

WOLFGANG WILCKE¹

Abenteuer Erde – Fruchtbare Erde

Zusammenfassung des Vortrages vom 16. September 2014

Der Boden ist die dünne Haut der Kontinente. Er entsteht dort, wo die Erdkruste mit Luft und Wasser zusammentrifft. Das ist die Zone der Erde, in der sich ein grosser Teil des Lebens konzentriert: Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen und wir Menschen. Und der Boden sorgt dafür, dass dieses Leben möglich ist. Der Boden bietet festen Grund und Halt für Wurzeln. Er speichert Wasser und Nährstoffe. Er sorgt für sauberes Grundwasser und damit Trinkwasser, indem er das Regenwasser filtert und organische Schadstoffe abbaut. Schliesslich trägt die Speicherung von abgestorbener organischer Substanz im Boden, dem Humus, dazu bei, dass in der Atmosphäre ein Überschuss an Sauerstoff verbleibt, der ja bekanntlich bei der Fotosynthese entsteht und den die allermeisten Lebewesen einschliesslich wir Menschen zum Atmen brauchen. Der Boden erfüllt also viele wichtige Funktionen. Im Vordergrund dieses Beitrages steht vor allem die Bodenfruchtbarkeit, die wir dazu nutzen, den grössten Teil unserer Lebensmittel zu produzieren. Sehr schön illustriert wurde diese wichtige Bodenfunktion im Kalender «Faszination Boden», der 2013 als gemeinsames Projekt verschiedener Fachstellen² herausgegeben wurde (Abb. 1).

Das Ziel des Beitrags ist, Sie mitzunehmen auf eine Reise von den Anfängen unserer heutigen Böden zu dem, was wir heute in der Landschaft finden und für den Anbau von Lebensmitteln nutzen. Dabei wollen wir verstehen, warum Böden fruchtbar sind und wie ausgeprägt die Fruchtbarkeit in verschiedenen Bodentypen ist.

Unsere heutigen Böden haben sich aus den Gesteinen («Ausgangssubstraten») entwickelt, die nach dem Ende der letzten Eiszeit vor ca. 12 000 Jahren an der Oberfläche vorhanden waren. Wenn wir auf den Raum Bern fokussieren, dann handelt es sich bei diesen Ausgangssubstraten vor allem um Sedimente, die von den Gletschern der Eiszeit hinterlassen wurden. Die Landschaft im Schweizer

¹ Prof. Dr. Wolfgang Wilcke, Geographisches Institut, Universität Bern und Institut für Geographie und Geoökologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

² Forschungsanstalt Agroscope, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern (LANAT), Fachstelle Bodenschutz, Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)



Abb. 1: Links - Karotten, die in einem entwässerten Moorboden im Seeland bei Witzwil (BE) angebaut werden. Rechts – Kartoffeln, die in einer Braunerde – dem in Mitteleuropa häufigsten Bodentyp – auf einer würmeiszeitlichen Moräne bei der Sternwarte in Zimmerwald (BE) wachsen. ©Agroscope (Gabriela Brändle, Urs Zihlmann) und LANAT (Andreas Chervet), 2012.

Mittelland ist geprägt durch eine Reihe charakteristischer Elemente. Wenn wir «von oben» anfangen, so sehen wir die Mittellandberge, häufig zwischen 700 und 900 m hoch (etwa der Gurten oder der Bantiger mit seinem auffälligen Telekommunikationsturm). Diese Berge sind aus Molasse-Sandsteinen aufgebaut, die älter sind als die Eiszeiten, denn sie entstanden vor ca. 20 Millionen Jahren, bereits im Tertiär (Neogen), aus dem Abtragungsschutt der Alpen. Der Sandstein, der z.B. in Ostermundigen abgebaut wurde, ist der Baustein der Stadt Bern. In der letzten Hoch-Eiszeit waren diese Mittellandberge (bis auf die ganz hohen > 1000 m) gerade noch mit Gletschereis bedeckt, der Bantiger und der Ulmizberg schauten ganz knapp oben heraus. So finden wir heute dort meist geringmächtiges Moränenmaterial – den von Gletscher transportierten und abgelagerten Schutt, v.a. aus den Alpen. Moränen spielen auch im nächsttieferen «Stockwerk» eine wichtige Rolle. Sie bauen als Überreste von Moränenwällen oder anderen glazigenen Sedimenten die oft bewaldeten «Hubel» in unserer Landschaft auf und prägen Ortsnamen die vielfach auf «-bühl» enden. Noch tiefer schliesslich finden wir durch Gletscherflüsse aufgeschüttete Schotterflächen, deren Präsenz häufig durch auf «-feld» endende Ortsnamen markiert wird. Weil diese Schotterflächen eben gelagert sind, stellten sie günstige Standorte für Stadtgründungen wie etwa von Bern dar. Bern liegt auf einer Schotterterrasse,

in die sich die Aare nacheiszeitlich tief eingegraben und einen Sporn herauspräpariert hat, auf dem sich die Berner Altstadt befindet. Jenseits der Nydegg-Brücke – dem früheren Hauptzugang zur Stadt – erhebt sich zum Rosengarten hin eine mächtige Moräne. Wie die Landschaft unmittelbar nach der Eiszeit ausgesehen hat, kann man heute z.B. in Grönland sehen und welche Böden sich bis heute darauf entwickelt haben, kann man entlang des von der Burgergemeinde Bern eingerichteten, vom World Wildlife Fund (WWF, Sektion Bern), getragen und von der Universität Bern bearbeiteten Bodenlehrpfad auf der Engehalbinsel (www.bodenlehrpfad.ch) besichtigen (Abb. 2).

Die Entwicklung von Böden wird durch das Gestein, das Relief, das Klima, Organismen (Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere) und den Menschen – als aufgrund seines besonders starken Einflusses herausgehobenen Organismus – gesteuert und der Fortschritt der Bodenentwicklung hängt von der Zeit ab. Dieses Grundgesetz der Bodenkunde wurde bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts von Wassili Wassiljewitsch Dokutschajew, einem russischen Geologen, der als der Begründer der modernen Bodenkunde gilt, erkannt. Die bodenbildenden Faktoren kontrollieren insgesamt fünf bodenbildende Prozesse, die dafür sorgen, dass der Boden die Eigenschaften erhält, die wir heute erkennen können. Es handelt sich dabei um:

1. Die **Verwitterung**, die das Ausgangssubstrat auflockert und chemisch auflöst.
2. Die **Mineralneubildung**, die dazu führt, dass unsere Böden ihre in unseren Breiten charakteristische ockerbraune Farbe erhalten und dass sich feinkörnige Tonminerale anreichern. Die ockerbraune Farbe wird durch ein Eisenoxyhydroxid (FeOOH) hervorgerufen, das nach dem Klassiker der deutschsprachigen Literatur Johann Wolfgang von Goethe – auch international – als «Goethit» bezeichnet wird.
3. Die **Humusbildung** aus abgestorbenen Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren.
4. Die **Gefügebildung**, die dazu führt, dass die primären Körner, aus denen der Boden besteht, zu sekundären Aggregaten zusammengeballt werden. Ein wesentlicher Treiber der Gefügebildung ist die Quellung und Schrumpfung von Tonmineralen.
5. Die **vertikale Stoffumlagerung**, die alle in die Bodenlösung freigesetzten gelösten und kolloidalen Bestandteile umfasst. Prominente Beispiele für ausgeprägte vertikale Verlagerungsprozesse sind die Tonverlagerung, die Parabraunerden mit einem Tonanreicherungs-Horizont hervorbringen sowie die Podsolierung, bei der Humus und Oxide verlagert und im Unterboden angereichert werden, teilweise so stark, dass abbauwürdige Eisenerze daraus resultieren. Parabraunerden sind im Schweizer Mittelland vor allem auf Moränen weit verbreitet während Podsole in den höheren Lagen der Alpen auf sauren Gesteinen wie Graniten und Gneisen vorkommen.

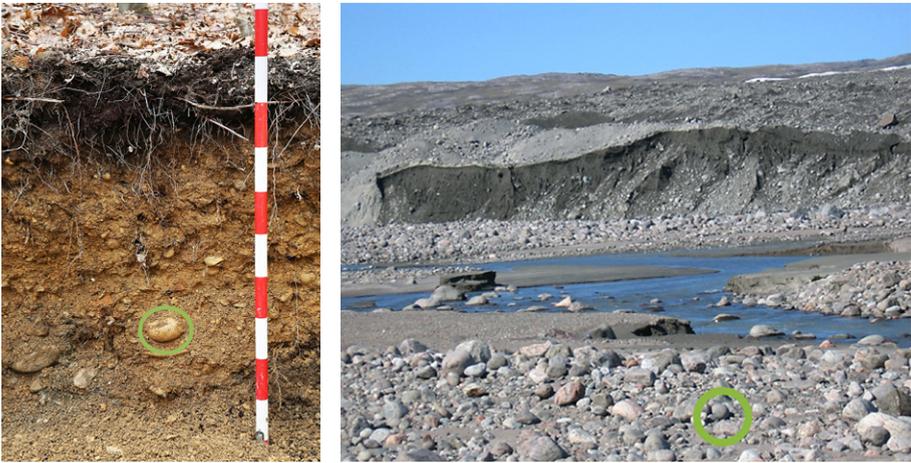


Abbildung 2: Links – Schotterkörper des Ørkendalen-Gletschers, Grönland © Daniel Knoch, 2009. Rechts – saure Braunerde auf der Engehalbinsel, Stadt Bern © Guy Jost, 2013. Man beachte den grün markierten, gerundeten Stein – einen Schotter – in der rohen Schotterfläche links und im Unterboden rechts.

Nun, da wir wissen wie aus den rohen Substraten unsere heutigen Böden geworden sind, wohlgermerkt über einen Zeitraum von Jahrtausenden (!), kommen wir zurück auf die Frage der Fruchtbarkeit. Wann ist ein Boden besonders fruchtbar? Dann, wenn er die Bedürfnisse der Pflanzen, die wir auf ihm anbauen wollen, am besten befriedigt. Und was brauchen Pflanzen? Nun, wichtig sind neben dem Halt, den der Boden den Wurzeln gibt sowie neben Sonnenlicht und Kohlendioxid (CO_2), das aus der Atmosphäre kommt, Wasser und mineralische Nährelemente.

Gehen wir zunächst auf die Wasserspeicherung im Boden ein. Hier ist eine vielleicht überraschende Erkenntnis, dass der Boden zur Hälfte hohl ist und nur zur anderen Hälfte aus fester, zum grössten Teil mineralischer und zum kleineren Teil organischer Substanz besteht. Der Hohlraum im Boden ist mit Wasser oder mit Luft gefüllt, meist in variablen Anteilen mit beidem. Der Boden fungiert nun wie eine Art Schwamm. Er kann bis zu einem Maximum, das wir als «Feldkapazität» bezeichnen, Wasser zurückhalten, eben genau wie ein Schwamm, der nach dem Überschreiten des Maximums zu tropfen anfängt. Das Wasser jenseits der Feldkapazität (das gleichsam aus dem Schwamm tropft), kann von den Pflanzen nicht mehr genutzt werden – es fliesst an den Wurzeln vorbei. Umgekehrt wird Wasser in ganz feinen Poren so stark festgehalten, dass die Pflanzen, die immerhin mit einem 10-fachen Atmosphärendruck saugen können, es nicht mehr zu extrahieren vermögen. Dieses Wasser ist jenseits des «Permanenten Welkepunktes» gebunden, der eine Saugkraft des Bodens beschreibt, die grösser ist als diejenige der Pflanzen. Das Wasser, das zwischen diesen Extremen «Permanenter Welkepunkt» und «Feldkapazität» gebunden ist, ist pflanzenverfügbar und wird

als nutzbare Feldkapazität bezeichnet. Im Hinblick auf die Wasserversorgung ist derjenige Boden am fruchtbarsten, der die höchste nutzbare Feldkapazität aufweist. Dabei handelt sich um solche Böden, die eine mittlere Korngrösse haben (im Schluffbereich) und damit viele Mittelporen. Besonders günstig sind in dieser Hinsicht Böden aus Löss. Löss ist ein äolisches (luftgetragenes) Sediment, das in den trockenen Phasen der Hoch-Eiszeiten entstanden ist, als das meiste Wasser gefroren war. Es hat darum eine mittlere Korngrösse und viele Mittelporen, weil in der Luft genau diese Korngrösse gut transportiert werden kann. Größere Körner sind zu schwer und feinere Körner aggregieren, bilden also wiederum zu schwere Partikel für den Lufttransport oder sie verbleiben als feine Schwebstoffe in der Atmosphäre. Lössböden finden wir im Vorfeld der Gletscher in der Schweiz eher im Nordwesten oder in den wenigen, während der letzten Eiszeit nicht vergletscherten Bereichen wie etwa der Gegend um Krauchthal (BE) mit dem Lindental. Teilweise mächtige Lössvorkommen findet man weiter nördlich im Oberrheingraben, z.B. in der Gegend um den Kaiserstuhl bei Freiburg im Breisgau.

Nun zu den mineralischen Nährelementen, die von der Pflanze grundsätzlich nur aus der Bodenlösung (also dem Bodenwasser mit seinen Inhaltsstoffen, v.a. Ionen, kleinen elektrisch geladenen Molekülen) aufgenommen werden können. Man muss zwischen dem Stickstoff (dem am meisten benötigten Element) und allen übrigen Elementen (die wichtigsten sind Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium, neben Schwefel und einer Reihe Mikronährelemente) unterscheiden. Der Stickstoff ist das einzige Element, das nicht aus dem Gestein, sondern aus der Atmosphäre stammt. Der Stickstoff kommt – unter natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Bedingungen ganz überwiegend durch den biologischen Prozess der Stickstofffixierung in den Boden. Über die Fähigkeit der Stickstofffixierung verfügen einige Mikroorganismen, z.B. die Rhizobien, die mit Leguminosen (Schmetterlingsblütlern) Symbiosen bilden. Als Folge der biologischen Fixierung tritt der Stickstoff im Boden zu >95 % im Humus auf und wird durch die Humus-Mineralisierung, die am besten bei neutralen bis leicht sauren Bedingungen (pH 6–7) abläuft, für die Pflanzen verfügbar gemacht (also in die Bodenlösung freigesetzt). In Bezug auf Stickstoff sind daher Böden mit viel Humus und hohen pH-Werten am fruchtbarsten. Heute wird die Stickstoffversorgung der Böden stark durch die Düngung und durch Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre geprägt. Die Einträge aus der Atmosphäre werden über Emissionen aus Verbrennungsprozessen (etwa zur Stromgewinnung oder für das Autofahren) sowie durch die intensive Tierhaltung verursacht.

Die übrigen mineralischen Nährelemente stammen aus dem Gestein und kommen durch deren Verwitterung in die Bodenlösung. Dabei ist die Löslichkeit von Phosphor im schwach sauren Bereich (pH 5,5–6,5) am besten, weil sie durch die Ausfällung von Ca-Mineralen (Apatit) bei höheren pH-Werten und von Fe- und Al-Mineralen (Strengit und Variscit) bei niedrigen pH-Werten limitiert wird. Im Hinblick auf Phosphor sind also v.a. schwach saure Bedingungen optimal für die Bodenfruchtbarkeit.

Die drei Elemente Kalium, Magnesium und Kalzium werden in der Bodenkunde (streng chemisch gesehen fälschlich) als Basen bezeichnet. Ihr Verhalten ist ähnlich. Alle drei Elemente stammen aus dem Gestein und werden gleichfalls durch die Verwitterung freigesetzt. Für sie gibt es einen Zwischenspeicher zwischen Gestein und Bodenlösung – den die Pflanzen leicht anzapfen können –, die Kationenaustauschkapazität (alle drei Metalle treten als positiv geladene Ionen in der Bodenlösung auf, den Kationen). Die Kationenaustauschkapazität wird v.a. durch die Tonminerale, die negative Oberflächenladungen aufweisen, aufgebaut. Bei hohen pH-Werten (6–7) trägt auch der Humus noch wesentlich zur Kationenaustauschkapazität bei. Wenn der Boden saurer wird, können ab einem pH-Wert von ca. 5 Aluminium-Ionen auftreten, die für Pflanzen giftig sind und die die Basen vom Austauscher verdrängen können. Daher nimmt die Basensättigung (die den Anteil der Kationenaustauschkapazität bezeichnet, der von Basen belegt ist und vielleicht das wichtigste Mass für die chemische Bodenfruchtbarkeit ist) mit sinkendem pH-Wert ab. Am fruchtbarsten sind also Böden mit einer hohen Kationenaustauschkapazität und einem neutralen bis schwach sauren pH-Wert (6–7) und damit verbunden einer hohen Basensättigung.

Wo finden wir nun besonders fruchtbare Böden? Sie sollten eine mittlere Korngrösse haben (also z.B. aus Löss entstanden sein), viel Humus und ausreichend Tonminerale enthalten und einen schwach sauren pH-Wert aufweisen. Solche Böden finden wir vor allem in den grossen, feuchten Steppenzonen der Welt (Ukraine/Südrussland, Mongolei, Prärie und Pampa), in denen tiefgründig humose Böden aus Löss auftreten, die so genannten Schwarzerden (*Abb. 3*).



Abbildung 3: Links – Büffel auf Langgras-Prärie in den nordamerikanischen Great Plains ©Michael Richter, 2001. Rechts – Schwarzerde-Profil in der Prärie © Nyle Brady und Ray Weil, 2002.

Trotz ihrer enormen Bedeutung für unsere Ernährung, sind die Böden heute weltweit massiv durch das menschliche Wirtschaften bedroht. Zu den grössten Bedrohungen zählt die Bodenerosion durch Wasser und Wind, die durch vegetationsfreie Brachen sowie Bodenverdichtung und Verschlammung (die Versiegelung von Poren, die für die Infiltration von Regenwasser wichtig sind) gefördert wird. Des Weiteren schreitet die Desertifikation weltweit als Folge von lokaler Übernutzung und globalem Klimawandel voran. Daneben kommt es in trockeneren Gebieten aufgrund unsachgemässer Bewässerung (nämlich ohne gleichzeitiger ausreichender Entwässerung) zu hohen Bodenverlusten. Hinzu kommen Bodenversiegelung und Schadstoffbelastung infolge der weltweit schnell fortschreitenden Urbanisierung und industriellen Entwicklung. Die Umweltinstitution der Vereinten Nationen (UNEP) schätzte bereits Ende des 20. Jahrhunderts, dass etwa ein Viertel der Böden der Welt in ihrer Funktionsfähigkeit oder sogar Existenz bedroht ist.

Da der Bodenverlust nur in Jahrtausenden wett zu machen ist, sollte es zu unseren wichtigsten Umweltschutzziele gehören, den Boden zu erhalten und zu schützen. Es hängt nichts Weniger als unsere Existenz von seinem Funktionieren ab.

Quellen und weiterführende Literatur

- BRADY, N.C. & R.R. WEIL (2008): *The Nature and Properties of Soils*. Pearson International Edition, Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A.
- GISI, U., R. SCHENKER, R. SCHULIN, F.X. STADELMANN & H. STICHER (1997): *Bodenökologie*. 2. Auflage. Georg Thieme-Verlag, Stuttgart, Deutschland
- SCHAEFFER/SCHACHTSCHABEL (2010): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland
- VEIT, H. (2003): *Exkursionsführer «Bern im Quartär»*. Exkursion anlässlich des 54. Deutschen Geographentages am 03.10.2003, Geographisches Institut, Universität Bern.