

## LIII.

*Ueber den Einfluss, welchen die Erden auf den Vegetationsprocess ausüben.*

V o n

J. PELLETIER.

*(Journ. d. Pharm. Mai 1838.)*

Die Erde ist die Trägerin und Nährerin der Pflanze und aus ihr schöpft sie mittelst der Wurzeln einen Theil ihrer Nahrung. An diese eben so klare als einfache Thatsache knüpfen sich aber verwickeltere Fragen, die vom grössten Interesse für die Physiologie und die Agricultur sind. Ehe ich diejenige dieser Fragen, welche mich zunächst beschäftigt hat, auseinandersetze, will ich an einige Thatsachen erinnern, die mir zum Verständniss derselben erforderlich zu sein scheinen.

Die Erde ist kein Element. Ihre äussere Schicht, welche die Pflanzenwelt trägt, ist aus mehreren Metalloxyden, Kiesel-erde, Thonerde, Kalk zusammengesetzt, wozu oft noch Magnesia und Eisenoxyd kommen. Ueberdem enthält sie nothwendigerweise die Ueberreste der zerstörten Organismen. So zusammengesetzt, ist sie unter dem Einflusse der Luft, des Wassers und der Imponderabilien ganz geeignet zur Entwicklung der Keime und zum Gedeihen der wachsenden Pflanzen.

Die Nothwendigkeit der Gegenwart einer organischen Materie, um eine im höchsten Grade mit der planzennährenden Eigenschaft begabte Erde zu bilden, ist ausser Zweifel. Vergebens suchte Tull 1773 zu beweisen, dass fein zertheilte erdige Stoffe die einzige Nahrung der Pflanzen ausmachen. Duhamel erwies die Unrichtigkeit dieser Ansicht.

Wenn es aber auch gewiss ist, dass die Gegenwart organischer Materie eine Bedingung der Fruchtbarkeit ist, so kann man doch fragen, ob diese Gegenwart eine so wesentliche Bedingung sei, dass eine Pflanze in einer gänzlich von organischer Substanz freien Erde, auch bei dem Zusammenwirken anderer günstiger Umstände, namentlich der Gegenwart von Wasser und Kohlensäure, gar nicht zu vegetiren vermöchte.

Zahlreiche Versuche sind zur Entscheidung dieser Frage angestellt worden. Einige derselben widersprechen sich; die

Mehrzahl derselben verdiente wegen des hohen Interesses, welches sich daran knüpft, mit Sorgfalt erörtert und wiederholt zu werden. Aber eine andere nicht minder wichtige Frage, die, wie es uns scheint, zuvor behandelt werden muss, ist die: *welchen Einfluss haben die Erden selbst auf den Act der Vegetation?* Diese Frage will ich zunächst zu beantworten suchen.

Der Ackerboden muss als ein Gemenge mehrerer Erden (metallischer Oxyde) betrachtet werden. Alle fruchtbaren Bodenarten, sagt Chaptal, bestehen aus Kieselerde, Kalk und Thonerde, und zur Stütze dieser Ansicht führt er eine grosse Zahl von Analysen an.

Davy bestätigt diess durch die in seiner Agriculturchemie mitgetheilten Thatsachen, und in der That bestand keine Bodenart aus einer einzigen Erde, ja nicht einmal aus zweien, wie etwa Kalk und Kieselerde, Kieselerde und Thonerde, Thonerde und Kalk. An einer andern Stelle führt Chaptal Folgendes an: „Das Gemenge von Kieselerde und Thonerde bildet die Grundlage eines guten Bodens; wenn aber der Boden alle wünschenswerthen guten Eigenschaften besitzen soll, so bedarf es gewisser Proportionen in dem Gemenge, Proportionen, welche die Analyse der besten Bodenarten kennen gelehrt hat. Betrachtet man die Analyse der minder fruchtbaren Bodenarten, so sieht man, dass die Fruchtbarkeit in dem Verhältnisse abnimmt, als die eine oder die andere der drei hauptsächlichen Erden vorwaltet, und dass sie fast Null wird, wenn das Gemenge nur noch die Eigenschaften einer einzigen derselben besitzt.

Eine gewisse Complication der Zusammensetzung des Bodens ist demnach im Allgemeinen eine Bedingung der Fruchtbarkeit. Die fruchtbare Erde, welche man in den Thalgründen findet und die durch die vollständige allmähliche Zersetzung der Urgebirgsarten entsteht, ist im Allgemeinen von vortrefflicher Beschaffenheit. Man weiss aber, dass der Granit, aus Quarz, Feldspath, Glimmer, bisweilen auch Hornblende bestehend, durch seine Zersetzung eine aus Kieselerde, Kalk, Thonerde, etwas Magnesia und bisweilen Kali bestehende Erde liefern muss. Die von der Zersetzung einfacherer Gesteine herrührende Erde dagegen, z. B. des kieselhaltigen Kalksteins, sind leichter und nur für

wenige Arten des Anbaues günstig; sie verlangen nach Chaptal Düngung und fördern nur unter nassen Himmelsstrichen die Vegetation. Die aus der Zersetzung der Trapparten und Basalte, die eine complicirte Zusammensetzung haben, entstehende Erde ist dagegen sehr fruchtbar.

Die Flüsse, sagt Chaptal ferner, nehmen in ihrem Laufe andere Wässer auf, welche die von ihnen fortgeschwemmten erdigen Substanzen mit dem Schlamme der ersteren mengen. Es ist bisweilen der Fall, dass das Schlammgemenge zweier Flüsse einen fruchtbareren Boden bildet als das der beiden einzelnen Flüsse.

Diess ist also ein Beweis, dass eine Erde, abgesehen von der organischen Substanz, um so fruchtbarer ist, je complicirter ihre Zusammensetzung ist.

Suchen wir nach der Ursache dieser Erscheinung, so finden wir bei den Schriftstellern nur unsichere und zweifelnde Erklärungen, die meisten begnügen sich sogar mit der blossen Angabe der Thatsache.

Die Agronomen, welche sich mit der Theorie beschäftigt haben, scheinen die Ursache der Fruchtbarkeit mehr in der physischen Beschaffenheit als in der chemischen Zusammensetzung zu suchen. So schreibt Davy, nachdem er beobachtet hatte, dass verschiedene Bodenarten die Feuchtigkeit der Atmosphäre mit ungleicher Energie anziehen, und indem er zu bemerken glaubte, dass die Erdarten, welche das meiste hygrometrische Wasser anziehen, die fruchtbarsten wären, der hygroskopischen Beschaffenheit die wichtigste Rolle bei der Fruchtbarkeit des Bodens zu. Aber Davy hat nicht dargethan, dass die hygrometrische Eigenschaft eines Bodens immer in Verhältniss zu seiner Zusammensetzung stehe.

Wenn die hygroskopische Beschaffenheit die vorzüglichste Ursache der Fruchtbarkeit der Bodenarten wäre (immer abgesehen von den organischen Substanzen, welche als Dünger dienen), so würde man nicht einsehen, warum die Vereinigung der drei vorher genannten Erden zur Bildung eines Bodens von bester Beschaffenheit nöthig wäre. In der That, eine gewisse Menge Thonerde in einem übrigens ganz kieselerdigen oder kalkigen Boden, ein gewisses Verhältniss zwischen den feinen und groben sandigen Theilen des Bodens würde die hygrosko-

plische Beschaffenheit und damit die Fruchtbarkeit herstellen. Aber diess wird durch keine Thatsache bestätigt.

Die hygroskopische Beschaffenheit eines ternär zusammengesetzten Bodens kann wohl ein Element der Fruchtbarkeit, aber blos ein secundäres, der chemischen Zusammensetzung untergeordnetes Element sein.

Die Eigenschaft der Bodenarten, durch die Sonnenstrahlen mehr oder weniger erhitzt zu werden, eine Eigenschaft, von welcher Davy ebenfalls glaubte, dass sie in Verhältniss zu ihrer Fruchtbarkeit stehe, scheint mir gleichfalls nur eine secundäre Ursache zu sein. Uebrigens handelte es sich bei den von Davy angeführten Fällen um Bodenarten, die durch Humus schwarz gefärbt waren, und Davy hat nicht genug Rücksicht auf den Einfluss des Humus als Dünger genommen.

Mir scheint es, dass das Gemenge der verschiedenen Erden, welche den Boden bilden, auf die Vegetation wirkt und die Fruchtbarkeit befördert, vermöge einer elektro-chemischen Kraft, deren Wirkung in sehr vielen anderen Fällen erkannt, hier aber noch nicht berücksichtigt worden ist. Es ist Thatsache, obwohl man dieselbe bis jetzt nicht gewürdigt hat, dass die Kieselerde, Thonerde und der Kalk, welche in eine gute fruchttragende Erde eingehen, nicht mit einander chemisch verbunden, sondern blos mit einander gemengt sein müssen (der Kalk als kohlensaurer). Ein dreifaches Kalk- oder Thonerdesilicat, in welchem die Kieselerde, Thonerde und Kalkerde in dem Verhältnisse enthalten wären, welches die beste Ackererde giebt, könnte selbst in der günstigsten Zertheilung keine wesentlich fruchtbare Erde geben. Wenn in einer fruchtbaren Erde, die aus einem Gemenge von Kieselerde, Thonerde und Kalk bestünde, die Verbindung der drei Oxyde plötzlich erfolgte, so würde der Boden kalt und unfruchtbar werden. Nun ist es aber gewiss, dass in einem Gemenge von Kieselerde, Thonerde und Kalk eine Kraft vorhanden ist, vermöge deren diese Substanzen sich zu verbinden streben. Die Kieselerde und Thonerde sind im Verhältniss zum Kalk elektro-negative Körper und bei Anwesenheit derselben muss der Kalk die entgegengesetzte Elektricität annehmen. Je nachdem äussere Bewegungen und fremde Ursachen die Theilchen des Bodens einander nähern oder von einander entfernen und sie auf verschiedene Weise

gruppiren, werden sich elektrische Säulen bilden, es werden Entladungen stattfinden und die Erde wird so zu sagen belebt werden. Die elektrische Flüssigkeit, welche sie durchströmt, wird auf die Oeffnungen der Wurzelfasern einen Reiz ausüben, das Spiel der Organe anregen und die Absorption der Nahrungssäfte wird vor sich gehen. Die mit Feuchtigkeit imprägnirten Würzelchen und Wurzelfasern werden auf solche Weise zu Leitern, welche die Elektrizität der Pflanze zuführen, die gewiss eben so nothwendig für das Leben ist als das Licht und die Wärme.

Das Verdienst einer Theorie besteht darin, dass sie die beobachteten Thatsachen erklärt, dass sie vorausszusehen gestattet, was unter gewissen Umständen eintreten wird, und dass sie im voraus diejenigen Umstände anzugeben gestattet, die man herbeiführen müsste, um eine günstige Anwendung u. s. w. davon zu machen.

Untersuchen wir, ob die von mir vorgeschlagene Theorie diese Bedingungen erfüllt.

Es sei eine kreidehaltige Erde gegeben. Um sie zu verbessern, mengt man sie mit thonhaltigem Mergel, dem vorwaltenden Kalk setzt man Kieselerde und Thonerde zu. Dem positiven Elemente, das allein vorhanden war, wird das fehlende negative zugesetzt.

Man könnte sagen, die Kreide sei so compact, dass die Wurzeln sie nicht zu durchdringen vermöchten, oder so zerklüftet, dass das Wasser wie durch ein Sieb hindurchginge und dass die Mergelung den Zweck habe, durch Veränderung ihrer physischen Constitution diese Beschaffenheit zu verändern.

Wenn aber der Mergel dazu diene, die Kreide zu zertheilen, um ihre physische Beschaffenheit zu verändern, so würde ein mehr oder weniger grober Kalksand diesen Zweck erfüllen, und doch ist es noch Niemandem in den Sinn gekommen, die Kreide durch Kalkstein verbessern zu wollen, während Godin v. St. Memin eine vortreffliche Vegetation mittelst eines Gemenges von Kreide von Meudon und Haidesand erzeugte.

Auf einem Chaptal zugehörigen Grundstücke war der thonige Boden wenig fruchtbar, unter demselben lag eine Schicht schwärzlicher Erde. Chaptal liess, diessmal auf empirische Weise verfahren, den Boden tief ackern und die beiden Schich-

## 294. Pelletier, üb. den Einfluss der Erden

ten mengen. Gegen seine Erwartung wurde der Boden dadurch noch unfruchtbarer. Erst im fünften Jahre erlangte der Boden die frühere Fruchtbarkeit wieder, nachdem alles Eisen zu Oxyd geworden und die früher schwärzliche Erde tief gelb geworden war. Chaptal fragt dabei, ob das schwarze Oxyd an sich der Vegetation nachtheilig sei oder es durch Entziehung von Sauerstoff werde.

Nach unserer Theorie erklärt sich die Thatsache, und man hätte sie voraussehen können. Das schwarze Eisenoxyd ist bekanntlich eine Verbindung von Oxydul und Oxyd-oxydul (sesquioxyde), welche Körper indifferent gegen Kieselerde und Thonerde sind. Der Luft ausgesetzt, zersetzt sich die Verbindung und das Eisen geht in Oxyd über, welches fähig ist, sich mit der Kieselerde und Thonerde zu verbinden. Unter ähnlichen Umständen darf man also die Schichten nie mengen, weil man 5 Jahre verlor, um zu einem sehr gewöhnlichen Resultate zu kommen.

Die angenommene Theorie lässt sich auch sehr gut auf die Mergelung anwenden. Der Mergel ist kein einfaches Gemenge von Kieselerde und Thonerde mit kohlensaurem Kalk. Der Mergel hat Kalk- und Thonsilicate zur Grundlage, und einige Mineralogen betrachten ihn sogar als oryktognostische Species. Diess ist der Grund, weshalb die Pflanzen in einem Mergel, welcher der Luft nicht lange ausgesetzt gewesen ist, nicht vegetiren können, selbst wenn Kieselerde, Thonerde und Kalk sich in dem Verhältnisse einer guten Ackererde darin finden. Beim Liegen an der Luft zerstört die Kohlensäure die Verbindung zwischen den Erden und dann, aber auch nur dann erst, ist der Mergel zur Verbesserung des Bodens geeignet. Waltet dann das negative Element vor, wie in den Thonmergeln, so ist er vortreflich für kalkhaltigen Boden, ist dagegen das positive vorherrschend, wie in den Kalkmergeln, so eignet er sich für thonig-sandigen Boden. \*)

\*) So eben habe ich in Erfahrung gebracht, dass ein äusserst fruchtbarer Urboden auf Cuba, der jährlich, ohne gedüngt zu werden, bis zu vier Zuckerrohrernten lieferte, aus kohlensaurem Kalk und Raseneisenstein (Eisenoxyd, wahrscheinlich mit Kieselerde und Thonerde) bestehe. Ich werde denselben analysiren. Diese Zusammensetzung entspricht meiner Theorie. Das Eisenoxyd würde die Stelle der nur in geringer Menge vorhandenen Kieselerde ersetzen.

Man hat wahrgenommen, dass die Salze der Erden und Alkalien, welche in gewisser Menge den Pflanzen nachtheilig sind, in kleinen Quantitäten einen günstigen Erfolg hervorbringen. Die Chemiker und Agronomen haben zu ermitteln gesucht, wie hier die Salze wirken. Einige glaubten, dass es mit gewissen Salzen bei den Pflanzen wie mit gewissen Nahrungsmitteln bei den Thieren sei und dass die Salze und selbst die Erden als Nahrungsmittel aufgenommen würden; andere dagegen glaubten, dass jene Substanzen blos als Reizmittel im Acte der Vegetation wirkten. Ohne zu leugnen, dass die erdigen Substanzen in die Masse der Vegetabilien übergehen können, um ihrem Baue Festigkeit zu geben, wie der phosphorsaure Kalk in den Knochen der Thiere, muss ich doch bemerken, dass die Gegenwart dieses oder jenes Salzes, mit wenigen Ausnahmen, nicht absolut nothwendig für die Vegetation ist. Die Boragineen und der Salat zum Beispiel, deren Extracte sehr viel Salpeter enthalten, wenn sie auf gedüngtem Boden wachsen, enthalten kaum merkliche Mengen davon, wenn sie ohne Düngung gebaut worden sind. Ich möchte deshalb lieber die Meinung der Physiologen annehmen, welche mit Decandolle glauben, dass die Salze blos als Reizmittel wirken. Da aber jene vagen Erklärungen, die in blossen Worten bestehen, in den Wissenschaften nicht zulässig sind, so verstehe ich hier unter Reiz das ausserordentliche Leistungsvermögen für die Elektricität, welches schon eine kleine Menge Salz dem Wasser ertheilt. Auf diese Weise scheint mir der Salpeter bei der Vegetation zu wirken, die er so ausserordentlich begünstigt. So wirkt wahrscheinlich auch der Gips, indem er das Wasser leitend macht für Elektricität, obgleich hier die Wirkungen complicirter zu sein und eine directe Untersuchung zu verdienen scheinen.

Wir haben bis jetzt den Kalk im freien Zustande angenommen, wo von Gemengen von Kieselerde, Thonerde und Kalk die Rede war, welche die Bodenarten bilden. Der Kalk ist aber in kohlensaurem Zustande. Diess ändert jedoch wesentlich nichts, da er auch so sich elektro-positiv gegen Kieselerde und Thonerde verhält. Dieser Umstand gestattet, eine wichtige Thatsache aus der Pflanzenphysiologie zu erklären. Der Kohlenstoff der Pflanzen wird zum grössten Theile, wo nicht

ganz, durch die Zersetzung der Kohlensäure erzeugt, welche sie nicht bloß aus der Luft, sondern auch aus dem Boden aufnehmen, wie Decandolle glaubt. Diese vom Boden dargebotene Kohlensäure scheint in die Pflanzen im Entstehungsmomente überzugehen, wahrscheinlich in der Feuchtigkeit des Bodens aufgelöst. So wird sie von den Würzelchen aufgenommen und steigt mit den Säften auf. Aber wie bildet sich diese Kohlensäure? Man begreift, dass in gedüngtem Boden, dass in den oberen Schichten, welche die Luft durchdringen kann, sich Kohlensäure durch die Reaction des Sauerstoffes auf die organischen Reste bilden muss; aber wie erzeugt sich die Kohlensäure in den grossen Tiefen, bis zu denen die Wurzeln der Eichen, Cedern u. s. w. dringen? Wie können der Sauerstoff der Luft und die organischen Substanzen bis dahin eindringen? Nach unserer Theorie ist die Erklärung leicht. Die Kohlensäure erzeugt sich aus dem kohlensauren Kalke, auf welchen die Kieselerde und Thonerde eine fortwährende langsame Wirkung ausüben, um damit Silicate zu bilden \*).

So würde demnach die Kieselerde in gewissen Tiefen und unter Umständen, die noch wenig bekannt sind, den kohlensauren Kalk zersetzen, während an der Oberfläche der Erde und unter dem Einflusse der äusseren Agentien die Silicate wieder durch die Kohlensäure zersetzt werden würden, welche durch die Reaction des Sauerstoffes auf die organischen Reste entsteht.

Dieser letzte Satz meiner Theorie, die Zersetzung der Silicate durch die äusseren Agentien und vorzüglich durch die Kohlensäure, kann nicht in Zweifel gezogen werden. Er ist von Becquerel unter Umständen erwiesen worden, wo die Cohäsionskraft sich dieser Zersetzung noch mehr entgegenzustellen schien, ich meine bei der Zersetzung des Feldspathes im Granit und der Bildung des Kaolins.

\*) Die thierischen Düngerarten scheinen zur Zersetzung der Silicate beizutragen, nicht bloß durch die Kohlensäure, welche sie in Folge der Absorption von Sauerstoff bilden, sondern auch indem sie Substanzen, wie die fetten Säuren, erzeugen, die ein Bestreben haben, sich mit dem Kalke zu verbinden und die Kieselerde auszuscheiden. Raspail scheint die kieseligen Versteinerungen, welche man in der Kreide findet, sehr glücklich durch die Einwirkung der verschütteten Thiere auf den kieselhaltigen Kalkstein erklärt zu haben.



Die Zersetzung des kohlensauren Kalkes durch die Kieselerde im Innern der Erde stützt sich gleichfalls auf Beobachtungen und Erfahrungen. Wenn man bei der Analyse einer Ackererde den groben Kieselsand durch Schlämmen abgesondert und den kohlensauren Kalk durch verdünnte Säuren entfernt hat, so findet man, dass die fein zertheilte Substanz, welche der Wirkung der Säuren widerstanden hat, weder Thonerde, wie Chaptal meint, noch Kieselerde, nach der Meinung Anderer, ist, sondern dass sie vorzüglich aus wahren Kalk-, Thonerde- und Eisenoxydsilicaten besteht.

Man könnte zwar einwerfen, dass diese Silicate vor aller Vegetation vorhanden gewesen seien und dass es directer Beweise bedürfe, um darzuthun, dass sie neuester Bildung seien und sich noch täglich erzeugten. In letzterer Beziehung aber berufe ich mich auf die schönen Untersuchungen Becquerel's und die Mineralien, welche er künstlich im Laboratorio dargestellt hat, mit allen Charakteren der natürlichen, so wie auf die künstliche Bildung des Feldspathes durch Cagniard de Latour.

Endlich könnte man meiner Theorie noch einen Einwurf machen. Wenn die gemengten Erden vermöge elektro-chemischer Kräfte wirken, weshalb sind dann drei Erden erforderlich? Würden nicht Kieselerde und Kalk, oder Kalk und Thonerde hinreichen, um in jedem Elemente des Gemenges einen Zustand entgegengesetzter Elektricität hervorzubringen? Auch auf diesen Einwand lässt sich durch Thatsachen antworten, die allen Mineralogen bekannt sind. Es ist gewiss, dass die binären Silicate seltener in der Natur vorkommen als die ternären und dass ihre Masse weit unbedeutlicher ist. Die Kieselerde hat also mehr Neigung, sich mit Kalk und Thonerde zugleich als mit jeder dieser Erden einzeln zu verbinden. Hierdurch begreift man, wie die Vereinigung der drei Erden nothwendig wird, um einen Boden von der grössten Fruchtbarkeit zu erzeugen. Ich werde diese Ideen später durch directe Versuche prüfen.

---