

# Boden begreifen

Ganzheitliche  
Bodenansprache  
mit dem  
Bodenkoffer



## Ablauf:

- Vorstellungsrunde mit kleinem Quiz (15 min.)
- Die 10 Analysestationen mit dem Bodenkoffer (80 min.)
- Zusammenfassung der Ergebnisse:  
Den Boden begreifen und die Bodenpflege daran anpassen (20 min.)
- Evaluation, Erfahrungsaustausch und Snacks – open end

Liebe Kursteilnehmer\*innen, um euer Vorwissen einzuschätzen, bitte ich euch, ganz intuitiv ein paar Fragen zu beantworten – **Mehrfachnennungen** möglich):

## Boden ist

- ☐ Dreck
- ☐ Die Erdoberfläche
- ☒ Substrat aus verwitterten Gestein und zersetzten organischen Material
- ☒ ein komplexer Lebensraum

## Humus ist

- ☒ Organische Substanz in verschiedenen Zersetzungsstufen
- ☒ Ein Eiweißspeicher und Informationsträger im Boden
  - ☐ eine leckere Kichererbsenpaste
- ☒ unsere Lebensgrundlage

## Lehm ist

- ☐ ...das wollte ich schon immer mal wissen
- ☒ natürliches Baumaterial
- ☒ Bodenart mit günstigen Eigenschaften fürs Pflanzenwachstum
- ☒ ein Gemisch von Sand, Schluff und Ton

## Streptomyceten sind

- ☒ wichtig für unsere Gesundheit
- ☒ verantwortlich für den frischen Waldboden-Geruch
  - ☐ gefährliche Pflanzenschädlinge
- ☒ natürliche Antibiotika

## Edaphon ist

- ☐ ein Telekommunikationsanbieter
- ☐ Elektronischer Datenaustausch per Telefon
- ☒ die Gesamtheit der Bodenlebewesen
- ☐ Das Mikrobiom im Boden

## Regenwurm Kot ist

- ☐ ziemlich unhygienisch – so was will ich nicht auf dem Beet!
- ☐ Überbewertet – meine Pflanzen wachsen auch ohne sehr gut
- ☒ unbedingt nötig für eine gute Bodengare
- ☒ ein fruchtbares, feinkrümeliges Gemisch aus Mineralien und zersetzten Pflanzenresten, angereichert mit Enzymen und mit Schleimstoffen verklebt, auch bekannt als Ton-Humus-Komplexe



## Zusammenfassung der Ergebnisse:

### Den Boden begreifen und die Bodenpflege daran anpassen (20 min.)

1. Bodenart, Humusgehalt und Bodengare mit den gezeigten Bodenkoffer-Methoden erfassen.
2. Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen mithilfe von Zeigerpflanzen, Bodenstruktur (Verdichtungsprobleme?), pH- und Salzsäuretest abschätzen. (Auch Wachstum und Gesundheit der Kulturpflanzen als Indikator berücksichtigen)
3. Für alle Böden gilt: Humusaufbau ist immer von Vorteil: Mehr Organik bedeutet eine Verbesserung vieler Bodeneigenschaften, wie z.B. das Wasserspeichervermögen und liefert das Futter für ein diverses Bodenleben.  
Im Biolandbau ernähren wir nicht die Pflanzen direkt, sondern die Bodentiere, die eine gute Bodengare garantieren.

Organik kann **in die Böden** eingebracht oder bodenschonend **auf die Oberfläche** aufgebracht werden. Wichtig ist für Flächenkompost oder Mulch: Monatlich wenden und auflockern, damit Fäulnis und Kompaktierung vermieden wird.

- Sandböden: Sowohl Flächenkompost als auch Eingraben von Mulch im Frühjahr vorteilhaft, Gründüngung vorteilhaft, wenn die Wurzeln im Boden verbleiben dürfen.
- Mittelschwerer, lockerer Gartenlehm oder lehmiger Sand: Flächenkompost/Mulch vorteilhaft, Gründüngung vorteilhaft. Aber Umgraben oder tiefes Eingraben der Gründüngung nicht immer vorteilhaft. Einen schon gut entwickelten Gartenboden muss man eher helfen, seine Struktur zu bewahren. Nur mit der Grabe-Gabel vorsichtig lockern, oberflächlich hacken oder harken, damit die Kapillaren unterbrochen werden und Organik oben drauf legen. Die vorhandene Lebendverbauung - Regenwurmgänge und Pilzgeflechte sind wertvoller als gärtnerische Maßnahmen.
- Schwerer Lehm, stark tonig-schluffige Böden: Mehrfaches Umgraben, besser Holländern (2-Spaten-tiefes Eingraben von verrotteten Mulch und Humus) vorteilhaft, aber sehr viel Arbeit. Tiefwurzeln Gründüngung wie Luzerne vorteilhaft. Auch hier sollten Wurzeln im Boden verbleiben dürfen.

# Ein guter Ackerboden ...

- ist humusreich und dadurch dunkel
- Ist gut durchwurzelt
- er ist krümelig - wie Popcorn. Nicht zu fest und nicht zu bröselig
- Er hat viele feine und grobe Poren, in denen Wasser und Luft zirkulieren
- Es wuselt nur so von Leben, idealerweise verschiedene Generationen
- hat einen pH-Wert zwischen 6,5 und 7,5
- Duftet frisch und erdig nach Waldboden
- Lebendverbauung gut entwickelt – gute Bodengare mit vielen Ton-Humus-Komplexen



# Die 10 Analysestationen

## Die Spatenprobe:

Erdziegel ausstechen und auf folgendes untersuchen:

Farbe: Kohlenstoff ist schwarz – je dunkler desto mehr Organik.

Geruch: Frischer Waldbodengeruch (Geosmin) oder muffig oder gar faulig? (Verdichtung, anaerobe Verhältnisse)

Struktur: Popcorn oder Schokolade? Bei scharfen, plattigen Kanten Hinweis auf Verdichtung

Falltest: Wie kleinteilig fallen Krümel und/oder Brocken auseinander? Lockere Krümel, die doch gut zusammenhalten sind der ultimative Hinweis auf eine gute Bodengare.

Bodenleben – stabile Regenwurmgänge sichtbar?

Durchwurzelung – Sind auch dünne weiße Feinwurzeln sichtbar? Wurzelhosen?

Bodenart bestimmen (Schüttelprobe, Aufschieben oder Ausrollen, werden Hände und Jeans weiss? - Schluffanteil bestimmend für Erosionsgefährdung)

## Die Bodensonde

Verdichtungen erspüren – bei landwirtschaftlichen Böden Pflugsohle bestimmen.

Bei Gartenböden auch Gesamtmächtigkeit bestimmen. Gezielte Lockerungsmaßnahmen, Einbringen von Humus, Hacken und Harken und immer Abdecken der Bodenoberfläche, am Besten mit vielfältigen Mulch notwendig.

## Die Trübungsflasche

Nach ca. 15 Minuten wird die Krümelstabilität durch den Grad der Trübung des Wassers angezeigt. Je klarer das Wasser, desto besser sind die Ton-Humus-Komplexe und die Organik lebendverbaut. Sie haften dadurch besser zusammen. Der Boden ist dann wie ein Schwamm und kann auch bei Starkregen nicht abgeschwemmt oder verschlämmt werden. (Popcorn)

## Die Holzkugeln

Wie fein ist das Beet hergerichtet? 20 Klumpen sollten größer als die Holzkugeln sein. Ideal ist ein rauher Boden an der Oberfläche und ein feines Saatbett darunter. Dann ist die Saat besser vor Verschlammung geschützt. Bei dieser Gelegenheit Temperaturmessung im Frühjahr: 8 -10 °C notwendig für Keimung vieler Frühjahrskulturen.

## Der Versickerungsring

Wie lange dauert Versickerung bei einem Starkregenereignis? Die gestoppte Zeit ist eine Schätzung des Anteils der luftführenden Poren. Steht das Wasser länger als 15 Minuten, gibt es von diesen zu wenig, es ist zu wenig Sauerstoff im Boden und es kann bei längerer Dauer zu einer anaeroben Dynamik kommen, die Bodenleben und Pflanzen schädigt. *Achtung: Gilt nicht bei schon wassergesättigten Böden oder sehr tonigen, stauenden Bodenhorizonten.* Nach der Versickerung Oberfläche noch auf Verschlammung untersuchen.

Zieht das Wasser sekundenschnell ab, hat man es mit einen für München typischen sandigen Gartenboden auf dem kiesigen Untergrund der Schotterebene zu tun. Diese Böden können durch gezielten Humusaufbau leicht zu sehr guten Gartenböden auch für Gemüsekulturen entwickelt werden. Wurzeln von Beikräutern und Gründüngung sollten unbedingt über den Winter im Boden verbleiben dürfen.

## pH-Wert:

Mit dem Hellige-pH-Tester kann man grob aber ausreichend genau den Säuregrad der wässrigen Bodenlösung bestimmen. pH steht für lat. „pondus Hydrogenii“, was Gewicht des Wasserstoffs bedeutet. Gemessen wird der negative, dekadische Logarithmus der Aktivität der  $H^+$  Ionen. Je höher die Konzentration der Wasserstoffionen in der Lösung ist, desto niedriger ist auch der pH-Wert. Abgeleitet von der Gleichgewichtskonstante für die Autoprotolyse des Wassers ( $10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ l}^{-2}$ ) nennt man eine wässrige Lösung mit einem pH-Wert von weniger als 7 sauer, mit einem pH-Wert gleich 7 neutral und mit einem pH-Wert von mehr als 7 basisch bzw. alkalisch.

**Der pH-Wert des Bodens bestimmt die biologische Verfügbarkeit von Nährsalzen.**

**Hier ist die Pufferkapazität des Bodens entscheidend. Ein hoher Anteil an Karbonaten, Dreischicht-Tonmineralen und Ton-Humuskomplexen (beladen mit Kationen wie  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) bewirkt, dass der pH-Wert sich, solange diese Puffersubstanzen im Boden vorhanden sind, auf einem relativ gleichbleibenden Niveau hält. In den meisten Fällen korrespondiert deswegen auch ein positiver Salzsäuretest mit einem neutralen bis leicht basischen Boden-pH.**

Einer der Hauptnährstoffe der Pflanzen ist Stickstoff in Form der wasserlöslichen Ammoniumionen ( $NH_4^+$ ) oder häufiger als Nitration ( $NO_3^-$ ). Ammonium und Nitrat stehen in Böden mit einem pH-Wert von 7 im Gleichgewicht. Bei sauren Böden überwiegen die  $NH_4^+$  Ionen, bei alkalischen Böden die  $NO_3^-$  Ionen. Säureliebende Pflanzen können aufgrund der Durchlässigkeit der Wurzelmembranen nur  $NH_4^+$  aufnehmen und sind deshalb auf saure Böden angewiesen (Heidelbeeren). Pflanzen, die nur  $NO_3^-$  aufnehmen können, wachsen nur auf basenreichen Böden („obligat basophil“).

Die Ansprüche an den Boden-pH sind geringer, wenn die Pflanzen-Membranen sowohl Ammonium als auch Nitrat durchlassen. Bei vielen Kulturpflanzen ist dies der Fall. Sie gedeihen am Besten bei pH-Werten im leicht sauren bis leicht basischen Bereich.

Bei sehr hohem oder sehr niedrigem pH-Wert sind viele Nährstoffe im Boden festgelegt und stehen den Pflanzen nicht zur Verfügung. Bei sehr sauren Böden werden Aluminium- oder Manganionen löslich und für Pflanzen in schädigenden Mengen zugänglich.



**Daraus leitet sich die Faustregel ab: pH 6,5 – 7,5 ist ideal für mittelschwere Gartenböden, leichte Sandböden dürfen etwas saurer sein. Die meisten üblichen Gemüsekulturen gedeihen unter diesen Bedingungen gut.**

Wenn Pflanzen mehr Kationen als Anionen aufnehmen, geben sie Protonen an den Boden ab, damit die elektrische Neutralität erhalten wird. Gleichzeitig bilden sie schwache organische Säuren aus. Verrotten die Pflanzen vor Ort, bleibt das chemische Gleichgewicht gewahrt, weil sich Salze und Protonen wieder vereinigen.

Es kommt nur zu einer dauerhaften pH-Absenkung, wenn die Pflanzen durch Ernte oder Jäten entfernt werden (Basenentzug). Dies ist ein weiterer wichtiger Grund für eine ausgeprägte Mulch- und Kompostwirtschaft und die Duldung von Beikräutern auf dem Acker/Beet.

### **Salzsäure:**

Der einfache sog. Brausetest zeigt die Menge an pflanzenverfügbaren Kalk im Boden an.

Wichtig ist hier die Probe ab 10 cm Bodentiefe oder im Wurzelbereich zu nehmen und die 10prozentige Salzsäure nicht direkt auf ein Kalksteinchen aufzutragen. Je mehr pflanzenverfügbarer, gelöster Kalk vorhanden ist, desto heftiger braust es und desto größer sind die Blasen durch das entweichende CO<sub>2</sub>.

Wenn es also nicht braust, ist wenig oder gar kein pflanzenverfügbarer Kalk enthalten. Wenn es in vielen kleinen Bläschen braust, ist genug Kalk verfügbar. Sehr viel Kalk liegt bei vielen großen Blasen vor. Bei Beprobung während der Vegetationsperiode kann man das Ergebnis auch mit dem Vorkommen kalkliebender Beikräuter abgleichen.

### **Knöllchenbakterien:**

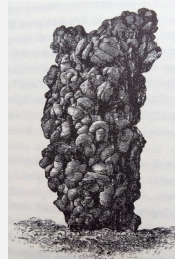
Wenn man Leguminosen (Luftstickstoff-fixierende Schmetterlingsblütler – Hülsenfrüchte oder Klee) im Beet stehen hat, kann man den Eintrag an Stickstoff an der Aktivität der symbiotischen Knöllchenbakterien ablesen. Sind die Knöllchen an den Wurzeln zahlreich und beim Aufschneiden rot, wird wertvoller Stickstoff im Boden angereichert, so dass im nächsten Jahr Starkzehrer kultiviert werden können.

## **Zeigerpflanzen:**

Das dem Bodenkoffer beiliegende Bestimmungsbuch erlaubt eine schnelle Übersicht über den beprobten Standort. Es genügt die in den jeweiligen Jahreszeiten vorherrschenden Zeigerpflanzen auf ihre Bodenansprüche hin zu bestimmen. Wenn insgesamt z.B. kalkliebende Arten mit hohem Nährstoffbedarf und Bevorzugung von lockeren humosen Boden anzutreffen sind, kann man davon ausgehen, dass im Beet diese Bedingungen herrschen.

## **Bodenlebewesen:**

Bei der Bestimmung des Bodenlebens muss man stärker Temperatur/Bodenfeuchte mit einbeziehen. Die meisten Bodentiere stellen nicht nur bei Kälte, sondern auch bei lange andauernden trocken-heißen Bedingungen ihre Tätigkeit ein und ziehen sich in tiefere Bodenschichten zurück. Ein untrügliches Zeichen für beste Bedingungen für die Bodentiere ist das Nebeneinander verschiedener Generationen. Bei der Makrofauna, also bei Würmern, Asseln, Tausend/Hundertfüßern ist das leicht an den verschiedenen Größen zu erkennen. Neben Größe, Artenreichtum und schierer Anzahl v.a. bei den Würmern ist eine hohe Wurmaktivität aber auch an den typischen Kothäufchen der Tauwürmer zu erkennen.

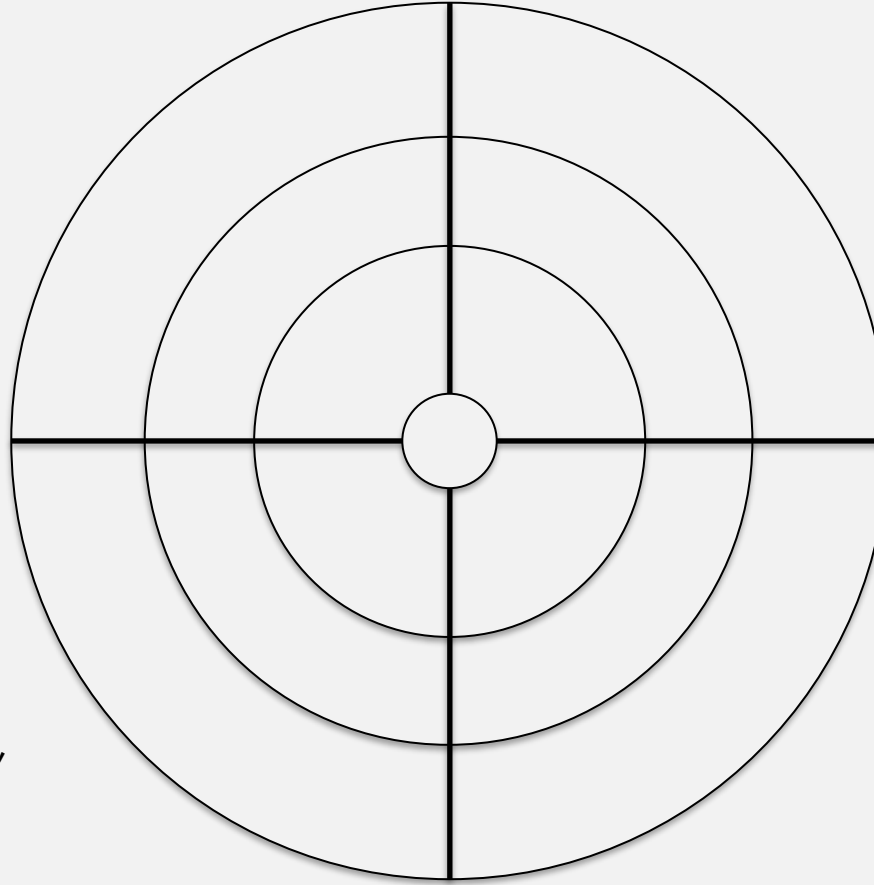


Thema und  
Inhalte

Methoden und  
Gestaltung

Verständlichkeit,  
Anwendbarkeit

Klima,  
Atmosphäre



Im Folgenden noch einige Folien, die meinen Bodenvorträgen  
und  
Powerpoint-Präsentationen entnommen sind.

# Der Verlust von Humus ist der Verlust von Leben



Globale Bodendegradation durch:

- Industrielle Landwirtschaft
- Ausweitung der Anbauflächen
- Bodenerschöpfung
- Verlust von Bodenkohlenstoff
- Erosion
- Desertifikation
- Versalzung
- Verschmutzung/Vergiftung
- Verdichtung
- Versiegelung
- Landraub und Raubbau

# Böden als Ernährungsgrundlage

- 90% unserer Nahrungsmittel wachsen auf Böden
- ca. 1/4 der land-und forstwirtschaftlichen Böden sind in den letzten 40 Jahren unbrauchbar geworden
- Jährlicher Verlust an Ackerflächen: 10 Millionen Hektar
- Jährlicher Verlust an landwirtschaftlichen Boden: 24 Milliarden Tonnen = 3 t pro Erdbürger
- 1.3. Milliarden Menschen bewirtschaften stark degradierte Ackerflächen
- 3,2 Milliarden Menschen leben auf oder von degradierten Flächen, die ihnen nicht genügend Ressourcen für ein auskömmliches Leben zur Verfügung stellen, v.a. leichten Zugang zu sauberen Trinkwasser, frischen Gemüse und Obst.

(Weitere Zahlen und Grafiken hierzu in der Bodensprechstunde2 : „Bodendegradation“)

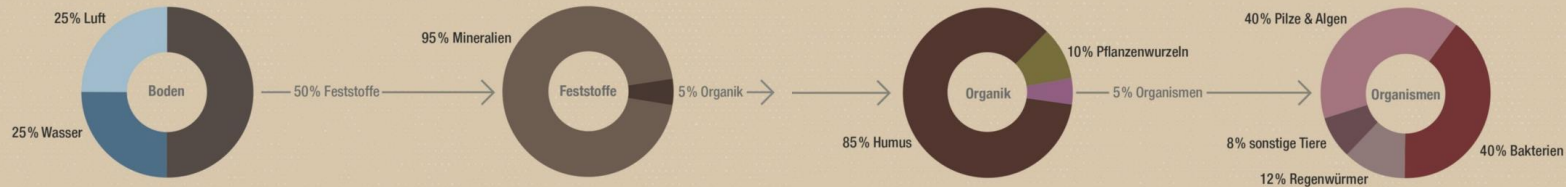


**Clip aus der Tagesschau zum Bericht Weltklimarat**, August 2019 (1 min 30 sec)

<https://www.tagesschau.de/multimedia/sendung/ts-32663.html>

# Boden – ein komplexes Hohlraumgefüge

Bodenwasser und Luft 50 %	Fester Anteil 50 %	Organischer Anteil 10- 5 %	Bodenorganismen
<p>Bodenporen: Wichtigstes Kriterium für einen gesunden Lebensraum Boden, denn Wasser und Sauerstoff können nur in Hohlräumen zwischen den Bodenpartikeln zirkulieren und so die Atmung der Bodentiere und den sauerstoffverbrauchenden Abbau von organischen Material gewährleisten.</p>	<p>Untergrundgestein: Vulkanite, Plutonite und Sedimentite verwittern zu den mineralischen Bodenanteilen und werden umgebaut zu Tonmineralen, wichtige bodenbürtige Speicher für die Pflanzennährstoffe. Auch die Gesteine befinden sich im Kreislauf des Aufsteigens, Verwitterns, Sedimentierens, wieder Absteigens u.s.f.</p>	<p>Humus: Alles, was gelebt hat und alle Zwischenstufen der Ab- und Aufbauprozesse. Abgestorbene Pflanzen, tote Tiere und Tierexkremente werden durch die Bodenorganismen recycelt. Das ist der „Circle of Life“: Alle Stoffe werden in ewigen Kreisläufen zu neuen Stoffen und wieder zu Nahrung für das Leben transformiert.</p>	<p>Edaphon: Alles, was lebt! Mikro-, Meso-, Makro-Fauna und Flora bilden zusammen ein komplexes Nahrungsnetz, das den Recycling-Prozess betreibt.</p>

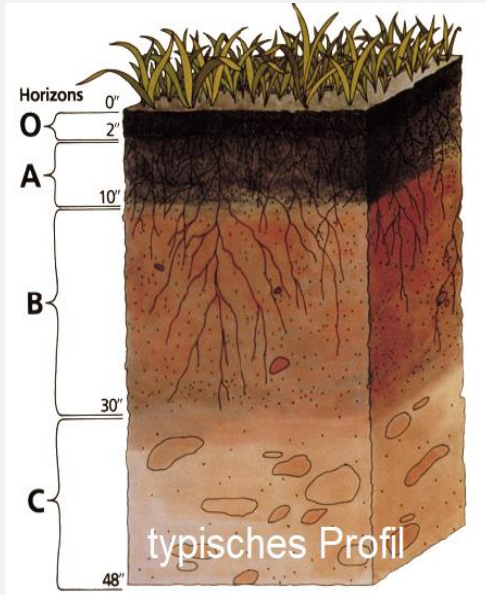




# Bodentyp und Bodenart

## Bodentyp: Entwicklungszustand des Bodens

Bodenhorizonte entstehen durch typische Umlagerungs- und Umwandlungsprozesse



## Bodenart: Korngrößengemisch eines Bodens.

Kies | Sand | Schluff | Ton  
Mischung aus Sand, Schluff, Ton = **Lehm**  
Kalkhaltiger Lehm = **Mergel**



Kies ( $\geq 2,0$  bis  $< 63$  Millimeter)



Sand ( $\geq 0,063$  bis  $< 2,0$  Millimeter)



Schluff ( $\geq 0,002$  bis  $< 0,063$  Millimeter)



Ton ( $< 0,002$  Millimeter)

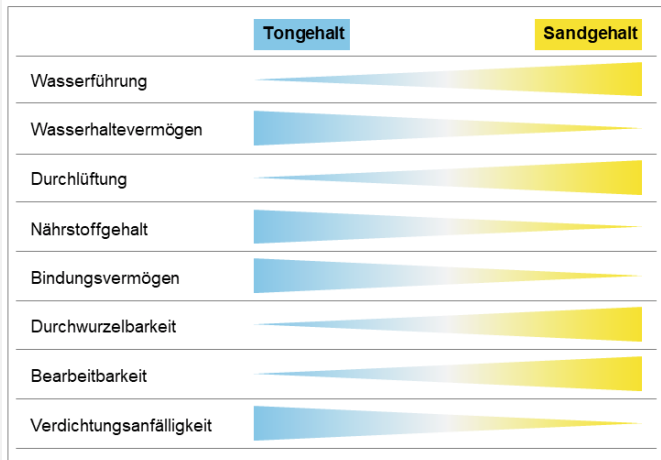
Quelle: <https://www.lfu.bayern.de/boden>



# Bodenart

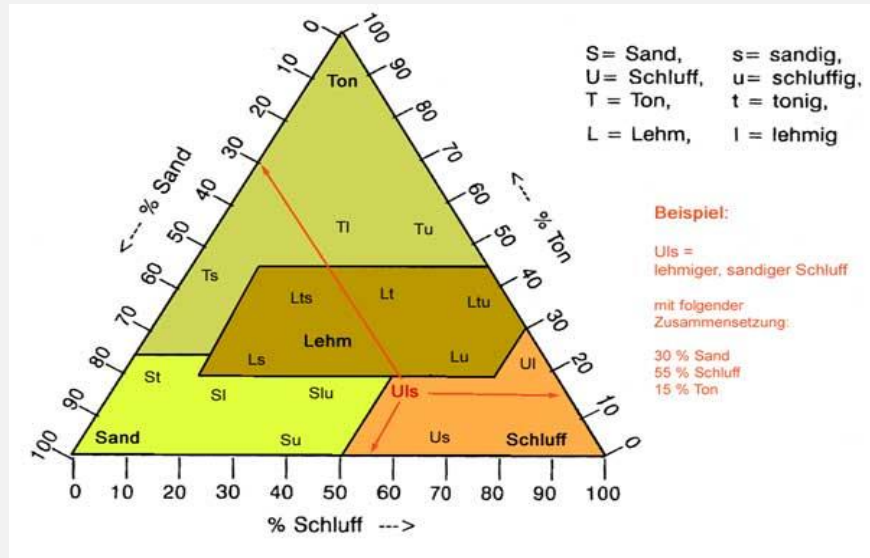
Die chemischen Reaktionen finden auf den Oberflächen der einzelnen Körner statt, die über die Bodenporen mit dem Wasser- und Lufthaushalt verbunden sind. Je feiner die Körner, desto größer ist die innere reaktive Oberfläche der Bodenmatrix.

Die wichtigsten Bodeneigenschaften hängen unmittelbar vom Korngrößengemisch ab.



## Bodenart: Korngrößengemisch eines Bodens.

Kies | Sand | Schluff | Ton  
 Mischung aus Sand, Schluff, Ton = **Lehm**  
 Kalkhaltiger Lehm = **Mergel**



Quelle: <https://www.lfu.bayern.de/boden>

## Bodenart mit der Schüttelprobe abschätzen

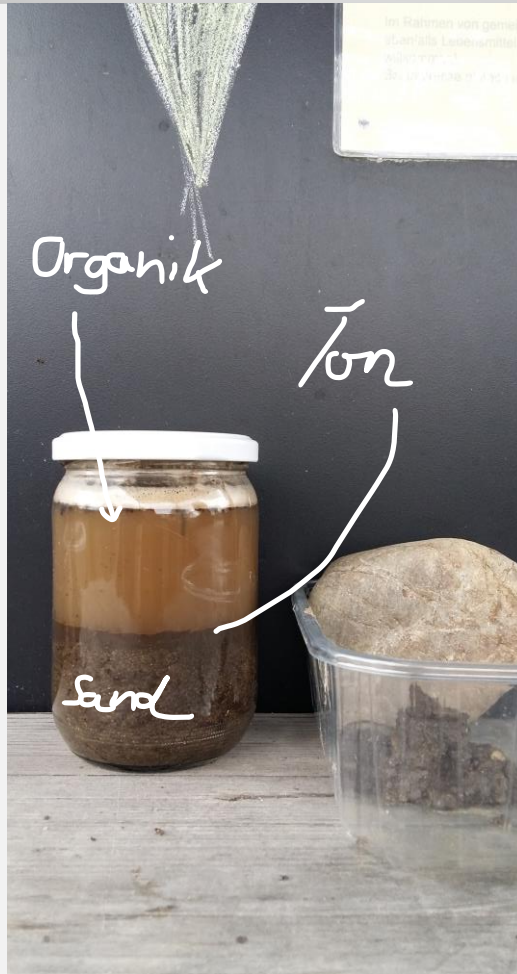
Lehmiger Sand  
(Birkmeir)



Organik

Ton

Sand



- Sand ist wie Zucker, Körnchen sichtbar
- Schluff ist wie Mehl, meist hell
- Ton ist wie zäher Honig, alle Farben
- Organik schwimmt auf
- Feiner Ton bleibt über Stunden in Suspension – kann erst abgeschätzt werden, wenn Wasser sich geklärt hat.

## Charakteristische Eigenschaften der Korngrößen-Fractionen

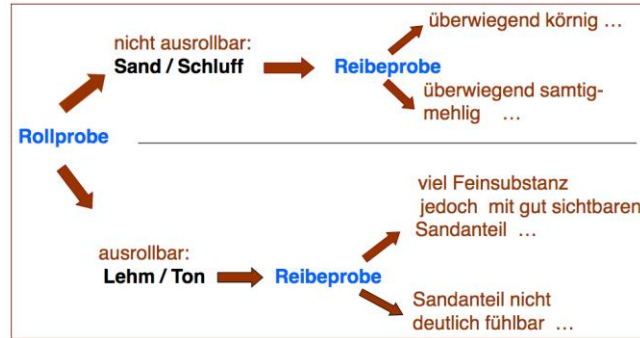
- **Sand** grobkörnig bis feinkörnig  
rauh, kratzend  
haftet nicht in den Fingerrillen
- **Schluff** samtig-mehlig, kaum bindig  
stumpfe Schmierflächen  
haftet stark in den Fingerrillen
- **Ton** bindig-klebrig  
gut formbar  
glänzende Schmierflächen

## Prüfungen (1 von 3)

Prüfung	Beobachtung	Einstufung
<b>Sichtvergleich</b> kombiniert mit <b>Haftprobe</b>	Einzelkörner sichtbar	Sand
	Feinmaterial <b>haftet in Fingerrillen</b>	Schluff
<b>Reibprobe</b>	Einzelkörner fühlbar → <b>rauh, kratzend</b>	Sand
	Boden ist <b>samtig</b>	Schluff
	Boden ist <b>schmierig</b>	Ton

Sichtvergleich und Reibprobe sind **immer** durchzuführen!

## Arbeiten mit dem Bestimmungsschlüssel



## Prüfungen (2 von 3)

<b>Rollprobe:</b> walnussgroße Probe im weichen Zustand fest zusammenkneten und auf Handfläche auf Bleistiftstärke ausrollen	
a) Probe lässt sich <b>nicht ausrollen</b>	wenig Ton und Schluff; <b>vorwiegend Sand</b>
b) Probe lässt sich ausrollen; erneut zusammenkneten: <b>zerbröckelt beim 2. Ausrollen</b>	<b>hoher Schluffanteil</b>
c) Probe lässt sich <b>wiederholt ausrollen</b> und zusammenkneten	hoher <b>Tonanteil</b>

Mit einer genauen Rollprobe kann die Bodenart auch exakter bestimmt werden. Beschreibung hierfür ist im Bodenkoffer-Booklet. Dafür muss man sich allerdings Zeit nehmen – dauert ca. 20 Min.

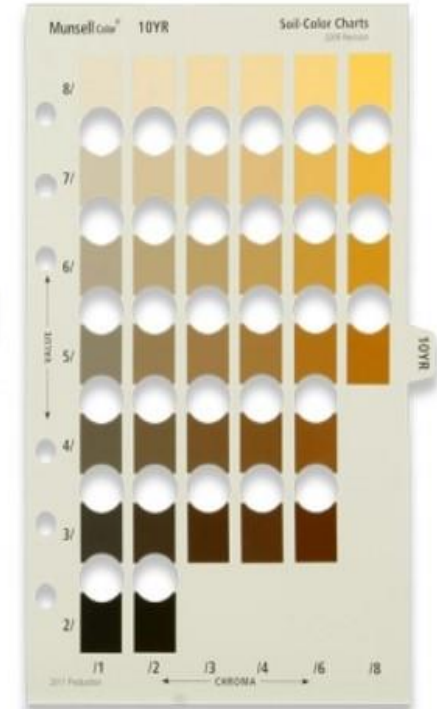
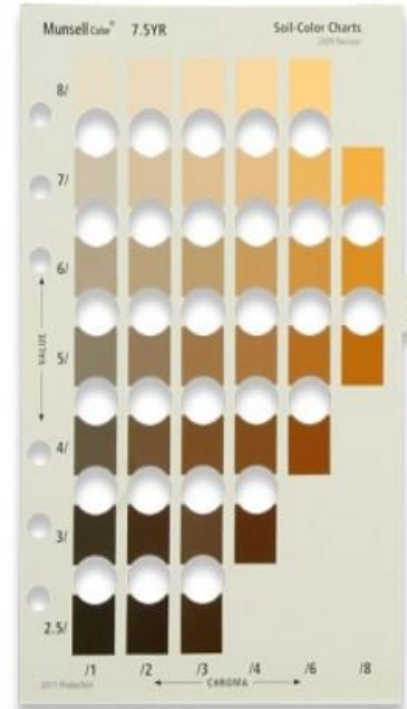
# Farbensprache mit der Munsell-Farbskala: Humusgehalt

## Vergleichswerte für gute Gartenerde:

Dicke des Mutterbodens: 20 bis 30 cm

Humusgehalt:

Bodenart:	Bodenfarbe:	Humusgehalt in %	Bewertung
sandige Böden:	hellgrau	< 1 %	sehr humusarm
	grau	1 %	humusarm
	dunkelgrau	1-2 %	humushaltig
	schwarzgrau	2-4 %	humos
	schwarz	4-8 %	humusreich
lehmige, klebrige Böden:	hellgrau	1 %	humusarm
	grau	1-2 %	humushaltig
	dunkelgrau	2-4 %	humos
	schwarzgrau	4-8 %	humusreich
	schwarz	8-15 %	sehr humusreich

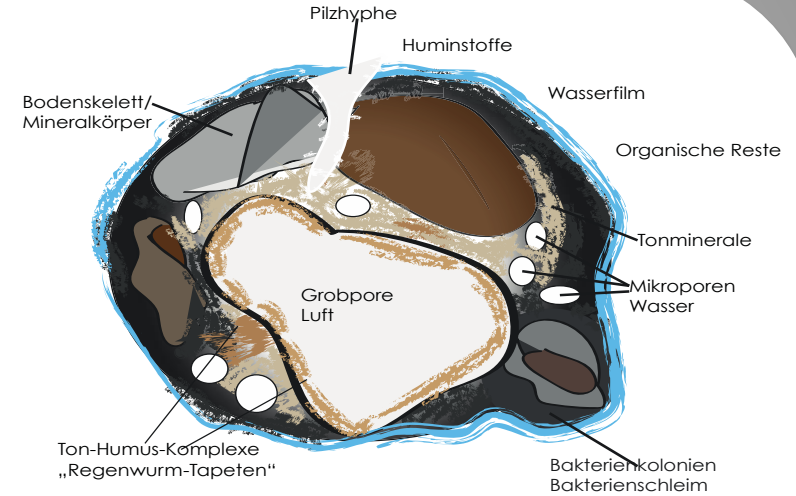




# Bodengefüge



Fotos/Grafik: R. Mahla: Boden Nord-West-Beet



Schema eines idealen Bodenkrümel

Mit „Bodengare“ wird der physikalische, chemische und biologische Idealzustand eines fruchtbaren Bodens bezeichnet. Ein garer Boden ist krümelig, humos, gut durchlüftet, ausreichend feucht, und riecht gut. Er ist von vielen kleinen und mittleren Hohlräumen, den Bodenporen durchzogen, durchwurzelt und belebt. Wie ein Schwamm kann ein garer Boden Niederschläge speichern und Überschüsse langsam ins Grundwasser ableiten.

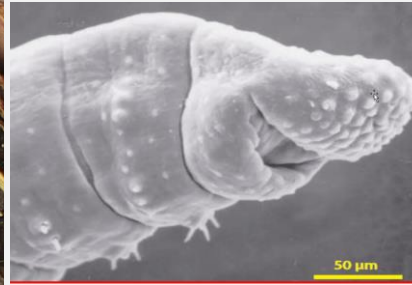
Bei der Spatendiagnose erkennt man eine Krümelstruktur - wie Popcorn - im lockeren, aber doch einigermaßen stabil zusammenhaltenden Bodenriegel. Zeigen sich beim Auseinanderbrechen des Bodenriegels glatte, dichte, leicht glänzende Brückkanten, wie bei Schokolade, ist der Boden kompaktiert, für Bodenlebewesen unbewohnbar und für die Pflanzen schwer durchwurzelbar.





# Leben im Boden – das Edaphon

In einer Hand voll Boden befinden sich mehr Lebewesen als Menschen auf der Erde – die meisten davon sind für uns unsichtbar.



Borstenwurm *Cognettia sphagnetorum*

European Atlas of Soil Biodiversity



Global Soil Biodiversity Atlas 2016



Fig. V.18: A tardigrade of the species *Paramacrobiotus* *fenestratus* sitting on a moss leaf.



Fig. V.18: The tardigrade *Echiniscus granulatus* has relatively long appendages and strong claws.

## Bärtierchen

European Atlas of Soil Biodiversity

# Organische Bodensubstanz

## Alles was lebt | Edaphon:

Pflanzen, Tiere, Pilze, Bakterien, Einzeller

**Flora:** Algen Flechten, (Wurzeln | Rhizosphäre)

**Pilze:** Weißfäule, Mykorrhizpilze

**Fauna:** Mikro - Meso - Makrofauna

**Bakterien/Einzeller:** Das Bodenmikrobiom ist die artenreichste und diverseste Lebensgemeinschaft auf diesen Planeten.



Quelle: Fotos: JRC\_globalsoilbio\_atlas\_online

## Alles was gelebt hat | Humus

Pflanzen, Tiere, Pilze, Einzeller, Ausscheidungen aller Organismen

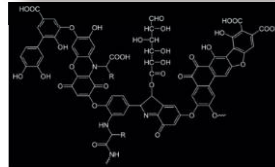
Unzersetztes Material:  
**Streu**

Zersetztes Material:  
**Humus**

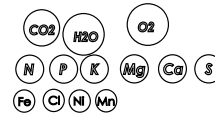
Zersetzung der gesamten Substanz:  
Lignin, Cellulose, Fette, Zucker, Eiweiß, Stärke, Wachse, Harze, Gerbstoffe.

Umwandlung  
Humifizierung

Abbau  
Remineralisierung



Huminstoffe:  
hochmolekularer, schwer abbaubare organische Stoffe



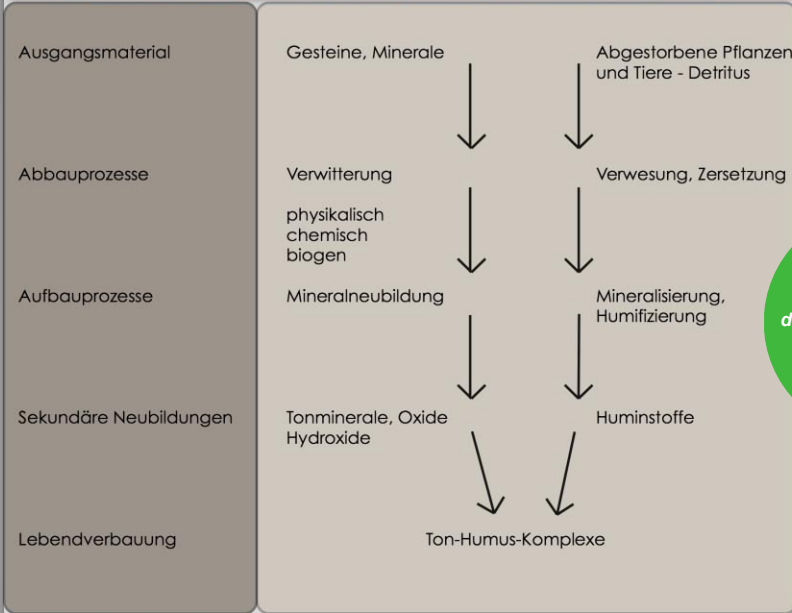
Die Humifizierung läuft in Kombination mit der Mineralisation ab. Schwer abbaubare Anteile der organischen Materie reichern sich an und reagieren mit frei werdenden organisch-chemischen Bausteinen zu größeren Polymeren. Diese hochmolekularen Verbindungen werden als Huminstoffe bezeichnet. Durch die Humifizierung bekommen Böden ihre wichtige Senkenfunktion im Kohlenstoffkreislauf.

Die Masse der organischen Bodensubstanz macht in den meisten Oberböden nur wenige %-Anteile aus, hat aber großen Einfluss auf alle Bodenfunktionen und spielt eine zentrale Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf.

Der Kohlenstoffgehalt entspricht dem Schwarzanteil der Bodenfarbe, daher ist die Farbe ein wichtiges Kriterium zur Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit.

Humifizierter Kohlenstoff ist z. T. gegen Mineralisierung geschützt, deswegen wird er auch Dauerhumus genannt. Im Inneren der Aggregate sind organische Reste im fortgeschrittenen Abbauzustand gespeichert. Dies ist bester Langzeitdünger für die Pflanzen.

Humus besteht aus den weniger zersetzten Streustoffen, den Huminstoffen und der okkludierten partikulären organischen Substanz.



„...wie kommen die Pflanzennährstoffe in den Boden?“

**Mykorrhizapilze** sondern das Protein Glomalin ab, das organische Stoffe mit Sand, Schluff und Ton verpappt. So werden kleine Erdklümpchen geformt, die sich zu stabilen Bodenaggregaten mit vielen Hohlräumen zusammensetzen. Dieser locker-krümelige Boden bindet Kohlenstoff und erhöht die Luftdurchlässigkeit und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens.

- + Direkte Einträge aus Grundwasser, Niederschlag
- + Direkte Einträge aus der Luft

**Stoffkreisläufe**

Sonnenlicht und Photosynthese als Movers  
Kohlenstoffkreislauf,  
Stickstoffkreislauf,  
Phosphatkreislauf, etc.

**Wurzelexsudate**

Aminosäuren, organische/anorganische Säuren  
Lignin, Zucker, Allomone (Verteidigungsstoffe)  
Glucosinolate, Fettsäuren, Phenole  
Enzyme, Proteine, Enzyme

...mit Hilfe des Sonnenlichts  
Kohlenstoffverbindungen  
...pflanzen als Exsudate über die  
...ndert.  
...und ein wichtiger Teil des Kohlenstoffs

Die Wurzeln stellen den Mikroorganismen alles zur Verfügung, was sie benötigen, aber selber nicht synthetisieren können, v. a. Kohlenstoff und Energie. Die Pflanzen schaffen sich so ihr eigenes Mikrobiom.

**Das Enzym Phytase:**  
wandelt organisch gebundenes Phosphat in leicht lösliche anorganische P-Verbindungen  
20 – 50 % des organischen Phosphats sind als Phytate gebunden;

**Schleimstoffe** werden an den Wurzelspitzen gebildet, und halten die Bodenaggregate zusammen





# Humus ist fruchtbare Erde, unsere Lebensgrundlage und ein hochkomplexer und hochempfindlicher Lebensraum....

*“HOMO – HUMUS – HUMANITAS, drei Schicksalswörter gleichen Ursprungs.”  
(Friedensreich Hundertwasser)*

Humus stammt aus dem Lateinischen und bedeutet „Erde“.

das engl. „human“ ist von derselben Wurzel abgeleitet und bedeutet „der Irdische“.

Das Wort ‘Kompost’ stammt ebenfalls aus dem Lateinischen, und es bedeutet wörtlich ‘etwas zusammen tun’. Kompost ist eine Zusammensetzung aus allerlei organischen Stoffen, die sich im Laufe der Zeit zersetzen und zu Humus werden.

Humus ist mehr als seine einzelnen Bestandteile – es ist „Kompost in transformierten Zustand“ – im Sinne einer höheren Organisation.

Wie lange dauert es, bis sich 1 cm fruchtbarer Boden bildet?

**100 - 300 Jahre**

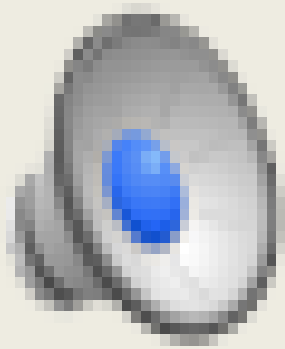
(Umweltbundesamt, 2016)



Hörprobe: Sounding Soil (Neuheim) (Quelle:<https://www.soundingsoil.ch>)

# The Circle of Life:

Bodenlebewesen zersetzen das organische Material und bringen so die Pflanzennährstoffe und den Kohlenstoff zurück in den Boden (Mineralisierung und Humifizierung)



In der biologischen Landwirtschaft ernähren wir nicht die Pflanzen direkt, sondern das Bodenleben.

Alle wichtigen Bodeneigenschaften, wie ein porenreiches Gefüge, in dem Wasser und Luft zirkulieren können und Pflanzen wurzeln, der Nährstoffhaushalt und die Fähigkeit Wasser zu speichern sind von der Tätigkeit der Bodentiere abhängig.

Das Bodenleben ist gegen Umweltgifte wie Pflanzenschutzmittel ebenso empfindlich wie z.B. Insekten – es ist in der Nahrungskette aber viel weiter unten angesiedelt. Dem Zusammenbruch von terrestrischen Ökosystemen geht oft ein unbemerktes Sterben unter unseren Füßen voraus.

# Humustheorien



Seit tausenden von Jahren wird -absichtsvoll oder nicht- Kompostierung praktiziert. Auch eine einfache Entledigung von organischen Abfallstoffen auf einem Haufen zieht meist eine Kompostierung dieser Stoffe nach sich. Ebenfalls seit Jahrtausenden nutzen, steuern und perfektionieren Menschen diese Technik, um die Fruchtbarkeit ihrer Böden zu erhalten. (Z.B. die Terra-Preta-Kulturen Amazoniens)

Aristoteles hat 350 v. Chr. die erste schriftliche Humustheorie formuliert, in der er Kompostierung beschreibt und die Fruchtbarkeit eines Bodens mit ihrem Humusgehalt gleichsetzt. Die Hauptursache des Unfruchtbar-Werdens eines Bodens sieht er in der Verarmung an Humus. Die Feststellung, dass sich die Pflanzen vom Humus ernähren hat sich bis in die Jahre um 1800 gehalten.

Die Humustheorie wurde von dem Universalgelehrten Jean-Henri Hassenfratz 1755–1827 so weiterentwickelt, dass eine Pflanze ihren Bedarf an Kohlenstoff nicht aus der Luft entnimmt, sondern aus den dunkel gefärbten Humusstoffen des Bodens und sonst nur Wasser zum Wachstum benötigt. Dies war das Resultat aus seiner Beobachtung, dass Pflanzen auf tiefgründigen Böden mit viel Humus besser wachsen. Zweck einer Düngung ist es deshalb, den Boden mit humusbildenden Stoffen anzureichern.

Bilder aus dem Kunstprojekt Homo Humus: Hundertwasser, Brouwer, Gahl

# „Chemische Feldpredigten“: Neue Wissenschaft mit Sendungsbewusstsein.



Titelblatt der ersten Ausgabe der Zeitschrift  
„Der Chemische Ackeremann“, 1855

Die chemische Revolution hatte von ihren Anfängen im 18. Jhd. an eine faustische Qualität. Die Chemie entwickelte sich aus der Alchemie, die die naturwissenschaftliche Suche nach den Grundbausteinen, den Elementen noch nicht von der Suche nach geistigen Prinzipien unterschied.

Die Suche nach „dem Stein der Weisen“ blieb ein Strukturprinzip der neuen Wissenschaft – man war auf der Suche nach den Bausteinen des Lebens und erwartete nichts geringeres als die Lösung aller Weltprobleme durch die Anwendung der neuen Wissenschaft.

Gallionsfiguren des revolutionären Aufbruchs in eine wissenschaftsbegründete, neue, bessere Zeit waren in Deutschland u.a. Adolph Stöckhardt und Justus von Liebig.

Sie waren geradezu fanatisch davon überzeugt mit der neuen chemischen Landwirtschaft die Erlösung der Menschheit vor Not und Hunger in der Hand zu haben.

Stöckhardt und Liebig führten einen Feldzug gegen die Humustheoretiker und bedienten sich in ihren Publikationen immer wieder einer religiös aufgeladenen, missionarischen Sprache.

Stöckhardts Mission war es ab 1850, die Erkenntnisse der Agrikulturchemie den Landwirten durch anschauliche Vorträge und populärwissenschaftliche Veröffentlichungen nahe zu bringen.

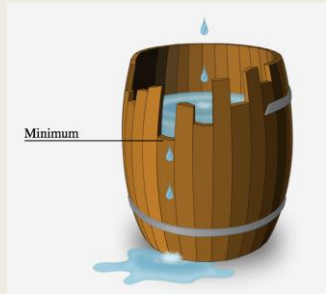
Über 500 Vorträge hat er gehalten und über 500 Beiträge in Zeitschriften publiziert.

Die Landwirte nannten seine Vorträge „chemische Feldpredigten“ und ihn selbst bezeichneten sie als „chemischen Feldprediger“.

Die chemische Landwirtschaft feierte anfangs überragende Erfolge und konnte bis zu 8fache Ertragssteigerungen auf deutschen Feldern verbuchen. Dabei behandelten die neuen Agronomen den Boden nur als Substrat, das seine Funktion als Träger der Pflanze und Vermittler der zugefügten Düngemittel erfüllen sollte.

# Die Entdeckung der Mineralsalze und das Nährstoffbilanzparadigma

Angegriffen wurde die Humustheorie durch die Mineralstofftheorie und das Minimumgesetz von Carl Sprengel, die beide später von Justus von Liebig (1842) weitergeführt wurden.



## Das Nährstoffbilanzparadigma: „Düngung auf Entzug“

bedeutet, dass die Nährstoffe, die durch die Ernte dem Acker entzogen werden, wieder ersetzt werden müssen. In der konventionellen Landwirtschaft und auch teilweise im Biolandbau ist das bis heute die prägende Vorstellung. Die konventionelle Landwirtschaft wirft den anders wirtschaftenden Demeter-Bauern vor, dass durch die Verletzung dieses Prinzips die Böden ausgelaugt werden.

**Heute beweist die agrarökologische Forschung, dass dies nur bedingt richtig ist.**

## Konventionell gegen Bio - ein Antagonismus aus alten Zeiten

### Humus oder Mineralsalze als wichtigste Träger der Pflanzenernährung?

Humus: oberste, aus verweslichen organischen Bestandteilen gebildete fruchtbare Bodenschicht, Übernahme (19. Jh.) von lat. humus 'Erde, Erdboden, Erdreich'.

Laut bodenkundlicher Definition beschreibt Humus die Gesamtheit aller im und auf dem Boden befindlichen, abgestorbenen organischen Substanz. Der griechische Philosoph Aristoteles (384 – 322 v. Chr.) wusste um die Bedeutung des sogenannten Humus für die Pflanzenernährung. Seine „Humustheorie“ wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts von verschiedensten Agrarwissenschaftlern, wie beispielsweise Albrecht Thaer, weiterentwickelt.

Seit Justus von Liebig wissen wir aber, dass nicht der Humus an sich die Pflanzen ernährt, sondern die darin enthaltenen Mineralstoffe.

Der Bodenumus erfüllt aber wesentliche biologische, chemische und physikalische Funktionen, die für die Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit essentiell sind. In erster Linie dient er den Bodenorganismen als Nahrungsgrundlage. Unter einem Hektar Fläche leben bis zu 15 Tonnen Bodenlebewesen, welche die organische Bodensubstanz abbauen und verstoffwechseln. Dabei werden die Mineralstoffe freigesetzt, die wiederum zur Ernährung unserer Kulturpflanzen zur Verfügung stehen. 95 % des gesamten Stickstoffvorrates im Boden sind organisch gebunden. Je nach Standort- und Bewirtschaftungsverhältnissen können so zwischen 6.000 und 10.000 kg N pro Hektar in der Ackerkrume zusammenkommen. Abhängig von den klimatischen Verhältnissen geht man von einer Mineralisationsrate von 1 bis 3 % aus, was bedeutet, dass zwischen 60 und 300 kg/ha aus dem organischen Bodenvorrat nachgeliefert werden können.

Neben der Nährstoffspeicherung und -freisetzung hat der Bodenumus großen Einfluss auf die Bodenstruktur. Zusammen mit den Tonmineralen bilden beständige Formen des Humus stabile Bodenaggregate. (Ton-Humus-Komplexe) Diese tragen zu einem besseren Luft- und Wasserhaushalt sowie einem verbesserten Nährstoffspeichervermögen bei. Das daraus resultierende Bodengefüge führt zu einer besseren Wasserinfiltration sowie zu einem gesteigerten Wasserhaltevermögen. Dies kann sich vor allem in Zeiten des Klimawandels als vorteilhaft erweisen, wenn Starkniederschläge sowie Trockenperioden häufiger auftreten. (Erosionsschutz und bessere Pflanzenversorgung)

Zudem leistet die Landwirtschaft über den Erhalt und den Aufbau von Bodenumus einen Beitrag zum Klimaschutz. Die stabilen Dauerhumusformen sind im Gegensatz zu den leicht abbaubaren Nährhumusformen eine dauerhafte Kohlenstoffspeicherung.

Justus von Liebig: Mineralstofftheorie

Lehrbuch der Agrikulturchemie 1840  
„Nährstoffbilanz-Paradigma“ und Mineraldünger

„...die Kunst des Ackerbaues sei vor allem die Wiederherstellung des Gleichgewichtes der chemischen Elemente, die dem Boden durch die Landwirtschaft entzogen werden.“

„Ich habe an der hiesigen Universität auch die hartnäckigsten Humusanbeter bekehrt und zu meinen eifrigsten Anhängern gewonnen.“

„den landwirtschaftlichen Heiden das chemische Evangelium bringen“

„Viele unserer Landwirte gleichen den alten Alchimisten: wie diese dem Stein der Weisen, so streben sie dem wunderbaren Samen nach, der ohne weitere Zufuhr von Nahrung auf ihren Böden, (...) hundertfältig tragen soll“

Obwohl diese Sicht die Eigendynamik der Böden nicht einbezieht, so konnten doch anhand des Konzeptes der limitierenden Stoffe (Minimumprinzip, eigentlich von Sprengel) wichtige Zusammenhänge erkannt werden, v.a. die Auswirkungen eines Mangels an Stickstoff.

# Essentielle Pflanzennährstoffe

Legend:

- Wasserstoff
- radioaktiv
- Erdalkalimetalle
- Metalle
- Halbmetalle
- Edelgase
- Nichtmetalle
- Alkalimetalle

Atommasse in u (molare Masse)

Elementsymbol

Ordnungszahl

**Aufnahme über Luft und Wasser:**  
 Kohlenstoff (C),  
 Wasserstoff (H),  
 Sauerstoff (O):

**Aufnahme über den Boden:**

**Makronährstoffe**  
 Stickstoff (N),  
 Phosphor (P),  
 Kalium (K),  
 Magnesium (Mg),  
 Calcium (Ca),  
 Schwefel (S):

**Mikronährstoffe**  
 Mangan (Mn),  
 Zink (Zn),  
 Eisen (Fe),  
 Kupfer (Cu),  
 Bor (B),  
 Chlor (Cl),  
 Molybdän (Mo),  
 Nickel (Ni)

Die Metalle unter den Elementen werden von der Pflanze in Form von Metallionen aufgenommen, die Nichtmetalle auch als chemische Verbindungen. Stickstoff kann als leicht pflanzenverfügbares Nitrat-Anion ( $\text{NO}_3^-$ ) aus der Bodenlösung direkt aufgenommen, sowie als schwerer pflanzenverfügbares Ammonium-Kation ( $\text{NH}_4^+$ ) aus den Tonmineralen gelöst werden.

Stickstoff N	Längen- und Massenwachstum; Aufbau von Aminosäuren und Nucleinsäuren; Bildung von Chlorophyll.
Phosphor P	steuert die Blüten-, Samen- und Fruchtentwicklung
Kalium K	gewährleistet Wassertransport und Pflanzenstabilität
Magnesium Mg	unterstützt Stoffwechsel- und Photosyntheseprozesse
Calcium Ca	wichtiger Baustein der Zellwände
Eisen Fe	fördert Pflanzenwachstum und Fruchtertrag



# Essentielle Pflanzennährstoffe

*Für das Wachstum von Grünpflanzen sind 17 chemische Elemente essentiell:*

Aufnahme über Luft und Wasser:

Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O):

Aufnahme über den Boden:

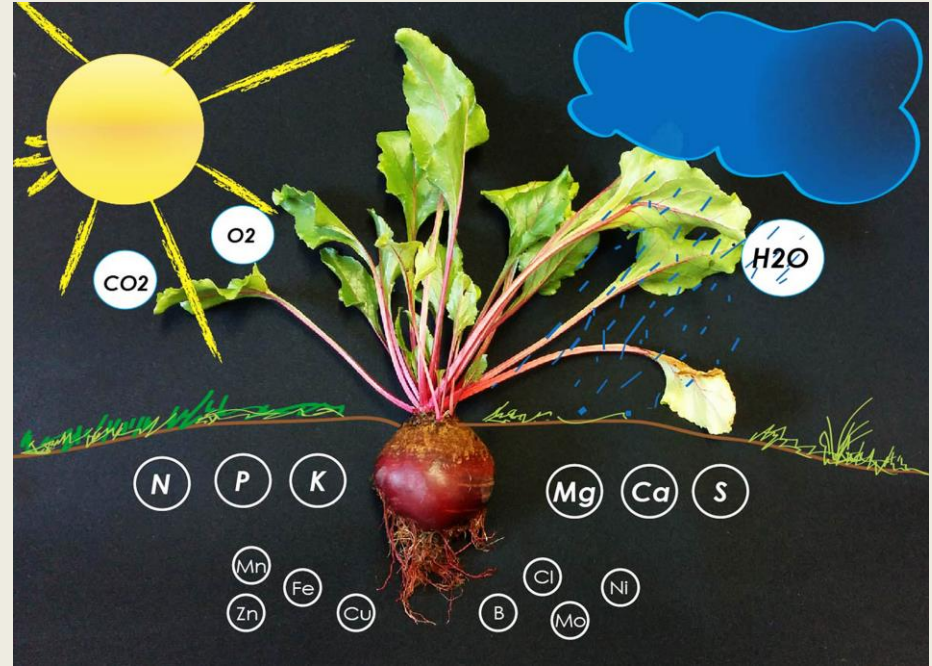
**Mengenelemente oder Makronährstoffe:**

Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K),  
Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Schwefel (S):

**Spurenelemente oder Mikronährstoffe:**

Mangan (Mn), Zink (Zn), Eisen (Fe), Kupfer (Cu),  
Bor (B), Chlor (Cl), Molybdän (Mo), Nickel (Ni)

Ausnahme: Luftstickstoff (siehe Stickstoffkreislauf)



# Essentielle Pflanzennährstoffe und nützliche Elemente

## Makronährstoffe

Makronährstoffe sind Pflanzennährstoffe, die in vergleichsweise hoher Konzentration im Pflanzengewebe vorliegen und deren Bedarf mehreren kg/ha entspricht. Es gibt sechs Makronährstoffe:

<b>N</b> Stickstoff	<b>S</b> Schwefel
<b>P</b> Phosphor	<b>Mg</b> Magnesium
<b>K</b> Kalium	<b>Ca</b> Calcium

## Mikronährstoffe

Mikronährstoffe sind Pflanzennährstoffe, die in vergleichsweise geringer Konzentration im Pflanzengewebe vorkommen und deren Bedarf nur mehreren g/ha entspricht. Sie werden auch Spurenelemente genannt. Acht Mikronährstoffe sind heute bekannt:

<b>Fe</b> Eisen	<b>B</b> Bor
<b>Mn</b> Mangan	<b>Zn</b> Zink
<b>Mo</b> Molybdän	<b>Ni</b> Nickel
<b>Cu</b> Kupfer	<b>Cl</b> Chlor

## Nützliche Elemente

Diese Elemente erfüllen nicht die Kriterien der essentiellen Pflanzennährstoffe, sie sind aber für Pflanzen, Tiere und Menschen nützlich. Beispiele sind:

<b>Na</b> Natrium	<b>Al</b> Aluminium
<b>Co</b> Cobalt	<b>Si</b> Silizium
<b>Se</b> Selen	



## Stickstoff

Stickstoff ist das Nährelement, welches von den meisten Pflanzen am häufigsten benötigt wird. Dabei wird Stickstoff vor allem beim Aufbau von Aminosäuren und Nucleinsäuren benötigt. Ferner ist dieser Nährstoff daran beteiligt, Enzyme und Pflanzenpigmente wie Chlorophyll zu bilden. Stickstoff wird kurz gesagt also benötigt, damit eine Pflanze überhaupt wachsen kann. Ohne Stickstoff würden weder die notwendigen Bausteine der Pflanze gebildet werden, noch könnten enzymatische Reaktionen stattfinden. In den meisten Fällen nehmen die Pflanzen den Stickstoff über die Wurzeln auf, wobei der Stoff hier in der Regel in Form von Verbindungen (z.B. Nitrat, Ammonium) vorliegt. Leidet eine Pflanze unter Stickstoffmangel, so kommt es zu typischen Mangelerscheinungen, die meist leicht zu erkennen sind. Häufig zeichnet sich ein Mangel an Stickstoff durch so genannte Blattchlorosen aus. Einige Blätter, vor allem die älteren, nehmen dabei eine hellgrüne, gelbe Farbe ein, wobei die Blattspitzen dabei meist bräunlich aussehen. Die gesamte Pflanze wächst kaum noch. Ist der Mangel akut, kommt es meist zum Absterben einzelner Pflanzenteile bis hin zum Eingehen der ganzen Pflanze. Im Gegenzug zum Stickstoffmangel kann aber auch eine Stickstoffübersorgung zu Beschwerden führen. **Eine übermäßige Aufnahme von Stickstoff führt zu einem zu schnellen Wachstum, zu weichen und labilen Blättern und Sproßen bis hin zur Vergeilung. Der Grund hierfür ist, dass die Pflanze zu viele Aminosäuren und Eiweiße produziert und nicht mehr ausreichend Kraft für die Bildung von Festigungsgewebe hat. Eine Überversorgung von Stickstoff fördert außerdem den Befall von Parasiten und Krankheitskeimen.**

## Phosphor

Neben Stickstoff ist Phosphor einer der Hauptnährelemente, der für die Pflanzengesundheit und Pflanzenentwicklung maßgeblich ist. Phosphor ist wichtig für:

- die Bildung von Nukleinsäuren
- für den Aufbau bestimmter Pflanzenenzyme
- für die Wurzelentwicklung und das Wurzelwachstum
- für Zellteilung (Mitose)
- für die Bildung von Pflanzenabwehrstoffen
- für die gesunde Entwicklung von Samen

Phosphor wird dabei nicht als Element sondern als Verbindung aufgenommen. Ob und wieviel Phosphor aufgenommen werden kann, hängt maßgeblich vom Boden bzw. der verwendeten Erde ab. Ein zu niedriger pH-Wert, ein zu feuchter oder verdichteter Boden oder nur geringe Gehalte an Humus führen meist zu einer geringen Aufnahme von Phosphaten. Bei der Versorgung der Pflanzen mit Phosphaten ist also nicht nur auf die absolute Nährstoffverfügbarkeit zu achten, sondern auch die vorliegenden Eigenschaften und Qualitäten von Boden bzw. Erde. Typische Phosphatmangelsymptome sind mickriger bzw. kümmerlicher Pflanzenwuchs, ein nur mangelhaft ausgebildetes Wurzelsystem oder eine ausbleibende bzw. verzögerte Blüte. Gelegentlich werden die Blätter dunkler oder haben eine rötliche Ausbildung. Unter Umständen können auch Pflanzen, die eigentlich frosttolerant bzw. frostresistent sind, unerwartet absterben. Auch bei Phosphaten kann sich eine Überversorgung als negativ für das Pflanzenwachstum erweisen.

## Kalium

Der dritte wichtige Nährstoff neben Phosphor und Stickstoff ist Kalium, meist auch kurz Kali genannt. Kalium ist an vielen Stoffwechselprozessen beteiligt und somit für die Pflanzengesundheit unerlässlich. Zu Funktionen von Kalium für die Pflanze gehören u.a. Aktivierung von Pflanzenenzymen, Bildung des Stützgewebes, Beteiligung an Stoffwechselvorgängen, u.a. Osmose, Transpiration, Beteiligung an der Bildung und dem Transport von Kohlehydraten, Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten und Fraßfeinden, Verbesserung der Wasserzirkulation.

Kalium ist darüber hinaus ein wesentlicher Nährstoff in puncto Ertrag und Qualität von Obst- und Gemüsefrüchten. Vor allem einige starkzehrende Pflanzen wie Tomaten, Zucchini benötigen viel Kali, damit sie wohlschmeckende Früchte hervorbringen. Auch Lagergemüse wie Möhren, Pastinaken und Sellerie sind grundsätzlich haltbarer und qualitativ hochwertiger, wenn die Kaliumversorgung optimal ist. Die Aufnahme vom Kalium hängt wie Phosphor auch stark von den Bodeneigenschaften ab. Eine wichtige Eigenschaft stellt hier die Kationenaustauschkapazität dar, die angibt, wie effizient Nährstoffe im Boden aufgenommen und wieder abgegeben werden können. Diese wird maßgeblich vom Anteil der im Boden enthaltenden Ton-Humus-Komplexe beeinflusst. Kalium kann von einer Pflanze grundsätzlich nur als Ion von der Bodenlösung aufgenommen werden. Ein Kaliummangel führt sehr häufig dazu, dass Pflanzen krankheitsanfällig werden. **Bei Tomatenpflanzen fördert ein Mangel an Kali u.a. die Ausbildung von Braunfäule. Häufig macht sich eine Unterversorgung mit Kalium an Rissen an Früchten oder durch unerwartetes Welken bemerkbar.** Unter Umständen können auch Wachstumsstörungen auftreten. **Durch Überversorgung mit anderen Nährstoffen, kann auch ein Kaliummangel entstehen. Beispielsweise passiert dies, wenn im Boden zuviel Magnesium oder zu hohe Stickstoffanteile vorhanden sind, die eine optimale Aufnahme des Nährstoffs verhindert. Ebenso kann eine Überversorgung mit Kalium dazu führen, dass Pflanzen nicht mehr richtig wachsen. Das liegt u.a. daran, dass Magnesium nicht mehr in den Mengen aufgenommen werden kann, da das Kalium wichtige Kationenaustauscherplätze einnimmt.**

## Magnesium

Magnesium zählt zwar ebenfalls zu den Hauptnährstoffen der meisten Pflanzen, wird allerdings in deutlich geringeren Anteilen benötigt. Das zu den Metallen zählende Element wird hat u.a. folgende Funktionen:

- Optimierung der Phosphorversorgung
- Beteiligung an der Bildung einiger Enzyme
- Beteiligung an der Bildung von Chlorophyll (Blattgrün)
- Wachstumssteigerung
- Geschmacksqualität von Feldfrüchten

Ein Magnesiummangel ist meist sehr deutlich zu erkennen. Meist sind die Blätter durch helle Flecken oder eine spezifische Gelbfärbung zu erkennen, bei dem die Blattnerven ihre grüne Färbung behalten. In der Folge nimmt die Photosyntheseleistung der Pflanze deutlich ab, da nur noch ungenügend Chlorophyll von der Pflanze gebildet wird. Meist lässt sich eine Unterversorgung mit Magnesium schnell beheben. Wird der Mangel jedoch nicht beseitigt, so werden die Blätter abgeworfen, die Erträge bleiben aus oder werden mickrig und die Pflanze stirbt auf Dauer ab. Eine Überversorgung ist in der Regel nicht relevant, da überschüssiges Magnesium in den Vakuolen der Blattzellen gespeichert wird. Besteht im Boden oder in der Erde jedoch ein Magnesiumüberschuss, so kann dies zur verminderten Aufnahme von Kalzium und Kalium führen. In vielen Düngern ist heute Magnesium enthalten, so dass eine Unterversorgung nur recht selten auftreten sollte. Viel Magnesium enthalten u.a. auch Dolomitmalk oder einige organische Dünger wie Rindermist oder Knochenmehl.

...nicht die Pflanzen ernähren, sondern die Bodentiere!

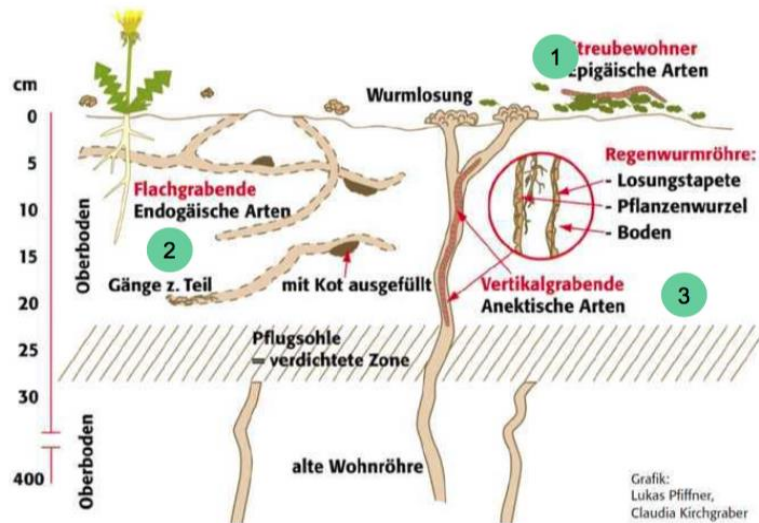
## Pflanzenbau: Bodenfruchtbarkeit

### Regenwürmer: Baumeister fruchtbarer Böden

Drei  
ökologische  
Arten

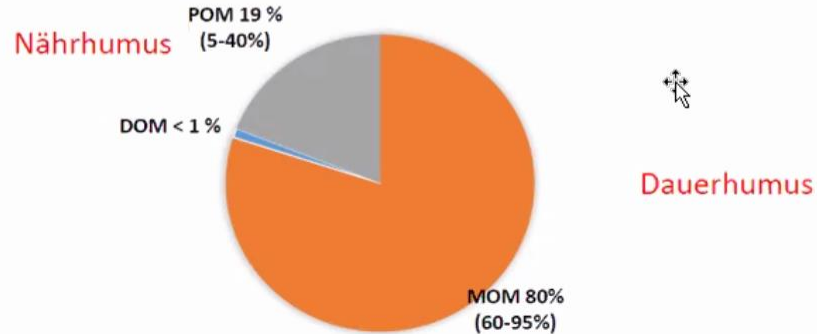
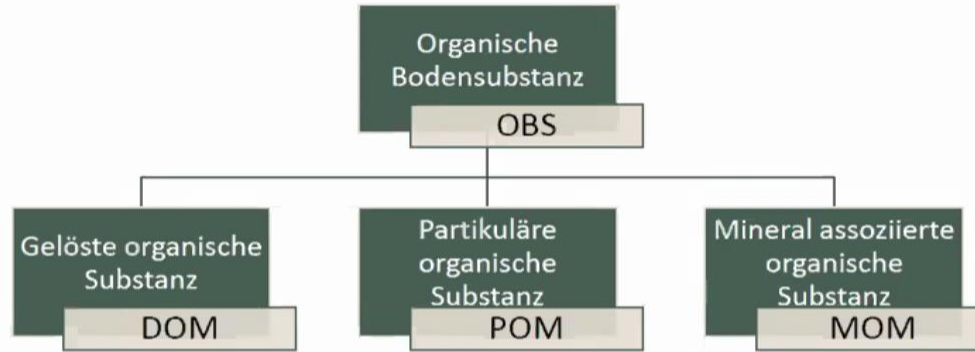


Fotos: L. Pfiffner, FiBL.

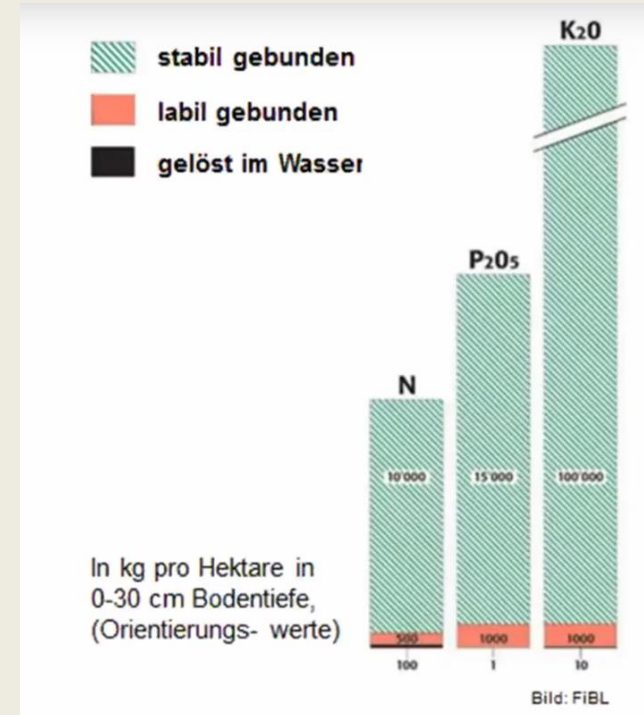
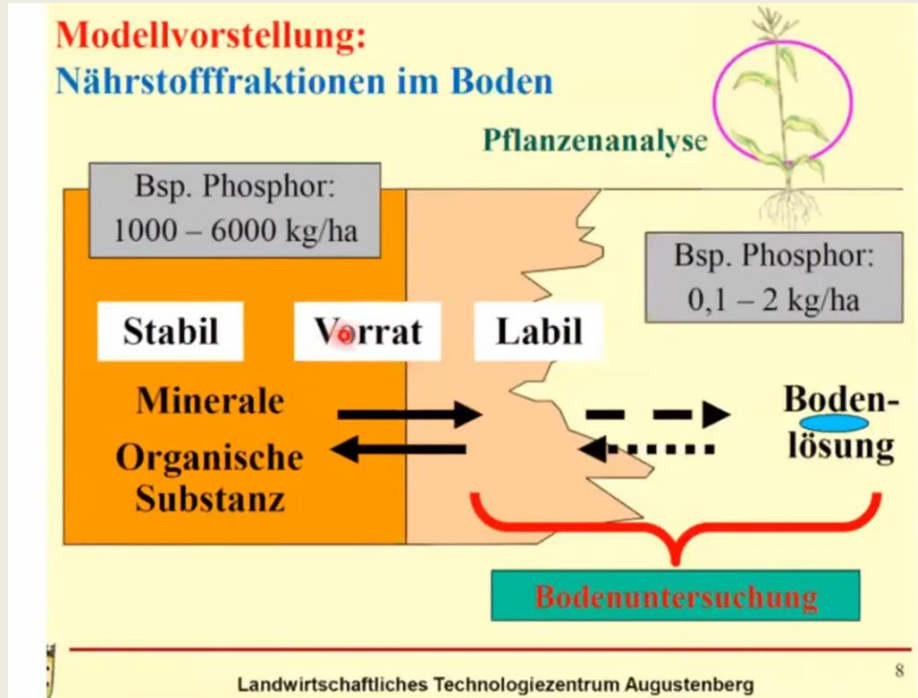


Grafik: L. Pfiffner, C. Kirchgraber, FiBL

# Zusammensetzung der organischen Substanz

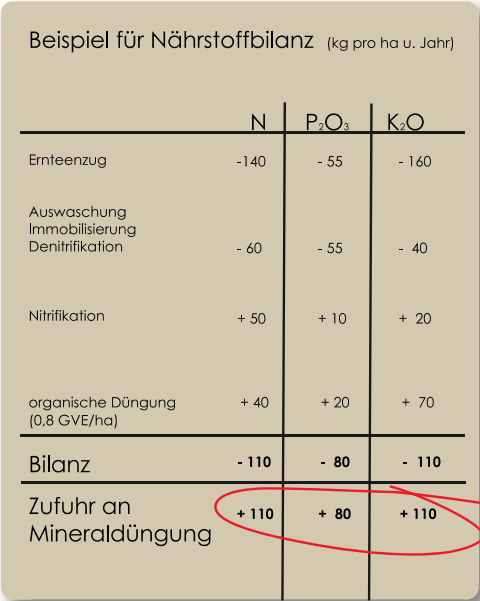


# Veranschaulichung der Nährstoffvorräte im Boden



aus: Reiner Schmidt: Stabile Erträge durch aktive Nährstoffmobilisierung:  
<https://www.youtube.com/watch?v=GmXIUeR3Abk&list=TLPQMDgwNDIwMjHAbSIXV08qxg&index=1>

## Bodennährstoffhaushalt 1.1: Verhalten der Nährstoffe im Boden



	N	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
Enteezug	- 140	- 55	- 160
Auswaschung Immobilisierung Denitrifikation	- 60	- 55	- 40
Nitrifikation	+ 50	+ 10	+ 20
organische Düngung (0,8 GVE/ha)	+ 40	+ 20	+ 70
<b>Bilanz</b>	<b>- 110</b>	<b>- 80</b>	<b>- 110</b>
<b>Zufuhr an Mineraldüngung</b>	<b>+ 110</b>	<b>+ 80</b>	<b>+ 110</b>

Landwirtschaftliche <b>Faustzahlen</b> für Nährstoffentzüge (kg pro ha u. Jahr)							Der Stickstoffbedarf wird in der Regel jährlich fruchtartenspezifisch bestimmt, während die weniger mobilen Nährelemente wie Phosphor auf die mehrjährige Fruchtfolge bilanziert werden.
Fruchtart	Ertragseinheit (dt=Masseneinheit entspricht 100kg)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
Getreide	10 dt Korn/Stroh	20 - 30	10 - 15	20 - 30	6 - 10	3 - 5	
Körnermais	10 dt Korn/Stroh	25 - 30	10 - 15	20 - 30	6 - 10	6 - 10	
Kartoffeln	100 dt Knollen ohne Kraut	30 - 40	10 - 15	55 - 65	1 - 5	3 - 10	
Zuckerrüben	100 dt Rüben mit Blatt	40 - 55	15 - 20	50 - 75	10 - 20	10 - 20	

Der Stickstoffbedarf wird in der Regel jährlich fruchtartenspezifisch bestimmt, während die weniger mobilen Nährelemente wie Phosphor auf die mehrjährige Fruchtfolge bilanziert werden.

# Tonminerale

Zwei- Drei- und Vierschichttonminerale.

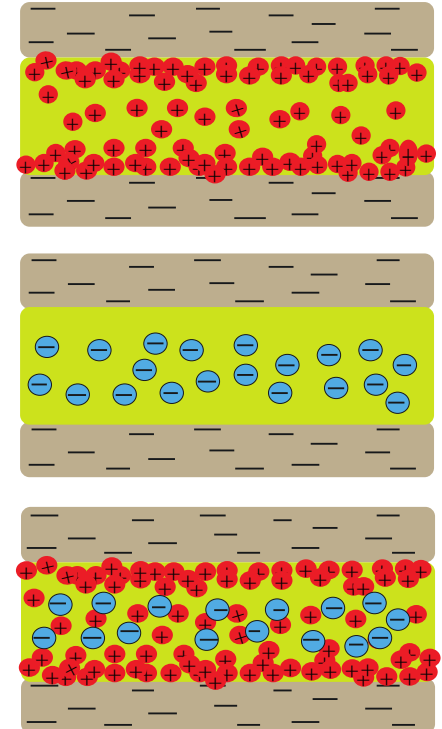
2-Schicht-Tonminerale entstehen durch große Verwitterungsintensität.

Zwischen den Schichtpaketen besteht ein geringer Abstand, da sich Wasserstoffbrücken ausbilden. Böden, in denen Zweischichtminerale dominieren, besitzen eine geringe **Kationenaustauschkapazität**, da die Anlagerung nur in den Außenflächen möglich ist, die inneren Oberflächen unzugänglich sind. Dies wirkt sich negativ auf die Ertragsfähigkeit aus. Sie können nicht sehr stark quellen. Beispiele für 2-Schicht-Tonminerale sind Kaolinit und Halloysit.

In Dreischichttonmineralen sind die Oktaederschichten zwischen zwei Tetraederschichten eingelagert. Sie entstehen bei nicht zu intensiver Verwitterung. Es besteht keine Wasserstoffbrückenbildung. Daher sind die Zwischenräume größer und Sorption- sowie Quellmöglichkeiten gegeben. Die Ionen aus den einzelnen Schichten sind am Rand austauschbar. Daher weisen Dreischichtminerale eine höhere Kationen-Austauschkapazität auf. Die Böden sind also fruchtbarer. Beispiele für 3-Schicht-Mineralien sind Illit, Vermiculit sowie Montmorillonit.

4-Schicht-Tonminerale

Bei Vierschichtmineralen besteht ein Schichtpaket aus zwei Tetraeder- und zwei Oktaederschichten. Sie entstehen zum Beispiel in relativ sauren Böden aus Dreischichtmineralien. Da sich jeweils eine Oktaeder- und eine Tetraederschicht gegenüber liegen, besteht nur ein enger Zwischenraum, in dem keine Kationen eingelagert werden können. Sie sind daher nicht quellbar.



Stark vereinfachtes Schema von 3-Schicht-Tonmineralien

# Tonminerale

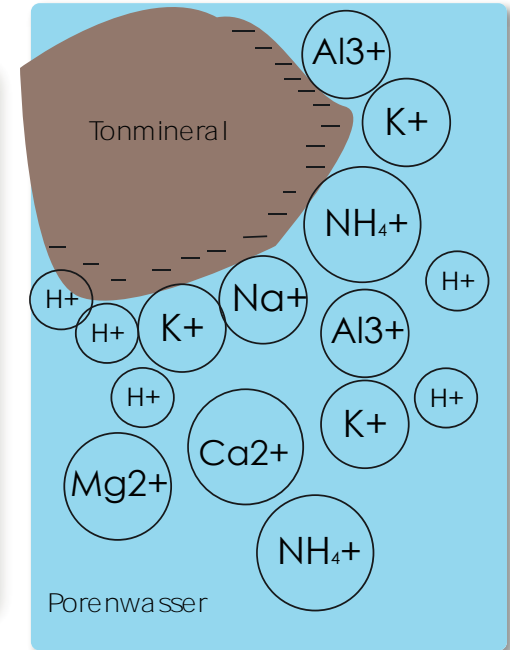
## Tonminerale

sind plättchenförmige Schichtsilikate mit einem regelmäßigen Aufbau aus Siliziumtetraeder- und Aluminiumoktaederschichten, die einen Durchmesser von weniger als 2 Mikrometer aufweisen. Sie sind wasserhaltig und können an ihren negativ geladenen Oberflächen und Zwischenräumen Kationen binden. Anionen werden von den negativ geladenen Plättchen abgestoßen und in der Zwischenschicht weniger gut gespeichert wie die Kationen. Sie sind daher leichter pflanzenverfügbar, werden aber auch leichter ausgewaschen, wie z.B. Nitrat  $\text{NO}_3$

Pflanzen geben über ihre Wurzeln  $\text{H}^+$ -Protonen an die Bodenlösung ab. Diese binden sich sehr einfach an Tonminerale, so dass die Kationen verdrängt werden. Die so ausgetauschten Kationen nehmen die Pflanzen dann aus der Bodenlösung auf.

Neben den essentiellen Pflanzennährstoffen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  und  $\text{K}^+$ , können aber auch Schadstoffe wie Blei, Cadmium und Quecksilber als Kationen in die Bodenlösung gelangen.

Tonminerale können infolge der Aufnahme bzw. Abgabe von Flüssigkeiten quellen bzw. zu schrumpfen.



## Direkte und indirekte Düngung

### Direkte Düngung: Mineraldünger

Anorganischen Ausgangsstoffe:

Synthetisch hergestellte wasserlösliche Salze (Ionen) + Spurenelemente  
Typischer Mehrstoffdünger: NPK - (Stickstoff, Phosphor, Kalium)

Wirkung:

- Direkte Aufnahme mit Sofortwirkung auf das Pflanzenwachstum
- Mengensteuerung (theoretisch) möglich

Nachteile:

- Enormer Energieaufwand zur Herstellung oder Abbau nötig.
- Vielfältige Wirkungen auf Zellstruktur der Pflanzen
- Hemmende Wirkung auf die Aktivität vieler Bodenorganismen
- Ansteigender Salzgehalt im Boden
- Weniger Humusbildung - Humusabbau
- Boden kann seine Krümelstruktur verlieren; Krustenbildung
- Pflanzen werden „faul“, Wurzelbildung verläuft flacher
- Umwandlungsprozesse in der Rhizosphäre werden gestört
- Netzwerke („Internet des Bodens“) werden nicht ausgebildet, z.B. das Mykorrhiza-Geflecht
- Auswaschung ins Grundwasser - z. B. Nitratproblematik

### Indirekte Düngung: Organische Dünger

Nährstoffe aus pflanzlichen und tierischen Rohmaterialien. Damit die Pflanze organische Nährstoffe aufnehmen kann, müssen diese zuvor von Bodenorganismen umgewandelt werden.

(Organische Dünger haben einen 1-10%igen Anteil an leicht pflanzenverfügbaren Mineralsalzen, wie zum Beispiel Ammoniumnitrat.)

Wirkung:

- Rückführung organischer Substanz in den Boden als Nahrung für die Bodenlebewesen - nicht als direkte Nahrung für die Pflanze
- Rückgewinnung der anorganischen Nährsalze (Remineralisierung)
- natürliche Langzeitwirkung durch Humifizierung
- Vielzahl von Spurenelementen
- Schutz der im Boden lebenden Organismen
- Ausbildung der Netzwerke der Rhizosphäre wird unterstützt
- Kohlenstoff wird klimawirksam festgelegt

Nachteile:

- Düngerverfügbarkeit im Boden stark schwankend (von Temperatur und Feuchtigkeit abhängig)

**Nährsalze** sind essentielle Nährelemente, die Pflanzen nur wassergelöst (Ionen) durch die Wurzel oder mit der Oberfläche aufnehmen.

Anionen: [Nitrate,  $\text{NO}_3^-$ ; Carbonate,  $\text{HCO}_3^-$ ; Sulfate,  $\text{SO}_4^{2-}$ ; Phosphate,  $\text{HPO}_4^{2-}$  oder  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; Borate [Bor],  $\text{BO}_3^{3-}$  oder  $\text{HBO}_3^{2-}$  oder  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ; Molybdate [Molybdän],  $\text{MoO}_4^{2-}$ ; Silicate [Kieselsäuren, Silicium],  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ ; Chloride [Chlor],  $\text{Cl}^-$ ]

Kationen: [Kalium  $[\text{K}^+]$ , Calcium  $[\text{Ca}^{2+}]$ , Magnesium  $[\text{Mg}^{2+}]$ , Eisen  $[\text{Fe}^{2+}$  oder  $\text{Fe}^{3+}]$ , Mangan  $[\text{Mn}^{2+}]$ , Zink  $[\text{Zn}^{2+}]$ , Kupfer  $[\text{Cu}^{2+}]$ , Kobalt  $[\text{Co}^{2+}]$ , Natrium  $[\text{Na}^+]$ , Ammonium  $[\text{NH}_4^+]$ ].

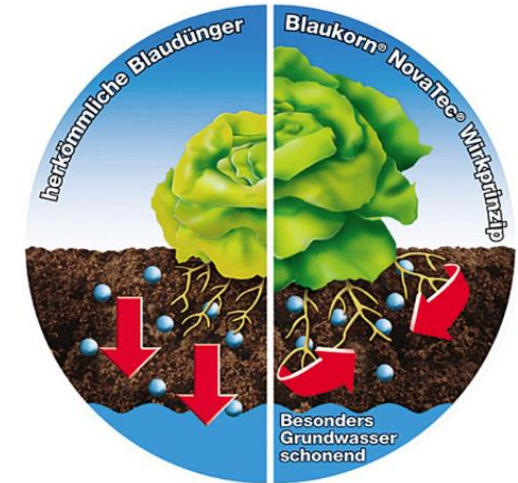
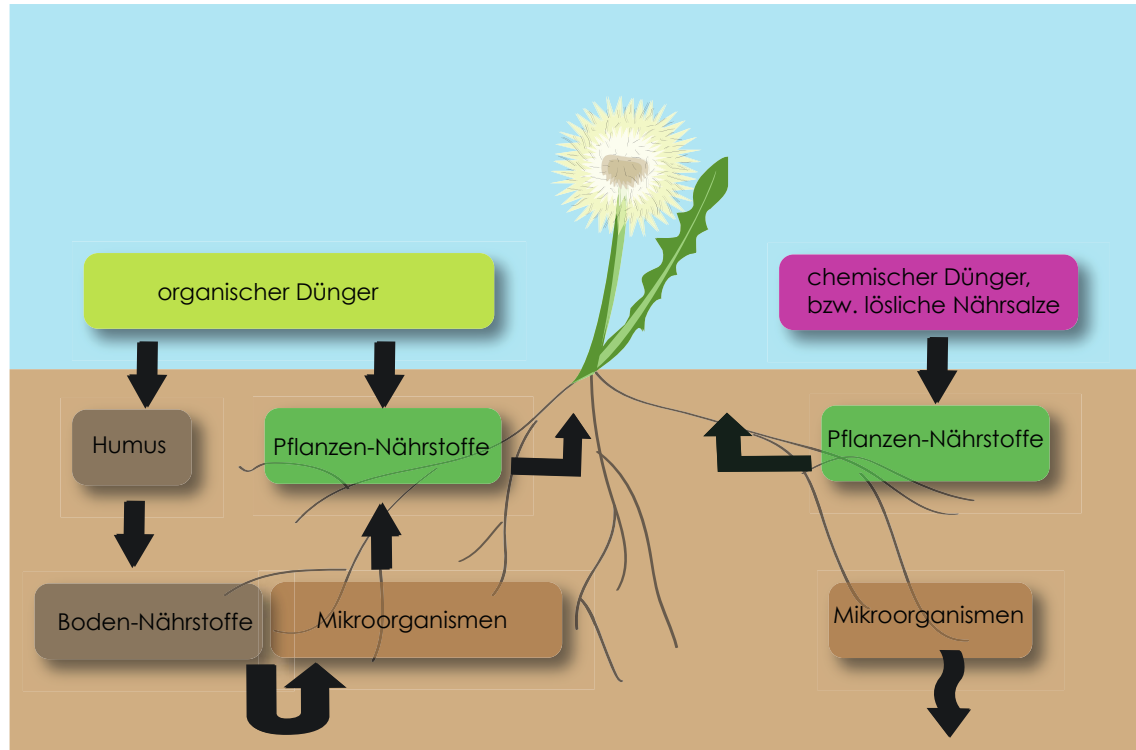
Sie entstehen bodenbürtig aus der Verwitterung des Ausgangsgesteins, sowie durch Zersetzung organischen Materials (Mineralisierung).

Die Aktivität der zersetzenden Bakterien wird durch die Wurzelexsudate der Pflanze maßgeblich beeinflusst.

**KAK - Kationenaustauschkapazität:** Die Art der Tonminerale beeinflusst die Verfügbarkeit wichtiger Makro- und Mikronährstoffe



## Bodennährstoffhaushalt 1: Direkter und indirekter Umsatz



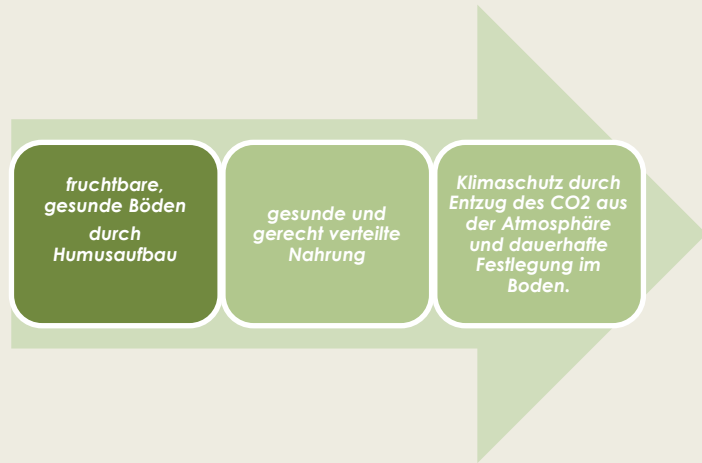
# Dekarbonisierung und Rekarbonisierung

Unsere Wirtschaftsweise führt dazu, dass wir Kohlenstoff in Form von klimaschädlichen CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre anreichern, den Böden aber durch ungeeignete Anbaupraktiken massiv den für die Bodenfruchtbarkeit dringend benötigten Kohlenstoff entziehen.

Der Weg aus der multifaktoriellen Krise ist also nicht nur die Dekarbonisierung unseres Energie- und Wirtschaftsystems, sondern parallel dazu die Rekarbonisierung unserer Böden.

Die regenerative oder aufbauende Landwirtschaft versucht mit einer Kombination humusaufbauender Praktiken die Humusgehalte der bewirtschafteten Böden dauerhaft zu erhöhen. Dadurch entsteht die gewünschte win-win-win-Situation:

***Wichtig ist, dass angepasst an die lokale Situation in selbstbestimmten bäuerlichen Erzeugergemeinschaften die bestmögliche Verfahrensweise vor Ort herausgefunden wird – Buen Vivir***



- Agroforstsysteme
- Kompostwirtschaft
- Permakultur
- extensive Weidewirtschaft
- holoistisches Weidemanagement
- biodynamische Bewirtschaftung
- pfluglose, ökologische Bewirtschaftung
- biointensive Market-Gardening-Kooperativen
- ökosoziale Klein-Plantagen mit Manufakturen
- Terra Preta
- Saatgut-Tauschbörsen
- Aufforstung und Trittsteinbiotope im Wechsel mit Ackerflächen



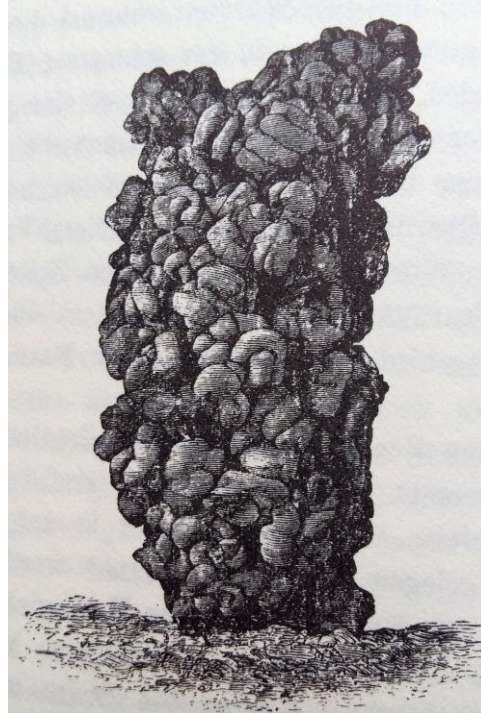
# Warum ist Mulchen so wichtig?

- Der Boden als Lebensraum wird gestärkt. „Futter“ und Lebensraum für die Bodenorganismen.
- Im Winter und in der anbaufreien Zeit wird der Boden bedeckt. Dadurch werden Unkräuter unterdrückt.
- Erosionsschutz: Starkregen sickern sanft in den Boden ein und reißen die Krume nicht mit sich weg. Trockener Boden wird nicht vom Wind verblasen.
- Der Boden friert auch in strengen Wintern nicht durch.
- Viel organisches Material baut nicht nur Humus auf, sondern sorgt auch für eine lockere Krümelstruktur und erhöht die Wasserspeicherkapazität. Das ist die beste Vorbeugung gegen trockene Sommer.
- Eine gut gepflegte Mulchschicht, auch im Sommer, erspart Wasserverluste und verringert die notwendigen Gießmengen ganz erheblich.

# Worauf ist dabei zu achten?

- Möglichst unterschiedliches Mulchmaterial mischen (mindestens zwei Komponenten, besser mehr!).
- Auch verholzte Substrate verwenden, da deren Abbau durch Bakterien und Pilze die Humusbildung besonders stark fördert.
- Wenn es sich um Böden mit wenig Leben handelt, vorab mit gewachsenem, belebtem Mutterboden aus Hecken rundherum „impfen“ (entweder unter den Mulch oder oben drüber).
- Keinen Rindenmulch und keine synthetischen Folien, Pappen , etc. verwenden – auch nicht biologisch abbaubare, da Luft in den Boden kommen muss.
- Lebende Pflanzmaterialien trocknen lassen.
- Bitte keine gegarten Küchenabfälle auf den Mulch bringen! Das zieht Ratten etc. an – aber gerne rohe, Bio-Küchenabfälle.
- Im Winter monatlich wenden.
- Grobes Geäst auf den Hauptwegen verteilen (verringert Verdichtung)

# Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit





## **Literatur:** (Inhalte aus dem Netz jeweils bei den Texten/Bildern)

- Susanne Dohrn: Der Boden – Bedrohter Helfer gegen den Klimawandel/ 1. Aufl. Okt. 1919/Christoph Links Verlag
- Ute Scheub; Stefan Schwarzer: Die Humusrevolution: Wie wir den Boden heilen, das Klima retten und die Ernährungswende schaffen/2. Aufl. Oekom-Verlag/München 2017
- Nikola Patzel: Bodenwissenschaften und das Unbewusste/Oekom-Verlag/ München 2015
- Edwin Scheller: Grundzüge einer Pflanzenernährung des ökologischen Landbaus/ Verlag lebendige Erde im Demeter e.V./ 1. Aufl. 2013
- Anita Idel: Die Kuh ist kein Klimakiller/ Metropolis-Verlag; Marbuch 2010
- Andrea Heisting, Alfred Grand: Biodünger selber machen: Regenwurmhumus, Gründüngung, Kompost/ Löwenzahn-Verlag, 2019
- Kuntze, Roeschmann, Schwerdtfeger: Bodenkunde/ 5. Aufl./Ulmer Verlag; Stuttgart 1994
- Scheffer, Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde/ 17. Aufl. 2017
- Charles Darwin: „Die Entstehung der Ackererde aus der Thätigkeit der Würmer“; März Verlag 1983 (nur noch antiquarisch erhältlich).

### **Im Bodenkoffer enthalten:**

- **Wolfgang Holzner, Johann Glauningner: AckerUnkräuter: Bestimmung Biologie, Landwirtschaftliche Bedeutung; Leopold Stocker Verlag; Graz 3. Aufl. 2019**
- **Booklet: Bodenkoffer – Bodenbeurteilung leicht gemacht; dies ist Teil des Bodenkoffers und ist nur mit dem Bodenkäufer erhältlich.**
- **Auf Wunsch habe ich die wichtigsten Inhalte des Booklets zusammengefasst und mache sie somit allen Teilnehmern auch schriftlich verfügbar.**
- **Unter [www.bodenkoffer.at](http://www.bodenkoffer.at) werden die Inhalte von Hermann Pennwieser u.a. per Video vorgestellt. Hier finden sie auch die Seite, in der ihre Untersuchungs-Ergebnisse eintragen könnt, um die Entwicklung eurer Böden verfolgen zu können.**
- **Weitere Vorträge zum Thema von Hermann Pennwieser, Stefan Schwarzer u.a. finden sie auf dem youtube-Kanal: Aufbauende Landwirtschaft.**

### **Supertolle Dokus/Vorträge auf youtube:**

- Demeter-Beratung: Stabile Erträge durch aktive Nährstoffmobilisierung. <https://www.youtube.com/watch?v=GmXIUeR3Abk>
- Böden im Burnout - Wie Chemie Bienen und Äcker bedroht | Doku 3SAT : <https://www.youtube.com/watch?v=mJzoevKT0Gw>
- Reise in die Erde - Die Haut der Erde ( wunderschöne Wissenschaftsdoku zum neuesten Stand der Forschungen) [https://www.youtube.com/watch?v=RgjVt\\_DD2M0](https://www.youtube.com/watch?v=RgjVt_DD2M0)