

Wege in eine Ressourcen aufbauende Landwirtschaft

von Stefan Schwarzer

Das Problem ist offensichtlich - wird aber nur von einer kleinen Gruppe von Menschen gesehen. Die negativen Entwicklungen in der Landwirtschaft seit Ende des Zweiten Weltkrieges sind besorgniserregend. Viele glauben weiterhin, mit einem immer weiter steigenden technologischen Einsatz immer mehr produzieren zu können – mit tonnenschweren Traktoren, riesigen Erntemaschinen, chemischem Dünger, Pestiziden. Das geht jedoch auf Kosten der Natur, des Bodens, der Artenvielfalt, der Anmut der Landschaft; aber auch auf Kosten der Steuerzahler und der zukünftigen Bewohner dieser Erde. Einige der Folgen: Bodenerosion und massiver Verlust fruchtbarer Böden; Artensterben bei Vögeln, Insekten, Bestäubern und im Bodenleben; Klimakrise und Wetterextreme; Gifte, die im Boden, in den Bächen, im Grundwasser und auch in Lebensmitteln landen; Genmanipulation von Pflanzen mit noch nicht abschkbaren Folgen; gesundheitsgefährdende Nitratbelastung des Grundwassers; Ausweitung der „Todeszonen“ in Meeren durch Nitratbelastung; Ausbeutung nicht erneuerbarer Grundwasservorräte usw. ¹⁻⁷

Die Natur erfüllt sehr verschiedene Funktionen für das Überleben unserer Spezies: das Filtern von Luft und Wasser, die Speicherung von Wasser und die Gesundhaltung von Böden. Die Natur lässt Lebensmittel sprießen und Heilpflanzen wachsen, sie ist Quelle von Erholung und Inspiration. Viele dieser Dienstleistungen werden aber durch die Praktiken der industriellen Landwirtschaft zerstört - woran weniger „die Bauern“ schuld sind, als wir als Gesellschaft, die dieses System (mit)entwickelt haben und es weiterhin durch den Kauf billiger Lebensmittel stützen.

Boden ist extrem wertvoll und zugleich ein faszinierendes, fast schon unglaubliches Ökosystem: Er ist kaum erneuerbar, denn er "wächst" in etwa 100 Jahren nur einen Zentimeter. Ein Teelöffel gesunde Erde beherbergt mehr Mikroorganismen, als es Menschen auf der Erde gibt; diese Handvoll enthält bis zu 50.000 verschiedene Bakterientypen, mit tausenden Arten von Pilzen, Protozoen, Nematoden und Milben ⁸. Die Regenwürmer, die sich in einem Hektar gesunden Wiesenbodens tummeln, bringen mehr Gewicht auf die Waage als die Kühe, die oben auf der Wiese grasen ⁹. Neueste Untersuchungen bestätigen, was Wissenschaftler schon Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckten: dass das Bodenleben eine extrem wichtige Rolle im Zusammenspiel mit dem Wachstum der Pflanze einnimmt ¹⁰⁻¹³. Nur gesunde Erde produziert auch gesunde, nährstoffreiche und gut schmeckende Pflanzen. Agroindustrielle betreiben jedoch eine Art der Landnutzung, die zur Verarmung führt und der Menschheit quasi den Boden unter den eigenen Füßen wegzieht. Die Abbauraten fruchtbaren Bodens sind bis zu 100 mal größer sind als die Erneuerungsrate ^{7,14-17}, was dazu führt, dass wir noch "Boden für 60-100 Ernten haben" ¹. Global gehen pro Jahr und Kopf 8 kg Boden verloren. Pestizide töten nicht nur Beikräuter, Fäulnispilze und Schadinsekten, sondern gleichzeitig einen Teil der Bodenlebewesen, der dort wohnenden Pilze, Bakterien und Insekten. Kunstdünger tötet das Bodenleben ab, indem die Synthese zwischen Pflanzenwurzeln und Mykorrhiza-Pilzen gestört wird ¹⁸⁻²⁰. Tiefes Pflügen bringt die Bodenschichten durcheinander, womit auch jedes Mal ein Teil der Bodenorganismen sterben und der Boden Wind und Regen ungeschützt ausgesetzt ist. Und schwere Maschinen verdichten die Erde so, dass sie kaum mehr Wasser speichern kann, dafür aber Lachgas freisetzt – was etwa 300 Mal so klimaschädlich ist wie CO₂.

Viele Landschaften sind heute verarmt. Chemieintensive Monokulturen, im steigenden Maße angebaut zur Biogasproduktion, leisten keine "Sicherung der zukünftigen Nahrungsmittelproduktion". Wie sollen kommende Generationen auf Flächen, in denen kaum mehr etwas lebt, noch Nahrung produzieren? Auf Böden, die kaum noch Humus haben und immer dünner werden? In Landschaften, die nur noch ein Bruchteil von Tieren und Pflanzen Lebensraum bieten, wenn man sie mit jenen vor 50, 100 oder 250 Jahren vergleicht ²¹⁻²⁴?



Abb. 1: Weil die meisten Äcker viele Monate im Jahr teilweise unbedeckt sind, wird Boden durch Wind und Regen abgetragen.
Quelle: Stefan Schwarzer

¹ <http://www.fwi.co.uk/news/only-100-harvests-left-in-uk-farm-soils-scientists-warn.htm>, <https://www.scientificamerican.com/article/only-60-years-of-farming-left-if-soil-degradation-continues/>

Eine ökologische Agrarwende ist bitter nötig. Viele Ökobauern versuchen mit Überzeugung, Energie und Ausdauer eine Veränderung zum Guten zu erreichen. Doch daneben gibt es auch "ökologisch" wirtschaftende Landwirte, die weiterhin agroindustriell denken und nur "konventionell ohne Chemie" arbeiten, weil Produkte mit dem Label "Bio" mehr Geld einbringen. Sie pflügen weiter in großem Stile, bauen Monokulturen an, fahren mit schweren Maschinen über die Äcker, bewässern mit nicht erneuerbarem Grundwasser. Der Begriff der "ökologischen Landwirtschaft" ist, wie jeder Oberbegriff, unklar und schwammig. Was heißt es genau, biologisch zu wirtschaften?

Der Begriff „nachhaltige Landwirtschaft“ ("sustainable agriculture") klingt zunächst gut. Die Praxis ist es oft nicht. Auch diese Form der Agrikultur ist zu oft ressourcenerstörend, wenn sie es nicht schafft, Boden, Wasser und Ökosysteme zu erhalten. Und wenn nur bewahrt wird ("to sustain = bewahren"), was da ist, dann auch verarmte und vergiftete Böden, eine dezimierte Tier- und Pflanzenwelt, reduzierte Rückhalt- und Filtermöglichkeiten für Wasser. Das reicht für ein gutes Leben unserer Enkel aber sicher nicht.

Ist eine "zukunftsfähige" Landwirtschaft überhaupt möglich – oder nicht ein Widerspruch in sich selbst? Fast alle großen Zivilisationen sind durch die Bearbeitungsmethoden der Landwirtschaft zusammengebrochen. Ob in Mesopotamien, bei den alten Griechen oder Römern, bei Mayas und Azteken oder auch ackerbaulich wirtschaftenden Indigenen in den USA: In allen Fällen war der Verlust an Boden nach einigen Jahrhunderten so groß, dass nur noch eine dünne Ackerkrume übrig blieb. David Montgomery und Jared Diamond führen das in ihren Büchern "Dreck" bzw. "Kollaps" sehr anschaulich aus.

Orientierung an der Natur

Um eine Ressourcen aufbauende Landwirtschaft zu entwickeln, müsste man die Praxis vieler Ökobetriebe noch übertreffen. Nötig ist eine regenerative Agrikultur, die die ausgebeuteten Ressourcen auffüllt, aufbaut, regeneriert. Dieser Ansatz ist aus der Permakultur inspiriert.

Die Natur ist eine ressourcenaufbauende und regenerative Kraft: Eine von Erdbeben oder Steinschlag zerstörte Bodenschicht wird innerhalb weniger Jahre durch Flechten, Moose und Pflanzen wieder besiedelt, die den Boden so stark verbessern, dass bald auch die ersten Sträucher und Bäume wieder wachsen. Nach einigen Jahren oder wenigen Jahrzehnten kann sich langsam erneut ein Wald entwickeln. Gleiches gilt für zerstörte Mangrovenwälder oder Korallenriffe, vergiftete Gewässer, verödete Meere, fast dezimierte Pflanzen- und Tierarten: Gibt man der Natur Zeit und Raum, unterstützt man sie in ihrer beeindruckenden Regenerationsfähigkeit, so schafft sie es immer wieder erstaunlich schnell, das Wiedergutzumachen, was Menschen zerstört haben.

Ein Schlüsselement für eine aufbauende Landwirtschaft ist der Humusaufbau. Humus besteht im Wesentlichen aus abgestorbenen Organismen und deshalb zu mehr als der Hälfte aus organischem Kohlenstoff. In früheren Zeiten lag der natürliche Anteil des Humus im Boden noch bei stolzen fünf bis zehn Prozent, heute ist er meist auf ein bis zwei Prozent gesunken, nahe der FAO-Klassifikation von „Wüstenböden“. Tiefes Pflügen und Agrochemie setzen Kohlenstoff frei, der in der Luft zum Treibhausgas CO₂ oxidiert. Die Klimaveränderung wird zu deutlichen Anteilen auch von der Landwirtschaft verursacht²⁵. Aber regenerative Agrikultur kann hier das Problem zur Lösung machen, indem sie den Kohlenstoff mittels Humusaufbau dorthin zurückbringt, wo er herkommt: in den Boden.

Humus ist enorm wichtig für Bodenfruchtbarkeit, sichere Ernten und gesunde Lebensmittel. Pro Hektar speichert ein Prozentpunkt mehr Humus 100 Tonnen CO₂, 130.000 Liter Wasser und viele Nährstoffe. Humose Böden sind in der Lage, Dürrezeiten zu überstehen und Überschwemmungen zu trotzen, indem sie in ihren Bodenporen riesige Mengen Wasser aufnehmen. Und sie könnten die Erderwärmung entscheidend abmildern: Ein Prozent mehr Humus auf den globalen Böden könnte den CO₂-Anteil in der Luft auf ein weitgehend ungefährliches Maß bringen²⁶⁻²⁸.

Die Förderung von Biodiversität ist ein weiterer wichtiger Faktor. Die Natur arbeitet mit einem riesigen Pool genetischer Vielfalt. Auf diese Weise entstehen widerstandsfähige Ökosysteme. Monokulturen sind das Gegenteil davon: Fällt eine Pflanze Wetterwidrigkeiten oder Fressfeinden zum Opfer, ist die ganze Ernte dahin. Mischkulturen und Fruchtfolgen sind also ein „Muss“ der regenerativen Agrikultur.



Abb. 2: Dieser Boden hat mehrere Jahren keinen Pflug mehr gesehen, aber dafür viel Handarbeit und Kompost. Quelle: Stefan Schwarzer

In der Natur ist der Boden mit ganz wenigen Ausnahmen immer bedeckt. Zerstört ein Erdbeben, eine Lawine oder ein Brand die Vegetationsschicht, dauert es meist nicht lange, bis sie wieder von kleinen und bald größeren Pflanzen bewachsen ist. Daraus kann man lernen: Der Boden sollte ständig bedeckt sein.

Und man kann mit Pflanzen arbeiten, die über viele Jahre und Jahrzehnte nutzbar sind. Ein Beispiel: Es gibt in Italien Kastanien, die über tausend Jahre alt sind². 1.000 Jahre, in denen nicht gepflügt werden musste, nicht gewässert, nicht gespritzt. Sondern einfach nur im Herbst geerntet. Ein Zeugnis des nachhaltigen Wirtschaftens der Natur. Wie sähe der Boden und die Landschaft aus, wenn Kohlenhydrate weniger aus Getreide und mehr aus Kastanien, Wal- und Haselnüssen gewonnen würden?

Was wiederum ein anderes Problem lösen könnte: Menschliche Nahrung ist seit der Entwicklung der Landwirtschaft sehr einseitig geworden – zum Nachteil unserer Gesundheit. Jäger und Sammler bezogen nur 20 bis 30 Prozent ihrer Nahrung aus Kohlenhydraten, die modernen Menschen aber zu 70 Prozent, zumeist aus nur vier Sorten: Weizen, Reis, Mais, Kartoffel. Getreide bietet jedoch wenig Vitamine oder Mineralstoffe. So manche "Zivilisationskrankheit" kann man auf deren hohen Konsum zurückführen.

Aufbauende Bewirtschaftung

Es gibt viele Methoden der "aufbauenden Landwirtschaft". Als Vorbild sollte immer wieder dienen, wie die Natur es macht. Schließlich hat sie Millionen von Jahren Forschung und Entwicklung (neudeutsch: Research & Development) hinter sich; eine Zeit, wo sie viel ausprobiert und unzählige Erfolge erzielt hat. Von ihr kann man sich mindestens fünf wichtige **Prinzipien** abschauen:

1. Die Bodenoberfläche ist in der Natur immer geschützt. Entweder durch totes Material wie das Laub im Wald. Oder durch lebende Pflanzen, die den Boden bedecken.
2. In der Natur gibt es (so gut wie) keine mechanische Störung. Sieht man von Wildschweinen oder Erdbeben ab, wird der Boden nicht gewendet und gepflügt.
3. Das Credo der Natur ist die Vielfalt: Pflanzengemeinschaften und Tiergemeinschaften im Boden und im Wasser.
4. Pflanzen und Boden sind verbunden durch ein dauerhaftes Wurzelnetzwerk. Es gibt über das Jahr verteilt keine Phasen, wo in der Wiese oder im Wald keine Pflanzen wachsen würden. Selbst bei größter Trockenheit oder im kältesten Winter sind Boden und Pflanzen miteinander verbunden.
5. In den großen Steppenlandschaften der Erde, wo sich die fruchtbarsten Böden befinden, lebten über Millionen Jahre hinweg Tiere und Pflanzen in enger Symbiose. Das Gras konnte nicht leben ohne den Verbiss und die Düngung durch die Tiere – und die Tiere nicht ohne das Gras.

Raul Francé und Rudolf Steiner vertraten schon Anfang des 20. Jahrhunderts die Ansicht, dass das Bodenleben die Schlüsselstelle für alles pflanzliche Leben ist. Pflanzen pumpen bis zu 70 Prozent ihrer über die Photosynthese hergestellten Kohlenhydratverbindungen, v.a. Zucker, über die Wurzeln in den Boden^{11,13,29–32}. Dort finden sich unzählige Bakterien, die von der Zuckerlösung leben und den Pflanzen dafür wertvolle Nährstoffe liefern. Und die vielleicht wichtigste Symbiose in der Geschichte des Lebens ist die zwischen Pflanzenwurzeln und Mykorrhiza-Pilzen. Letztere bilden Fäden, die bis zu hundertmal feiner sind als die Pflanzenwurzeln. Die Pflanzen liefern ihnen Zucker, sie liefern im Gegenzug Wasser und Nährstoffe, die sie aus Boden und Gestein lösen, etwa Phosphor^{30,32–35}. In nur 20 Gramm gesundem Boden finden sich Pilzfäden von etwa einem Kilometer Länge. Pilze und Bakterien speichern aber auch Kohlenstoff im Boden, was zu einem höheren Humusgehalt führt; sie verkleben Bodenpartikel, was die Bodenstabilität, Durchlüftung und Wasserspeicherfähigkeit verbessert.

Deshalb sollte der Boden so wenig wie möglich gestört werden. Gepflügt werden sollte nur in Sondersituationen oder alle paar Jahre. Ansonsten sollte eine **pfluglose Kombination mit Direktsaat** erfolgen, oder zumindest eine **Minimal-Bodenbearbeitung**, die in nur wenigen Zentimetern Bodentiefe arbeitet. Dies erhält das Bodenleben und stört Pilzhyphen und Bodenbakterien nicht oder nur wenig^{36–40}. Wird in eine bestehende Bodenbedeckung eingesät, bleibt der Boden vor Erosion geschützt und nährt direkt (über die lebende Kultur) und indirekt (über Mulch- oder absterbendes Material) das Bodenleben. Für die Direktsaat



Abb. 3: Untersaaten schützen und beleben den Boden. Quelle: Andy Howard

² https://de.wikipedia.org/wiki/Kastanienbaum_der_hundert_Pferde

wird eine stehende Zwischenfrucht per Messerwalze umgeknickt, sodann wird ein schmaler Riss in den Boden gezogen, in den die Samen der Hauptfrucht gesät werden. Die bestehende Pflanzendecke kann langsam absterben und vom Bodenleben verstoffwechselt werden. Gleichzeitig schützt das den Boden vor Starkregen und Austrocknung.

Für eine ständige Bodenbedeckung in Hauptkulturen wie Getreide und Mais sorgen **Untersaaten**. Das können Leguminosen sein wie Kleearten oder auch Gräser wie das Weidelgras, was zunehmend im Maisanbau Verwendung findet. Untersuchungen zeigen, dass das die Hauptfrucht kaum im Wachstum hindert, sie sogar unterstützen kann und erfolgreich unerwünschtes Beikraut unterdrückt⁴¹⁻⁴⁴. Untersaaten füttern das Bodenleben, und stellen Nektar, Pollen und Samen für Insekten und Vögel zur Verfügung, was wiederum zu einem geringeren Schädlingsdruck führt (Germeier, 2000; Hartwig and Ammon, 2002; Pfeiffer et al., 2015; Schmidt et al., 2007). Und sie wandeln im Sommer, wenn das Getreide ausreift und fast keine Photosynthese mehr betreibt, Sonnenlicht in Energie um. Das steigert wiederum die Bodenfruchtbarkeit. Landwirte sind „Sonnen-Ernter“ und sollten sich auch als solches begreifen. Ein US-Landwirt drückte es so aus: „Ernte Sonne!! Ich möchte niemals vergeudete Sonne auf meinem Betrieb haben!“

Zwischenfrüchte haben sich in Deutschland und Europa weit etabliert, zumeist in der Winterzeit. Pflanzen haben ein unterschiedliches Wachstumsverhalten, wurzeln in verschiedenen Bodentiefen und lockern den Boden mit dicken Pflanzschäften oder tiefreichenden Wurzeln, weshalb Mischungen verwendet werden sollten. Sie regenerieren den Boden, ernähren das Bodenleben, erhöhen mit den Wurzeln und Wurzelabscheidungen den Humusgehalt und beugen Schädlingen vor⁴⁵⁻⁵⁰.

Große **Fruchtfolgen** sind in der Öko-Landwirtschaft altbekannt und weit verbreitet. Mehrjährige Fruchtfolgen schalten die Vermehrung von unerwünschten Fraßinsekten fast komplett aus. Sie fördern die Bodenfruchtbarkeit durch vielseitige „Ernährung“ des Bodenlebens und Nutzung unterschiedlicher Nährstoffe. Wer Leguminosen in die Fruchtfolge integriert, gibt dem Boden die Möglichkeit, sich zu regenerieren und Stickstoff aufzubauen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich verschiedene Pflanzenarten, die zusammen aufwachsen, gegenseitig stärken können. Damit verändert sich das darwinistisch geprägte Bild des angeblich ewigen Konkurrenzkampfes in der Natur hin zu einem Bild der allumfassenden Kooperation. Dieses Zusammenspiel kann man sich zunutze machen, um statt Monokulturen **Mischkulturen** zu säen. Bei der Hauptfrucht wird womöglich etwas weniger geerntet, dafür aber kann eine Nebenfrucht zusätzlich gewonnen werden, der gesamte Ernteertrag steigt. Vor allem der Anbau von Leguminosen in Mischkulturen bietet viele Vorteile: Er erweitert die Fruchtfolge, bringt Stickstoff in den Boden und liefert wertvolle Eiweiße. Mischkulturen haben höchst unterschiedliche Blätter aufzuweisen, die das Sonnenlicht insgesamt besser ausnutzen können als eine Einzelkultur, und unterschiedliche Wurzelsysteme, die die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen aus verschiedenen Tiefen ermöglichen. Zudem führt eine höhere Bodenbedeckung zu einer besseren Unterdrückung von Beikräutern. Fraßfeinde und Pflanzenkrankheiten treten seltener auf.⁵¹⁻⁵⁴

Vielfalt schützt: So auch im Falle von »Schädlingen«. Auf jedes Schadinsekt kommen 400-1700 »vorteilhafte« **Insekten**, von denen eine Vielzahl eben jene »Räuber« sind, die sich über die Eier, Larven oder Schädlinge direkt hermachen, sie parasitieren oder sonstwie »aus dem Gefecht« bringen. Hilfreich für eine ausgeglichene Entwicklung zwischen Schad- und Nutzinsekten ist z.B. eine ständige Bodenbedeckung, in der sich die Kriechtiere wohl fühlen, und Blühstreifen am Ackerrand, die nachweislich Schädlingspopulationen unter einem Schwellenwert halten, wo sich das Spritzen mit Insektiziden nicht als sinnvoll erweist und zu einer erhöhten Ernte führen können.^{18,55-58}



Abb. 4: Vielfalt fördern, Schädlinge minimieren. Quelle: Matthias Tschumi

Die Zufuhr von gutem **Kompost** hilft der Aktivierung des Bodenlebens – der Schlüsselstelle für gesundes Wachstum der Pflanzen. Untersuchungen auf Wiesen haben gezeigt, dass sogar eine einmalige Kompostzugabe über mehrere Jahre das Pflanzenwachstum förderte⁵⁹⁻⁶¹ – was ein Hinweis sein könnte, dass es nicht um die reine Nährstoffzugabe geht, sondern dass Kompost als Katalysator für positive Entwicklungen im Pflanzen-Boden-Geflecht dient.

Die **Integration von Tieren in den Ackerbau** war in vergangenen Zeiten weit verbreitet. Das Vieh kann die Erntereste oder die Gründüngung abweiden – was wiederum nach dem Winter den Einsatz von Glyphosat ersparen kann. Dazu fördern die Ausscheidungen der Tiere die Bodenfruchtbarkeit. Auch eine Umwandlung eines



Abb. 5: Mobgrazing ahmt das Herdenverhalten von Gnus, Bisons und anderen Tieren nach. Quelle: Tom Chapman

Acker in eine Weide macht sich über die Folgejahre durch gesteigerte Bodenfruchtbarkeit bemerkbar. Vor allem dann, wenn wie beim **Mob-Grazing** Nutztiere relativ dicht gehalten, aber nur ein bis drei Tage auf einer kleinen Parzelle geweidet werden – nach dem Vorbild der Gnu-Herden Ostafrikas oder der Bisons in Nordamerika. Praktiker in den USA berichten von einer deutlichen Zunahme der Bodenfruchtbarkeit, wenn Wiesen und Weiden nicht dem ständigen Verbiss der Tiere ausgesetzt sind, sondern sich zwischendrin erholen können⁶²⁻⁶⁹. Ein Teil des Grases wird durch die Tiere in den Boden getreten und fördert als Mulchmaterial das Bodenleben, bedeckt ihn und schützt vor Austrocknung. Mob-Grazing wird oft mit dem **Holistischen Weidemanagement** verbunden, welches Allan Savory³ (mit)entwickelt hat. Savory beschäftigte sich mit Methoden, um die fortschreitende Wüstenbildung in Zimbabwe zu verhindern, und fand heraus, dass die Tiere nicht das Problem, sondern die Lösung sind. Er entdeckte, dass Savannen und andere grasdominierte Landschaften den Herdendruck, den Dung, die Bewegung der Tiere und die längere Ruhepause brauchen. Und entwickelte daraus das System des **Holistischen Managements**, mit dem Betriebe ihre ökonomischen, sozialen und ökologischen Ziele planen und erreichen können.



Abb. 6: Keyline Design - höhenparallele Bearbeitung, Wasser auf dem Gelände halten, Boden aufbauen. Quelle: Midwest ARS

Landschaftsgestaltung, Bodenaufbau und Wassermanagement steht im Fokus des **Keyline-Designs**⁷⁰. Das Ziel ist es, die Wasserhaltekapazität der Landschaft zu maximieren, Regenwasser dort im Boden zu speichern, wo es fällt, sowie Wasserüberschuss ökonomisch profitabel speichern und nutzen zu können. Erfunden hat es der australische Bauer und Ingenieur P.A. Yeomans in den 1950er Jahren. Schlüsselpunkte („Keypoints“) zeigen an, wo in einer hügeligen Landschaft sinnvoll Wasser gespeichert werden kann. Schlüssellinien („Keylines“) beeinflussen seine Strömungsrichtung im Gelände. Sie werden mit einem speziellen Tiefenlockerer gezogen, der den Boden aufschlitzt und in 20 bis 30 Zentimeter Tiefe leicht anhebt. Das bringt mehr Sauerstoff und Wasser in den Boden, was zu stärkerem Wurzel- und Pflanzenwachstum führt und damit Humus aufbaut. Yeomans hat den Umgang mit Boden revolutioniert:

Statt natürlichen Entstehungsraten von wenigen Zentimetern Boden in Jahrhunderten erreichte er Raten von mehreren Zentimeter im Jahr. Plus dauerhaftes, produktives Grün selbst in Zeiten australischer Sommerdürren. Kombiniert mit Dämmen, Seen, Hecken und Bäumen entlang der Gräben, ist Keyline-Design eine Methode der Landschaftsregeneration, die Permakultur-Designer und innovative Bäuerinnen weltweit einsetzen. Vor allem in versteppten und halb verwüsteten Gebieten zeigt sie enorme Erfolge.

Die **Wasserspeicherung** in Böden, Vegetation und Gewässern ist ein wichtiger Baustein, nicht nur um in Zeiten vermehrter Trockenheit mehr Wasser für die Pflanzen zur Verfügung zu haben. Es geht, wie Michael Kravčik, Autor eines »neuen Wasserparadigmas«, formuliert⁷¹, »bei einem gesunden Wasser-Management nicht darum, Wasser zu speichern, sondern darum, den Regen zurückzubringen«. Denn die gespeicherte Feuchtigkeit ermöglicht Verdunstung - und damit Niederschlag an einem anderen Ort, und damit das Schliessen von kleinen Wasserkreisläufen.

Die Integration von Bäumen in die Äcker (**Agroforstwirtschaft**) kann verschiedene positive Wechselwirkungen ergeben⁷²⁻⁷⁴: Bäume pumpen aus größeren Bodentiefen Wasser und Nährstoffe herauf – was sie widerstandsfähiger gegen Trockenheit macht, das Mikroklima ausgleicht und den Boden über den Laubfall im Herbst nährt. Zudem können Bäume den Wind bremsen, was die Bodenerosion vermindert. Sie schützen den Boden vor Regen und halten ihn viel besser zusammen, sodass Wassererosion kaum mehr vorkommt. Bäume bieten Nahrung und Lebensraum für Insekten und Vögel – interessante Gegenspieler für Schadinsekten in den umliegenden Feldern. Sie bieten zudem Einkommensmöglichkeiten über die Vermarktung von Früchten, Nüssen und Holz und erhöhen damit insgesamt die Ackererträge. Agroforstsysteme können mit Feldfrüchten, Gemüseflächen oder Tieren kombiniert werden.



Abb. 7: Die Verbindung von Bäumen und Ackerbau bietet viele Vorteile. Quelle: Christian Dupraz, INRA

Waldgärten in tropischen und subtropischen Breiten sind äußerst fruchtbar und werden neuerdings auch in Europa und Nordamerika kopiert. Sie bestehen aus hoch wachsenden Obst- oder Nussbäumen, Obst-Halbstämmen, größeren und

³ <https://www.youtube.com/watch?v=vpTHi7O66pl>

kleineren Beeren- und Nuss-Sträuchern, essbaren Stauden und Bodenbedeckern. Dadurch entsteht ein komplettes Ökosystem, das Wasser speichert, den Boden schützt und Ernten liefert, ohne viel Pflege nötig zu haben. **Mehrjährige Gemüsekulturen** wie Taubnessel, Süßdolde, Staudenkresse oder Wiesen-Knöterich, die in europäischen Waldgärten oft gepflanzt werden, sind weniger empfindlich gegenüber Schnecken und Trockenheit und liefern viele gesunde Nährstoffe.

Die Anwendung von **Pflanzenkohle** ist durch die Entdeckung der äußerst fruchtbaren Schwarzerde-Böden im Amazonas bekannt geworden. Diese „Terra Preta“, wie Schwarzerde auf Portugiesisch heißt, ist menschengemacht. Indigene mischten dafür organische Abfälle und Pflanzenkohle und fermentierten sie in großen Tongefäßen unter Sauerstoffabschluss. Das Ergebnis machte ihre Waldgärten extrem fruchtbar. Heutzutage kann man solche Holzkohle klimafreundlich über die Verschmelzung in modernen Pyrolyse-Anlagen herstellen. Oder in billigen Metallbehältern oder Erdlöchern selbst produzieren. Wird diese Pflanzenkohle in den Kompost gegeben, wird sie „biologisch aufgeladen“: Ihr riesiges Volumen an Poren füllt sich mit Wasser und Nährstoffen. In den Boden zurückgebracht, belebt sie das Bodenleben und führt zu einer erhöhten Bodenfruchtbarkeit^{75–77}. Zudem ist sie sehr klimafreundlich oder „klimapositiv“, weil der Atmosphäre pro Kilogramm verkohlter Pflanzenreste gut drei Kilogramm CO₂ entzogen werden.

Es gibt noch weitere regenerative Methoden, die aber aus Platzgründen hier nicht alle vorgestellt werden können. Attraktiv erscheint auch die Kombination mit einer anderen Wirtschaftsweise, etwa der **Solidarischen Landwirtschaft**. Wenn die Konsumentinnen „ihren“ Bauern ein Jahr im Voraus die Produktionskosten bezahlen, entstehen Sicherheit für die Landwirte und neue Verbindungen zwischen Stadt und Land. Bauernhöfe sind damit dem brutalen Prinzip „Wachse oder weiche“ nicht länger ausgeliefert, das in den vergangenen 50 Jahren 19 von 20 Familienbetrieben zum Aufgeben zwang.

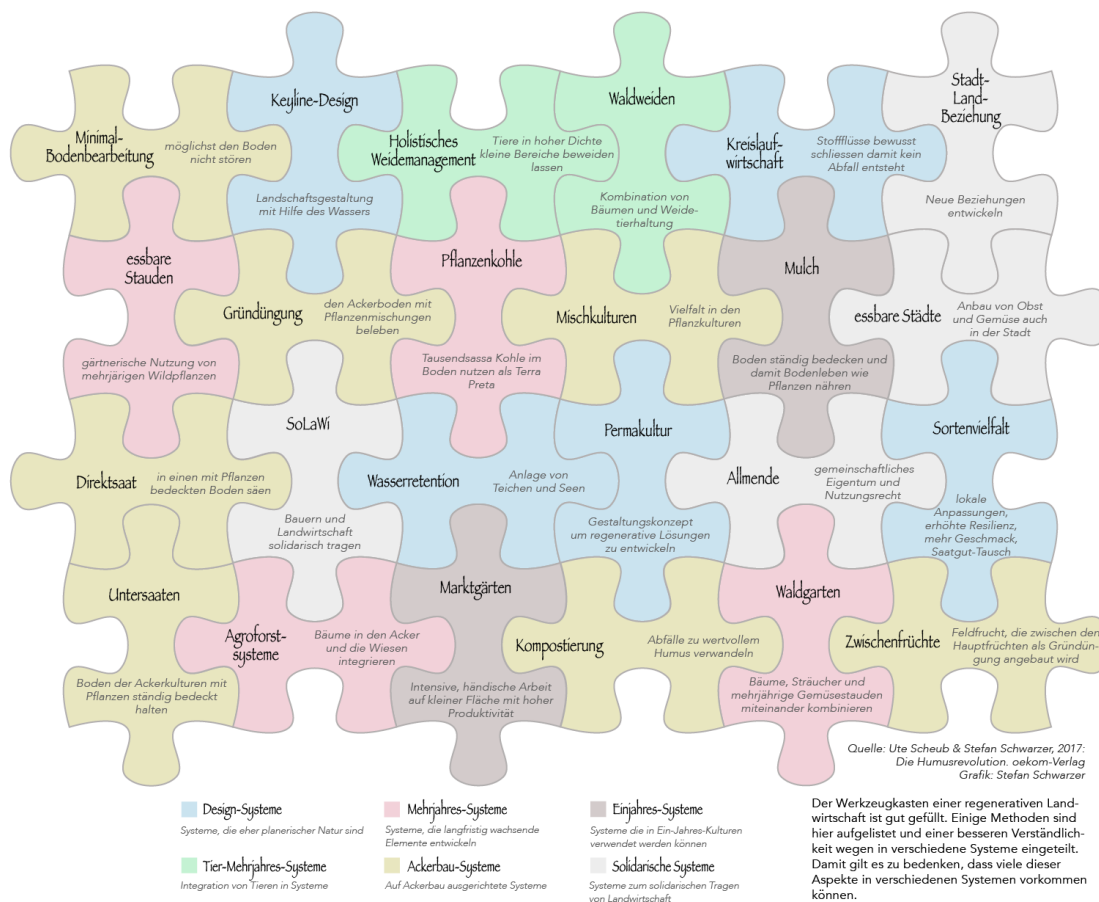


Abb. 8: Werkzeugkasten einer regenerativen Landwirtschaft, der einige der möglichen Methoden zeigt.

Stefan Schwarzer ist Physischer Geograf und Permakultur-Designer. Er arbeitet seit 18 Jahren für das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) in Genf, wo er sich mit globalen Umweltthemen beschäftigt. Die Verbindung globaler Interessen und Ziele mit lokalen Handlungen, vor allem in Form von einer aufbauenden Landwirtschaft in Anlehnung an die Permakultur, ist eines seiner Hauptanliegen. Er ist Co-Autor des Buches „Die Humusrevolution“ und Initiator des Symposiums „Aufbauende Landwirtschaft“. Er lebt seit Ende 2012 in der Lebensgemeinschaft Schloss Tempelhof.“

Bibliographie

1. Biodiversity International. Mainstreaming Agrobiodiversity in Sustainable Food Systems: Scientific Foundations for an Agrobiodiversity Index. (2016).
2. FAO. *The future of food and agriculture: trends and challenges*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017).
3. FAO & ITPS. Status of the World's Soil Resources. 94 (2015).
4. *Agriculture at a crossroads*. (Island Press, 2009).
5. Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., Turrall, H. & Burke, J. *Water pollution from agriculture: a global review - Executive summary*. (FAO, 2017).
6. Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. Global Gray Water Footprint and Water Pollution Levels Related to Anthropogenic Nitrogen Loads to Fresh Water. *Environ. Sci. Technol.* **49**, 12860–12868 (2015).
7. Pimentel, D. & Burgess, M. Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture* **3**, 443–463 (2013).
8. Phillips, M. *Mycorrhizal Planet: How Symbiotic Fungi Work with Roots to Support Plant Health and Build Soil Fertility*. (Chelsea Green Publishing, 2017).
9. Idel, A. *Die Kuh ist kein Klima-Killer: Wie die Agrarindustrie die Erde verwüstet und was wir dagegen tun können*. (Metropolis, 2010).
10. Babikova, Z. *et al.* Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecol. Lett.* **16**, 835–843 (2013).
11. Eisenhauer, N. *et al.* Root biomass and exudates link plant diversity with soil bacterial and fungal biomass. *Sci. Rep.* **7**, 44641 (2017).
12. Lehman, R. *et al.* Understanding and Enhancing Soil Biological Health: The Solution for Reversing Soil Degradation. *Sustainability* **7**, 988–1027 (2015).
13. Steinauer, K., Chatzinotas, A. & Eisenhauer, N. Root exudate cocktails: the link between plant diversity and soil microorganisms? *Ecol. Evol.* **6**, 7387–7396 (2016).
14. Lal, R., Reicosky, D. C. & Hanson, J. D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Res.* **93**, 1–12 (2007).
15. Montgomery, D. R. *Dirt: The Erosion of Civilizations*. (Univ of California Pr, 2008).
16. Montgomery, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **104**, 13268–13272 (2007).
17. Panagos, P. *et al.* The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Policy* **54**, 438–447 (2015).
18. Altieri, M. A. & Nicholls, C. I. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil Tillage Res.* **72**, 203–211 (2003).
19. van der Heijden, M. G. A. *et al.* Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**, 69–72 (1998).
20. Zaller, J. G., Heigl, F., Ruess, L. & Grabmaier, A. Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Sci. Rep.* **4**, (2015).
21. Butler, S. J., Vickery, J. A. & Norris, K. Farmland Biodiversity and the Footprint of Agriculture. *Science* **315**, 381–384 (2007).
22. Habel, J. C. *et al.* Butterfly community shifts over two centuries. *Conserv. Biol.* **30**, 754–762 (2016).
23. Hallmann, C. A. *et al.* More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* **12**, e0185809 (2017).
24. Hallmann, C. A., Foppen, R. P. B., van Turnhout, C. A. M., de Kroon, H. & Jongejans, E. Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature* **511**, 341 (2014).
25. IPCC. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 28 (IPCC, 2013).
26. Griscom, B. W. *et al.* Natural climate solutions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **114**, 11645–11650 (2017).
27. Lal, R. Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. *Food Secur.* **2**, 169–177 (2010).
28. Soussana, J.-F. *et al.* Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000 - soils for food security and climate' initiative. *Soil Tillage Res.* (2017). doi:10.1016/j.still.2017.12.002
29. Bradford, M. A., Keiser, A. D., Davies, C. A., Mersmann, C. A. & Strickland, M. S. Empirical evidence that soil carbon formation from plant inputs is positively related to microbial growth. *Biogeochemistry* **113**, 271–281 (2013).
30. Jones, C. Mycorrhizal fungi powerhouse of the soil. *Evergr. Farming Mag. Sept. Ed.* (2009).
31. Jones, C. E. Liquid carbon pathway unrecognized. *Aust. Farm J.* **8**, 15–17 (2008).
32. Leigh, J., Hodge, A. & Fitter, A. H. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytol.* **181**, 199–207 (2009).
33. Gianinazzi, S. *et al.* Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* **20**, 519–530 (2010).
34. Leake, J. *et al.* Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Can. J. Bot.* **82**, 1016–1045 (2004).
35. Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A. & Ashraf, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.* **32**, 429–448 (2014).
36. Cooper, J. *et al.* Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* **36**, (2016).
37. Friedrich, T. & Kassam, A. No-till Farming and the Environment: Do No-Till Systems Require More Chemicals? *Outlooks Pest Manag.* **23**, 153–157 (2012).
38. Mäder, P. & Berner, A. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renew. Agric. Food Syst.* **27**, 7–11 (2012).
39. Mathew, R. P., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R. & Balkcom, K. S. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities. *Appl. Environ. Soil Sci.* **2012**, 1–10 (2012).
40. van Groenigen, K.-J. *et al.* Abundance, production and stabilization of microbial biomass under conventional and reduced tillage. *Soil Biol. Biochem.* **42**, 48–55 (2010).

41. Brust, J., Gerhards, R., Karanisa, T., Ruff, L. & Kipp, A. Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. *Gesunde Pflanz.* **63**, (2011).
42. Gerhards, R. Weed Suppression Ability and Yield Impact of Living Mulch in Cereal Crops. *Agriculture* **8**, 39 (2018).
43. Deguchi, S. *et al.* White clover living mulch increases the yield of silage corn via arbuscular mycorrhizal fungus colonization. *Plant Soil* **291**, 291–299 (2007).
44. Hartwig, N. L. & Ammon, H. U. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* **50**, 688–699 (2002).
45. Barbieri, P., Pellerin, S. & Nesme, T. Comparing crop rotations between organic and conventional farming. *Sci. Rep.* **7**, (2017).
46. Ding, G. *et al.* Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma* **130**, 229–239 (2006).
47. Fageria, N. K., Baligar, V. C. & Bailey, B. A. Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **36**, 2733–2757 (2005).
48. Masilionyte, L. *et al.* Effect of cover crops in smothering weeds and volunteer plants in alternative farming systems. *Crop Prot.* **91**, 74–81 (2017).
49. Sanderson, M. A. *et al.* Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop–livestock systems. *Renew. Agric. Food Syst.* **28**, 129–144 (2013).
50. Sarrantonio, M. & Gallandt, E. The Role of Cover Crops in North American Cropping Systems. *J. Crop Prod.* **8**, 53–74 (2003).
51. Martín-Guay, M.-O., Paquette, A., Dupras, J. & Rivest, D. The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Sci. Total Environ.* **615**, 767–772 (2018).
52. Raseduzzaman, M. & Jensen, E. S. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *Eur. J. Agron.* **91**, 25–33 (2017).
53. Verret, V. *et al.* Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crops Res.* **204**, 158–168 (2017).
54. Walder, F. *et al.* Mycorrhizal Networks: Common Goods of Plants Shared under Unequal Terms of Trade. *PLANT Physiol.* **159**, 789–797 (2012).
55. LaCanne, C. E. & Lundgren, J. G. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ* **6**, e4428 (2018).
56. Lundgren, J. G., Hesler, L. S., Clay, S. A. & Fausti, S. F. Insect communities in soybeans of eastern South Dakota: The effects of vegetation management and pesticides on soybean aphids, bean leaf beetles, and their natural enemies. *Crop Prot.* **43**, 104–118 (2013).
57. Lundgren, J. G. & Fausti, S. W. Trading biodiversity for pest problems. *Sci. Adv.* **1**, e1500558–e1500558 (2015).
58. Tschumi, M. *et al.* Perennial, species-rich wildflower strips enhance pest control and crop yield. *Agric. Ecosyst. Environ.* **220**, 97–103 (2016).
59. Ryals, R. & Silver, W. L. Effects of organic matter amendments on net primary productivity and greenhouse gas emissions in annual grasslands. *Ecol. Appl.* **23**, 46–59 (2013).
60. Ryals, R., Eviner, V. T., Stein, C., Suding, K. N. & Silver, W. L. Grassland compost amendments increase plant production without changing plant communities. *Ecosphere* **7**, e01270 (2016).
61. Ryals, R., Hartman, M. D., Parton, W. J., DeLonge, M. S. & Silver, W. L. Long-term climate change mitigation potential with organic matter management on grasslands. *Ecol. Appl.* **25**, 531–545 (2015).
62. Bardgett, R. D., Wardle, D. A. & Yeates, G. W. Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivory influence soil organisms. *Soil Biol. Biochem.* **30**, 1867–1878 (1998).
63. Chen, W. *et al.* Improved grazing management may increase soil carbon sequestration in temperate steppe. *Sci. Rep.* **5**, (2015).
64. Franzluebbers, A. J. *et al.* Well-managed grazing systems: A forgotten hero of conservation. *J. Soil Water Conserv.* **67**, 100A–104A (2012).
65. Jones, C. E. Cropping native pasture and conserving biodiversity: a potential technique. in *Proceedings Bushcare Conference 'Balancing Conservation and Production in Grassy Landscapes* 142–144 (1999).
66. Soussana, J. F., Tallec, T. & Blanfort, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *animal* **4**, 334–350 (2010).
67. Stanley, P. L., Rowntree, J. E., Beede, D. K., DeLonge, M. S. & Hamm, M. W. Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. *Agric. Syst.* **162**, 249–258 (2018).
68. Teague, R. & Barnes, M. Grazing management that regenerates ecosystem function and grazingland livelihoods. *Afr. J. Range Forage Sci.* **34**, 77–86 (2017).
69. Teague, W. R. *et al.* Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agric. Ecosyst. Environ.* **141**, 310–322 (2011).
70. Yeomans, T. L. P. A. & Yeomans, K. B. *Water For Every Farm: Yeomans Keyline Plan.* (Createspace Independent Publishing Platform, 2008).
71. Krav, M. & Ková, M. Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm. 94 (2007).
72. Lovell, S. T. *et al.* Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agrofor. Syst.* 1–19 (2017). doi:10.1007/s10457-017-0087-4
73. Sun, Y. *et al.* An Ecologically Based System for Sustainable Agroforestry in Sub-Tropical and Tropical Forests. *Forests* **8**, 102 (2017).
74. Toensmeier, E. *Perennial Staple Crops and Agroforestry for Climate Change Mitigation. Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*, (2018).
75. Hagemann, N., Kammann, C. I., Schmidt, H.-P., Kappler, A. & Behrens, S. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. *PLOS ONE* **12**, e0171214 (2017).
76. Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M. & Bastos, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* **144**, 175–187 (2011).
77. Lehmann, J. *et al.* Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biol. Biochem.* **43**, 1812–1836 (2011).