen bzw. der Bodenluft zur Bildung ihrer stickstoffhaltigen Bestandteile zu verwerten. (Weiteres darüber unter Bodenbakterien im zweiten Teil dieses Paragraphen.) Den übrigen höheren Pflanzen geht diese Fähigkeit ganz oder doch so weit ab, daß sie zu ihrer normalen Ernährung des Vorhandenseins von Stickstoffverbindungen bedürfen. Abgesehen von den verhältnismäßig geringen Mengen von Stickstoffverbindungen, die sich bei den früher erörterten Naturvorgängen (§ 29) bilden, stand aber zu der Zeit, in der auf der erkalteten Erdoberfläche das Wachstum von Pflanzen möglich wurde, den letzteren nur der ungebundene Stickstoff der Luft zur Verfügung. Dem Wachstum höherer Pflanzen, die wie die Schmetterlingsblütler den freien Luftstickstoff sich anzueignen vermögen, war der ihrer Wurzelentwicklung ungünstige Zustand der harten Steinmassen hinderlich. Es konnten darauf naturgemäß nur höchst anspruchslose pflanzliche Organismen gedeihen, die zugleich die Fähigkeit besitzen, den zum Aufbau ihres Körpers nötigen Stickstoff und Kohlenstoff der atmosphärischen Luft zu entnehmen. Daß es derartige Organismen gibt, hat die Forschung der Neuzeit zweifellos dargetan. Es sind Bakterien („Spaltpilze“), denen das kaum verwitterte Gestein genügende mineralische Nahrung bietet, und die aus dem freien Stickstoff und dem Kohlendioxyd der Luft ihren Bedarf an Kohlenstoff und Stickstoff zu decken imstande sind. Mit ihren ab-

gestorbenen Leibern ließen sie Stickstoffverbindungen zurück, die auch höheren, auf die Aufnahme gebundenen Stickstoffs angewiesenen Pflanzen die Ansiedelung ermöglichten und die durch ihre Lebenstätigkeit eine nicht unbeträchtliche gesteinzersetzende und dadurch bodenbildende Wirkung ausübten. Dieser Vorgang läßt sich noch heutzutage vielfach auf fast unverwittertem Fels beobachten. Zunächst sind es die anspruchslosen Pflanzen, Algen, Flechten, die das Gestein beziehen, Feuchtigkeit zurückhalten und so, im Verein mit der immer vorhandenen Kohlensäure, den Verwitterungsprozeß beschleunigen und den Boden für das Wachstum immer anspruchsvollerer Gewächse vorbereiten. Die Pflanzenwurzeln in ihrem Bestreben, Nahrung aus dem Boden zu saugen, verzweigen sich über das Gestein, dringen in jedes noch so feine Spältchen und umklammern die entstandenen Gesteinsbrocken. Durch die von ihnen ausgeschiedene Kohlensäure befördern sie die Verwitterung der Mineralien, mit denen sie in Berührung kommen, und durch eigentümliche Vorgänge, die man als *diosmotische* oder als *Diffusion* bezeichnet, wirkt in gleicher Richtung der in ihren Zellen eingeschlossene saure Wurzelsaft. Gerade die feinsten, besonders dicht an die Gesteinspartikel sich anlegenden Wurzelenden pflegen reich an organischen Säuren: Oxalsäure, Weinsäure, Zitronensäure u. a., zu sein. Diese sind sowohl im Zelleninhalt als auch in der Zellhaut durchsetzenden Flüssigkeit gelöst und imstande, durch die Zellwandung hindurch auf die mit ihr in innige Berührung kommenden Gesteinselemente zersetzend und lösend einzuwirken. Die so entstandene Lösung mineralischer Stoffe „diffundiert“ durch die Zellhaut hindurch in die Wurzelzellen und dient zur Versorgung der Pflanzen mit mineralischen Nährstoffen¹⁾.

Auch *mechanisch* können die in die Gesteinsspalten eindringenden, an Umfang immer mehr zunehmenden Pflanzenwurzeln auf die Zertrümmerung des Gesteins hinwirken, indem sie die Erweiterung der Risse befördern, den Zusammenhang lockern und so den zersetzenden Agenzien: Luft, Wasser und Kohlensäure, den Weg bahnen²⁾.

Auf der anderen Seite kann das natürliche Pflanzenwachstum einer weiteren Zerstörung der zertrümmerten Felsmassen dadurch vorbeugen, daß es deren Verschwemmung durch das Wasser hindert. Die den Boden beziehenden und mit ihren Wurzeln festigenden Moose, Gräser und Wald-

¹⁾ Vgl. hiermit auch die Bemerkungen über „Physiologisch saure“ Salze in § 34.

²⁾ Mit wie unwiderstehlicher Gewalt die Ausdehnung wachsenden Holzes erfolgt, ließ eine Beobachtung auf dem Garnisonsfriedhof in Hannover erkennen. Ein großer Sandsteinblock, der mit eisernen Klammern an eine Grabstätte befestigt war, wurde durch eine wachsende Birke unter Sprengung der Klammern beiseite gerückt.

bäume mildern die zerstörende Kraft des auffallenden Regens und schützen das bereits entstandene Erdreich gegen den seitlichen Stoß des zuströmenden Wassers.

Schon in den früheren Ausführungen ist mehrfach auf jene kleinen Lebewesen Bezug genommen worden, die man gewöhnlich als *Bakterien* bezeichnet. Die Forschungen auf dem Gebiet der Bakterienkunde lassen immer klarer die gewaltige Bedeutung dieser kleinsten Geschöpfe für zahlreiche Vorgänge in der Natur hervortreten, die man früher vornehmlich als chemische Kraftäußerungen anzusprechen gewohnt war. Auch bei der Bodenbildung und Umformung spielen sie offenbar eine wichtige Rolle. Insbesondere die von Hellriegel nachgewiesene Beteiligung von Bodenbakterien an der Ernährung der hülsenfrüchtigen Gewächse hat in neuerer Zeit der Untersuchung der Bodenbakterien und ihrer Bedeutung für Bodenbildung und Bodenkultur lebhaftes Interesse zugewendet und manche aussichtsreichen Ergebnisse gefördert. Immerhin darf nicht verschwiegen werden, daß die Bodenbakteriologie als Wissenschaft noch in den Kinderschuhen steckt und ihre Entwicklung noch weit zurücksteht hinter den Fortschritten der medizinisch-hygienischen Bakteriologie.

Abgesehen von Ursachen mehr äußerer Art sind dafür besonders die Schwierigkeiten verantwortlich zu machen, die sich der Erkennung und scharfen Kennzeichnung der einzelnen im Boden tätigen Mikroorganismen entgegenstellen sowie die Veränderlichkeit, die die Bakterienflora in einem Boden schon bei geringfügigen Veränderungen des letzteren aufweist, und die Leichtigkeit, mit der die einzelne Bakterienart beim Eintritt in andere Lebensbedingungen ihre Eigenschaften und Lebensäußerungen zu verändern scheint¹⁾.

Bakterien (Spaltpilze oder Schizomycetes), der Gruppe der Thalluspflanzen (Thallophyten) unter den kryptogamischen Gewächsen angehörig, sind einzellige oder fadenförmige chlorophyllfreie Pflanzengestalten von winziger Größe — der größte Coccus (s. u.) hat einen Durchmesser von etwa $2 \mu = \frac{2}{1000}$ mm. Ihre einfachste Form tritt in kugelrunden Zellen als „Kokken“ auf. „Stäbchen“formen bezeichnet man als „Bacillus“, Stäbchenzellen mit schwachschaubigen Krümmungen als „Vibrio“, stärker gekrümmte als „Spirillum“, gerade Zellflächen als „Leptothrix“, korkzieherartig gekrümmte Zellfäden als „Spirochaete“. Die Bakterien vermehren sich durch Zweiteilung der Zellen. Ihre die Erhaltung der Art sichernde Verbreitung geschieht wie bei allen Kryptogamen durch Sporen, kleine, aus der Mutterzelle sich abteilende selbständige Lebewesen, die

¹⁾ Weiteres darüber bei Dr. H. Fischer (s. Literaturnachweis).

bei Gegenwart geeigneter Nährstoffe und bei zusagender Temperatur keimen. Der Keim bildet sich wieder zum Bakterium aus.

Trotz der sehr geringen Unterschiede in ihrer Gestaltung weichen die verschiedenen Bakterienarten in ihrer Lebensweise und in ihren Lebensäußerungen außerordentlich stark voneinander ab.

So sicher der Zusammenhang zwischen dem Eintritt zahlreicher natürlicher Vorgänge und der Tätigkeit bestimmter Bakterien nachgewiesen ist, so rätselhaft ist vorläufig noch die Art und Weise, wie diese Wirkungen zustande kommen. Ubrigens sind es nicht nur Lebensäußerungen der Bakterienzelle welche auf die Umgebung verändernd einwirken können. Auch an sich leblose Bestandteile des Zellinhalts, sogenannte „ungeformte Enzyme“, können nach ihrem Austritt aus der Zelle Zersetzung oder Verbindungen fremder Körper hervorrufen, mit denen sie in Berührung kommen, und zwar ohne daß sie selbst dabei merkbare Veränderungen erleiden.

Die meisten Bakterien bedürfen der Anwesenheit von Sauerstoff („aerobe“ B.), andere können ohne Sauerstoff auskommen („fakultativ anaerobe“ B.), einige Arten gedeihen nur bei Abwesenheit von Sauerstoff („obligat anaerobe“ B.). Die Anwesenheit größerer Mengen von Kalk scheint die Tätigkeit aller Bakterien zu erhöhen und für die meisten Voraussetzung für ihre gedeihliche Entwicklung zu sein.

Gegen Frost scheinen die meisten Bakterien unempfindlich zu sein, manche, wie z. B. die wichtigen, den Luftstickstoff in Pflanzenstickstoff überführenden, müssen vor längerer Belichtung geschützt werden.

Auch der übrigen, den höheren Pflanzen nötigen mineralischen Nährstoffe können die Bakterien nicht entbehren. Während jene fast durchweg den zum Aufbau ihres Leibes nötigen Kohlenstoff dem Kohlendioxyd („Kohlensäure“) der Atmosphäre entnehmen, bedürfen die meisten Bakterien der Zufuhr organischer Stoffe zu ihrer Ernährung. Hinsichtlich ihres Stickstoffbedürfnisses verhalten sie sich sehr verschieden (s. u.).

Nach A. Fischer (s. Literaturnachweis) lassen sich die Bakterien hinsichtlich ihrer Lebensweise in drei biologische Gruppen zerlegen. Die eine, die „prototrophen“ Bakterien, vermag ganz oder teilweise ohne organische Nahrung zu gedeihen¹⁾, die beiden anderen, die „metatrophen“ und die „paratrophen“ Bakterien, sind nicht fähig, aus anorganischen Stoffen ihren Leib aufzubauen und daher zu ihrer Ernährung auf bereits gebildete organische Stoffe pflanzlicher oder tierischer Herkunft angewiesen. Die metatrophe, die Mehrzahl der Bakterien umfassende Gruppe,

¹⁾ Sie verhalten sich also nach dieser Richtung hin wie die höheren, Blattgrün enthaltenden Pflanzen, die gleichfalls fähig sind, das Kohlendioxyd der Luft zu spalten und daraus den zur Bildung der organischen Körpermasse nötigen Kohlenstoff zu entnehmen (s. o.).

lebt sowohl in der freien Natur als auf der inneren Oberfläche des tierischen und menschlichen Körpers. Ein Teil von ihnen ruft Gärungsprozesse her vor („zymogene“ B.), andere sind Erreger der Fäulnis („sapogene“ B.), noch andere verhalten sich je nach den vorhandenen Lebensbedingungen verschieden.

Die paratrophischen Bakterien gedeihen nur innerhalb lebender Organismen oder doch nur unter Bedingungen, die den Verhältnissen im lebenden Körper nachgebildet sind.

Alle Böden¹⁾ enthalten zahlreiche Bakterien teils als ruhende Keime, teils in lebhafter Vegetation. Für die Bodenbildung und die Bodenkultur beanspruchen die folgenden Bakterien eine besondere Bedeutung:

Die *Schwefelbakterien* (Thiobakterien), den prototrophen Bakterien (s. o.) zugehörig, finden sich an Orten, wo Schwefelwasserstoff auftritt. Sie führen die Oxydation dieses Gases unter Abscheidung von freiem Schwefel herbei.

Eisenbakterien („Ferrobakterien“), gleichfalls prototrophe Bakterienarten, wirken unter Abscheidung von Ferrihydroxyd oxydierend auf Lösungen von saurem Ferrokarbonat ein (s. S. 44). Übrigens legen manche Forscher dieser Mitwirkung an der Entstehung von Eisenockerablagerungen nur eine untergeordnete Bedeutung bei.

Von hervorragender Wichtigkeit sind die Bakterien, welche den *Bodenstickstoff* beeinflussen.

Viele sapogene (s. o.) Bakterien wirken zersetzend auf organische, an sich nicht zur Pflanzenernährung taugliche Stickstoffverbindungen tierischer oder pflanzlicher Herkunft ein, so namentlich auf Eiweißstoffe und ferner auf den Harnstoff der tierischen Ausscheidungen unter Bildung von *Ammoniak* oder Ammonverbindungen, andere, und zwar prototrope, dabei natürlich aerobe Bakterien oxydieren den Ammonstickstoff zu *salpetriger Säure*²⁾ („Nitritbakterien“: *Nitrosococcus* und *Nitrosomonas*), und eine weitere Oxydation der salpetrigen Säure zu *Salpetersäure*, der für die Pflanzenernährung wichtigsten Stickstoffverbindung, wird durch die Nitratbakterien (*Nitrobacter*) herbeigeführt („Nitrifikation“)³⁾.

¹⁾ Der ursprüngliche Reichtum an Bakterien scheint von der Bodenart abhängig zu sein. So wurden beispielsweise bei annähernden Zählungen in 1 g Sandboden 380 000, in 1 g Lehm Boden 500 000 Einheiten gefunden. Des weiteren wird Zahl und Artenmenge beeinflußt durch die Behandlung des Bodens (Kalkung, Düngung, Lockerung, Entwässerung usw.).

²⁾ Salpetrige Säure (HNO_2) kann unter anderem durch Sauerstoffentziehung (Reduktion) aus Salpetersäure (HNO_3) entstehen. Ihre Salze („Nitrite“) sind im Gegensatz zu den Nitraten Pflanzengifte.

³⁾ Ob die Ansicht mancher Forscher, daß bei diesem bedeutsamen Vorgang ein Teil des Ammonstickstoffs durch Verflüchtigung oder durch Festlegung in organischen Verbindungen für die Pflanzenernährung verloren gehe oder minder-

Noch andere Bakterien vermögen den freien Stickstoff der atmosphärischen und der Bodenluft in Stickstoffverbindungen überzuführen. Von diesen leben die Bakterien der Wurzelknöllchen der Schmetterlingsblütler, Azotobakter, *Bacillus radicicola* oder *Rhizobium radicicola*, in gegenseitigem Parasitismus (Symbiose) mit den hülsenfrüchtigen Gewächsen. Sie beziehen von ihnen die nötigen stickstofffreien Nährstoffe (in der ersten Zeit nach ihrer Einwanderung in die Wurzeln jener Pflanzen vielleicht auch Stickstoffnahrung), versorgen dann aber durch ihre Fähigkeit, den freien Stickstoff der Luft zu assimilieren, die „Wirtspflanze“ mit Stickstoffverbindungen¹⁾.

Umstritten ist die Frage, ob die Stickstoffversorgung von Nichtleguminosen gleichfalls durch Bodenbakterien in nennenswertem Maße gefördert werden kann. Nach den bisherigen Untersuchungen ist das Vorkommen freilebender Bakterien nicht ausgeschlossen, die den Boden mit Stickstoffverbindungen anreichern. Auch scheint sich durch Heranzucht solcher Bakterienarten, die den angebauten Pflanzen gut angepaßt sind, und durch geeignete Ernährung ihre Wirkung nicht unwesentlich erhöhen zu lassen.

„Denitrifizierende Bakterien“. Neben den die Stickstoffversorgung der Pflanzen begünstigenden Lebewesen finden sich im Boden Bakterienarten,

wertig werde, und daß sich hierdurch die vielfach beobachtete Minderwirkung des Ammonstickstoffs gegenüber dem Salpeterstickstoff erkläre, zu Recht besteht, ist noch nicht erwiesen. Vielleicht sind für die letzteren in vielen Fällen Umstände verantwortlich zu machen, die der Nitrifikation entgegenwirken. So scheinen die Salpeterbakterien außerordentlich empfindlich gegenüber dem Wasservorrat des Bodens zu sein. Schloßing der Jüngere fand, daß von dem Stickstoff eines und desselben Bodens unter sonst gleichen Verhältnissen bei einem Bodenwassergehalt von

$$\begin{array}{ll} 9,5 \% : & 2,7 \% \\ 10,6 \% : & 80,0 \% \\ 11,5-14,0 \% : & 100,0 \% \end{array}$$

in Salpeterstickstoff übergingen.

1) Die in die Wurzelknöllchen eingewanderten Bakterien scheinen zunächst eine Umwandlung in „Bakteroiden“ zu erleiden, bevor sie fähig werden, den freien Luftstickstoff in Stickstoffverbindungen überzuführen. Diese Umwandlung scheint durch die Anwesenheit leicht löslicher Stickstoffverbindungen im Boden beschleunigt zu werden.

Böden, denen jene Bakterien fehlen, kann man sie nach Salfeld durch Aufbringen geringer Mengen von Erde aus leguminosenwüchsigen Äckern („Bodenimpfung“) oder nach Nobbe und Hiltner von Reinkulturen des *Bacillus radicicola* („Nitragin“ oder „Azotogen“) einverleiben (Entgegen der früheren Annahme, wonach jede der verschiedenen Pazilionaceenarten eines besonderen Bakteriums zur Bindung des atmosphärischen Stickstoffs bedürfe, neigt man jetzt der Ansicht zu, daß ein und dieselbe Bakterienart bei allen Schmetterlingsblüttern die gewünschte Wirkung ausübe, wenn sie sich deren Eigenschaften erst angepaßt habe).

die sie erheblich beeinträchtigen. Sie scheinen vornehmlich den anaeroben Arten anzugehören, da ihre Wirkungen besonders stark in schlecht entwässerten, ungenügend durchlüfteten Böden hervortreten. Diese bestehen darin, daß sie entweder die salpetersauren Salze unter Abspaltung freien Stickstoffs zerlegen oder die Salpetersäure zu salpetriger Säure reduzieren („Denitrifikation“) oder sie in eiweißartige, für die Kulturpflanzen nicht aufnehmbaren Stoffe umwandeln. Auch die Entwicklung dieser Unholde wird durch die Anwesenheit reichlicher Kalkmengen im Boden sehr gefördert.

Schließlich mag noch bemerkt werden, daß nicht nur Bakterien, sondern auch zahlreiche andere kleine Lebewesen, wie Algen, Fadenpilze, Protozoen, Rotatorien u. a., an den besprochenen Bodenvorgängen sowie auch an der später zu erörternden Erscheinung der „Bodengare“ beteiligt sind¹⁾.

Einfluß abgestorbener Pflanzen auf die Bodenbildung. Von größter Bedeutung für die Entstehung des Bodens sind ferner die Veränderungen, welche die Pflanzen nach ihrem Tode erleiden, und die Wirkung, die sie auf das umgebende Gestein ausüben.

§ 56.

Verwesung. Unter natürlichen Verhältnissen unterliegen die Bestandteile abgestorbener Pflanzen einer fortdauernden Umwandlung. Äußerlich spricht sie sich in der Zerstörung der Pflanzenfarben und der pflanzlichen Formen aus. Eingeleitet wird sie wahrscheinlich stets durch die Lebensaktivität von niederen Lebewesen, darunter besonders von Bakterien (s. o.), deren Art auch auf den Verlauf und die Endprodukte des Zersetzungsvorganges von Einfluß ist. Beteiligt sich der *Sauerstoff* der Luft in hervorragendem Grade an dem Zersetzungsvorgange, so bezeichnet man diesen als *Verwesung*. Vom chemischen Standpunkt ist die Verwesung als ein Oxydationsprozeß, eine langsame Verbrennung anzusehen, wobei, unter Aufnahme von Sauerstoff, schließlich aller Kohlenstoff der organischen Pflanzenbestandteile in Kohlendioxyd und aller Wasserstoff in Wasser sich umsetzt, also die einfachen Verbindungen zurückgebildet werden, aus denen die lebende Pflanze die verwickelt zusammengesetzten Bestandteile ihres Körpers formte. Der von den Pflanzen in organischen Verbindungen, namentlich als Eiweiß aufgespeicherte Stickstoff wird bei der Verwesung entweder als freies Gas ausgeschieden oder in Ammoniak oder in Salpetersäure (§ 29) umgewandelt, während die

¹⁾ Sie werden neuerdings von R. H. Franché (München 1913) unter dem Namen „Edaphon“ (nach dem griechischen Wort τὸ ἡδάφος, der Boden) zusammengefaßt.