

«Menschen hinterlassen Spuren – Fussabdrücke», so hiess ein Werk von Erna Reich im Rahmen der LandArte (Rheintal, 2003). Durch intensive Landwirtschaft ging in den letzten dreissig Jahren weltweit etwa ein Drittel des fruchtbaren Ackerlandes unwiederbringlich durch Wassererosion verloren.

«Les hommes laissent des traces - Empreintes de pas», ainsi s'appelait l'œuvre d'Erna Reich dans le cadre de la manifestation LandArt qui s'est tenue dans la vallée du Rhin en 2003. A cause de l'agriculture intensive, un tiers environ des terres cultivables de la planète ont été perdues irrémédiablement par l'érosion due à l'eau.



# Ein Kapital von unschätzbarem hohem Wert

Boden – das wenig bekannte Gut

Von Paul Mäder

Forschungsanstalt für Biologischen Landbau (FiBL)

Frick

## Résumé

*Le sol est un bien fondamental des horticulteurs. Et pourtant: le mot est si courant, et le monde y vivant si méconnu. Les parties constituantes du sol jouent un rôle centrale car tout ce qui provient de la terre retourne à la terre. Mais seul un peu plus du dixième de la surface supérieure du sol est utilisé de manière significative pour l'agriculture. Eu égard à la forte charge à laquelle est soumis le sol aujourd'hui, une exploitation attentive est d'une importance capitale pour sa fertilité du sol.*

**Der Boden ist für Gärtnerinnen und Gärtner von grundlegendem Wert. Und doch: So geläufig das Wort, so unbekannt die Lebenswelt, die dahinter verborgen ist. Dabei spielen die Bodenbestandteile eine zentrale Rolle, denn alles entsteht aus der Erde und wird wieder zu Erde. Aber nur etwas mehr als ein Zehntel der Erdoberfläche lässt sich landwirtschaftlich sinnvoll nutzen. Angesichts der grossen Belastungen, denen der Boden heute ausgesetzt ist, kommt dem sorgsamem Umgang mit der Bodenfruchtbarkeit eine enorme Bedeutung zu.**

Bildlich gesprochen ist Boden die äusserste Haut der festen Erdkruste. Diese belebte, humushaltige Haut ist nur wenige Zentimeter bis Meter dick. Von ihr hängt alles pflanzliche, tierische und schliesslich auch das menschliche Leben auf Erden ab. Fast unvorstellbar sind die Zeiträume, die notwendig sind für die Bildung eines Bodens: Für die Entstehung einer 30 cm tiefen Bodenschicht dauert es zwischen 1000 und 10000 Jahre.

Die ertragreichsten Böden in der Schweiz entstanden hauptsächlich im Mittelland nach der letzten Eiszeit über Gletscher-, Fluss- und Seeablagerungen. Ihre Ausgangsmaterialien

sind reich an Nährstoffen und haben eine vielseitige Zusammensetzung. Böden über Kalk im Jura oder über Silikat in der Zentral- und Südschweiz sind in ihrer Zusammensetzung oft einseitiger.

## Aus was besteht Boden?

Boden besteht aus mineralischen Substanzen, Nährsalzen für die Pflanzen, organischen Stoffen, Luft, Wasser und Lebewesen. Zu etwa 40 bis 60 Volumenprozenten setzt sich ein Boden aus Feststoffen und zu 40 bis 60 Volumenprozenten aus Hohlräumen zusammen. Unter den Mineralien nehmen die Tonminerale eine herausragende Stellung ein, weil sie eine riesige innere Oberfläche aufweisen, die für den Nährstoffaustausch sehr wichtig ist. Diese Oberfläche kann bei einem Würfel mit 30 cm Kantenlänge bis 10 km<sup>2</sup> messen. Die Tonminerale verbinden sich zu stabilen Ton-Humuskomplexen, die wichtige Bestandteile von stabilen Bodenaggregaten sind. Infolge von Säureeinträgen aus belasteter Luft kann es insbesondere in Waldböden, die nicht gekalkt werden und die natürlicherweise oft schon eine schlechtere Pufferung als Landwirtschaftsböden aufweisen, zu einer drastischen Bodenversauerung (pH-Absenkung)

kommen, die im Endeffekt zu einer Tonzerstörung führt. Dadurch sinkt die Austauschbarkeit von Nährstoffen wie Kalium, Kalzium und Magnesium alarmierend und die Bäume leiden schliesslich an Mineralstoffmangel. Diese Prozesse werden derzeit intensiv diskutiert und im Rahmen von Kantonalen Bodenbeobachtungsnetzen über die Zeit verfolgt.

### Ein belebtes System

Der Boden ist Lebensraum für eine unvorstellbare Vielzahl von Kleinstlebewesen, Tieren und Pflanzenwurzeln. Ein fruchtbarer Boden trägt bei geringem Aufwand an Düngern, Pflanzenschutzmitteln und Energie über Generationen gesunde Früchte. In einem fruchtbaren Boden setzen die Bodenlebewesen Dünger effizient in ansprechende Pflanzenenerträge um, bauen Humus auf, schützen die Pflanzen vor Krankheiten und machen den Boden krümelig. Ein solcher Boden lässt sich leicht bearbeiten, nimmt das Regenwasser gut auf und neigt weniger zur Verschlammung und Erosion.

Des Weiteren verhilft uns ein fruchtbarer Boden durch seine Filtereigenschaften zu sauberem Grundwasser, und er puffert Säuren, die durch belastete Luft auf die Bodenoberfläche gelangen. Nicht zuletzt ist ein fruchtbarer Boden ein sehr effizienter Speicher für Nährstoffe und beugt dadurch der Eutrophierung von Flüssen und Seen vor.

Ein gesunder Boden ist intensiv belebt und weist eine hohe Artenvielfalt auf. Die oberste Bodenschicht (bis 30 cm) enthält pro m<sup>2</sup> durchschnittlich 60000000000000 Bakterien, 1000000000 Pilze und 200 Regenwürmer. Das entspricht für jede einzelne dieser drei Gruppen einem Gewicht von 100 g. Bemerkenswert ist, dass 95% aller Insekten ein bodenbewohnendes Stadium durchleben.

### Regenwürmer – bester sichtbarer Beweis für einen belebten Boden

Regenwürmer fressen lange Gänge durch

Regenwürmer krümeln den Boden und erhöhen dadurch die Fruchtbarkeit des Bodens. Foto: Daniel Zwygart, FiBL.

*Les vers de terre creusent le sol et par là augmentent sa fertilité.*



das Erdreich. Dadurch vermischen sie Mineralisches und Organisches intensiv. Das nicht Verdaute wird an der Bodenoberfläche als Kothäufchen abgelagert. Dieser Regenwurmkot ist äusserst nährstoffreich und wasserstabil. Die Regenwurmgänge lockern und durchlüften den Boden. Durch sie kann Regenwasser in den Boden einsickern; dadurch wird der Bodenverschlammung und Erosion vorgebeugt. In den Gängen wachsen Wurzeln bevorzugt bis in einige Meter Tiefe.

Pilze und Bakterien helfen, abgestorbenes organisches Material in seine mineralischen Bestandteile zu zersetzen, die den Pflanzen wieder als Nährstoffe zur Verfügung stehen. Durch die Ab- und Umbauprozesse im Rahmen der mikrobiellen Tätigkeit entstehen die Huminstoffe, die eine dunkle Farbe haben und meist hochmolekulare, komplex aufgebaute Produkte sind.

### Eine besonders wichtige Gruppe von Bodenbewohnern

Die Mykorrhizapilze sind mit den Wurzeln in einer Symbiose vergesellschaftet und stellen eine besonders wichtige Gruppe von Bodenbewohnern dar. Sie liefern der Pflanze Nährstoffe und Wasser und erhalten von der Pflanze im Gegenzug Zuckerverbindungen aus der Photosynthese. Pro Zentimeter Wurzeln finden wir rund 10 m Mykorrhizapilzfäden. Diese erhöhen die Kontaktfläche zwischen Wurzel und Boden erheblich, erleichtern den Stoffaustausch und schützen die Wurzel vor Krankheitsregenern.

Eine weitere Symbiose zwischen der Pflanzenwurzel und den Knöllchenbakterien ist im biologischen Garten- und Landbau zentral: Knöllchenbakterien fixieren in Symbiose mit Leguminosen den elementaren Stickstoff aus der Luft. Davon profitieren direkt die Schmetterlingsblütler, aber über den Kreislauf Boden – Pflanze auch die Folgekulturen. Ökologisch bedeutungsvoll ist, dass über Mykorrhizahyphen Stickstoff von absterbenden Leguminosewurzeln auf nichtleguminöse Pflanzen transportiert und damit vor Auswaschung geschützt werden kann.

Auch wenn wir die im Boden sich abspielenden Prozesse erst ansatzweise verstehen, lässt sich doch erahnen, wie komplex die Lebensvorgänge im Boden sind. Durch intensive mechanische Eingriffe, Pflanzenschutzmittel oder leichtlösliche Mineraldünger wird die sensible Bodengemeinschaft empfindlich gestört.

### Bodennutzung und Bodenbelastung

Nur etwas mehr als ein Zehntel der Erdoberfläche lässt sich landwirtschaftlich sinnvoll nutzen. Davon ist die Hälfte, knapp 15 Mio.



Der Boden ist Lebensraum und Lebensgrundlage für eine riesige Zahl von Bodentieren und Kleinstlebewesen wie Bakterien und Pilze. Quelle: Reganold.

*Le sol est un espace vivant et un espace vital pour de nombreux animaux et micro-organismes comme des bactéries et des champignons.*



Konventionell bewirtschafteter Boden unter Weizen (oben) und langjährig biologisch-dynamisch bewirtschafteter Boden unter Weizen (darunter). Fotos: Andreas Fliessbach, FiBL.

*En haut: Sol planté de froment et travaillé de manière conventionnelle. En bas: Sol travaillé depuis longtemps en bio-dynamie également avec du froment.*

km<sup>2</sup>, bereits agrarwirtschaftlich bebaut. Dies reicht gegenwärtig aus, die 6,1 Milliarden Menschen zu ernähren. Hochrechnungen ergeben, dass die Weltbevölkerung bis in 50 Jahren auf 9,3 Milliarden angewachsen sein wird. Somit erhöht sich der Druck zur landwirtschaftlichen Nutzung von Land in weniger fruchtbaren Regionen, in denen nur ein sorgsamer Umgang mit dem Boden langfristig vertretbar ist. Doch die Fakten geben nicht eben zu Hoffnung Anlass. Bedenklich stimmt, dass durch intensive Landwirtschaft in den letzten dreissig Jahren weltweit etwa ein Drittel des fruchtbaren Ackerlandes unwiederbringlich durch Wassererosion verloren ging.

Von der Gesamtfläche der Schweiz (41 284 km<sup>2</sup>) werden heute rund 38 % landwirtschaftlich genutzt, 31 % sind mit Wald oder Gehölzen bewachsen, 25 % sind «unproduktives Land» und Gewässer und 7 % Siedlungsgebiet. Laut Umweltbericht 2002 sind von den einst 30 000 km<sup>2</sup> biologisch aktiven Bodens heute nur noch knapp zwei Drittel intakt. Rund 3 000 km<sup>2</sup> (9 %) wurden durch Überbauung zerstört. Weitere 9 400 km<sup>2</sup> (29 %) sind durch Erosion, Verdichtung oder Schadstoffe gefährdet. Schuld daran sind hauptsächlich die sich ausdehnenden Siedlungen und der zunehmende Verkehr sowie die Intensivlandwirtschaft.

## Problematischer Hilfsstoffeinsatz

Durch die Intensivlandwirtschaft gelangen jährlich etwa 1 600 t Wirkstoffe von Pestiziden zum Einsatz, wovon rund zwei Drittel direkt auf dem Boden landen. Schätzungs-

weise sind heute etwa 60 % der Wiesenböden mit Phosphor überversorgt. Durch die Überfrachtung gelangen diese Verbindungen ins Grund- und Oberflächenwasser, was zu belastetem Trinkwasser und zu überdüngten Seen führt.

Die Gartenfläche der Schweiz beträgt etwa 50 000 ha, was gut 3 000 durchschnittlichen Landwirtschaftsbetrieben entspricht. Eine Untersuchung des Buwal hat gezeigt, dass der Hilfsstoffeinsatz in Freizeitgärten hoch ist und dass Handlungsbedarf besteht: Ohne Verbesserungen sind die Artenvielfalt, das natürliche Beziehungsnetz zwischen Flora und Fauna, die selbstregulierenden Kräfte sowie die natürlichen Kreisläufe in Gärten gefährdet.

## Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit

Angesichts der grossen Belastungen, denen der Boden ausgesetzt ist, kommt dem sorgsamem Umgang mit dem Boden eine herausragende Bedeutung zu. Das Konzept für den Bodenschutz in der Schweiz hat zum Ziel, die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu bewahren. Für eine begrenzte Zahl von Schadstoffen sind Richt-, Prüf- und Sanierungswerte festgelegt worden. Der Richtwert dient dem langfristigen und vorsorglichen Schutz des Ökosystems Boden und seiner Funktionen im Naturhaushalt.

Wird der Richtwert eines Schadstoffs, zum Beispiel Blei, überschritten, erlassen die Kantone zusätzlich zu den Emmisionsbegrenzungen des Bundes weitergehende Begrenzungen. Bei Überschreitung des Prüfwertes, der auf eine mögliche konkrete ge-

sundheitliche Gefährdung hinweist, müssen Nutzungsbeschränkungen erlassen werden und eventuell wird der Boden saniert. Wird infolge zunehmender Belastung der Sanierungswert überschritten, heisst das, dass eine chemische Bodenbelastung die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen konkret gefährdet. Ein Nutzungsverbot und eine Sanierung müssen vorgenommen werden.

Bund und Kantone betreiben Bodenbeobachtungsnetze, um die Entwicklung der Bodenbelastung zu messen. Die wichtigsten Erkenntnisse sind, dass es in der Schweiz keine absolut unbelasteten Böden mehr gibt und dass die grössten zivilisatorischen Belastungen Blei, Kupfer, Cadmium und Zink betreffen. Eine erste Grobschätzung ergab, dass rund 10 % des Schweizer Bodens entsprechende Richtwertüberschreitungen aufweisen. Im Freizeitgartenbereich in Siedlungsgebieten sind die Belastungen mit anorganischen und organischen Schadstoffen durch Immissionen teilweise sehr hoch.

## Gärtnerische Praxis kann einen wichtigen Beitrag leisten

Auf Immissionen aus Verkehr, Industrie und Gewerbe hat der einzelne Gärtner oder die einzelne Gärtnerin wenig Einfluss. Dafür können sie aber als Bodennutzerinnen durch eine umweltverträgliche Bewirtschaftung einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit leisten. Der biologische Landbau verfolgt dieses Ziel sehr konsequent, indem er zum Beispiel ganz auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und Dünger verzichtet.

Kürzlich veröffentlichten das FiBL und die Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie Ergebnisse aus einem 21-jährigen Vergleichsversuch zwischen biologischen und konventionellen (integrierten) Anbausystemen. Das Hauptergebnis dieser im Wissenschaftsjournal «Science» veröffentlichten Studie lautet: Der Biolandbau fördert die Bodenfruchtbarkeit und die Artenvielfalt. Zudem produziert der Biolandbau effizienter, denn er braucht 97 % weniger Pflanzenschutzmittel und nur die Hälfte an Nährstoffen und Energie pro Flächeneinheit.

Das Wissen um eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung ist im biologischen Garten- und Landbau zwar gross. Oft mangelt es aber an einer konsequenten Umsetzung. Bezogen auf den Boden betrifft dies insbesondere Massnahmen im Bereich der Bodenbearbeitung, der Düngung, der Fruchtfolge und der Gründüngung sowie Massnahmen bezüglich der Vernetzung von landwirtschaftlichen Strukturen. Das FiBL bearbeitet zu diesen Themenkomplexen derzeit verschiedene Forschungsprojekte. ■

## Tipps für eine bodenschonende Bearbeitung

Für eine hohe Bodenfruchtbarkeit sind sowohl Zeitpunkt als auch Art der Bodenbearbeitung entscheidend.

Wenn mit einem Traktor gearbeitet wird, so ist der Hochsommer oder der leicht gefrorene Boden im Winter eine Zeit, in welcher der Boden gut tragfähig ist und Regenwürmer sich häufig ausserhalb des Bearbeitungshorizonts befinden. Der Boden soll dabei nur so viel wie nötig bearbeitet werden. Gezogene Geräte (z. B. eine Federzinkenegge) sind zapfwellengetriebenen Maschinen vorzuziehen. Ähnlich ist es bei Einachsgeräten: Langsamdrehende Motorhacken stören das Bodengefüge weniger als eine angetriebene Bodenfräse oder gar eine Umkehrfräse.

Nicht immer kann auf ein intensiver arbeitendes Gerät verzichtet werden – in diesem Fall gilt es zu beachten, dass der Boden gut abgetrocknet ist. Generell sollte der Bodendruck minimiert werden.



Die Umkehrfräse beansprucht den Boden durch die entgegengesetzt schnell laufende Welle stark. Sie sollte daher nur bei besonders guten Bodenverhältnissen eingesetzt werden und wenn ein sehr feines Beet benötigt wird. Foto: Anja Vieweger, FiBL.

Dies kann durch die Wahl leichter Geräte, eine Doppelbereifung und einen verminderten Pneu- druck erreicht werden. **Martin Koller, FiBL**