

Ackerbau aus Sicht des Bodens und seiner Bewohner



Universität für
Bodenkultur Wien

Department für
Nachhaltige Agrarsysteme

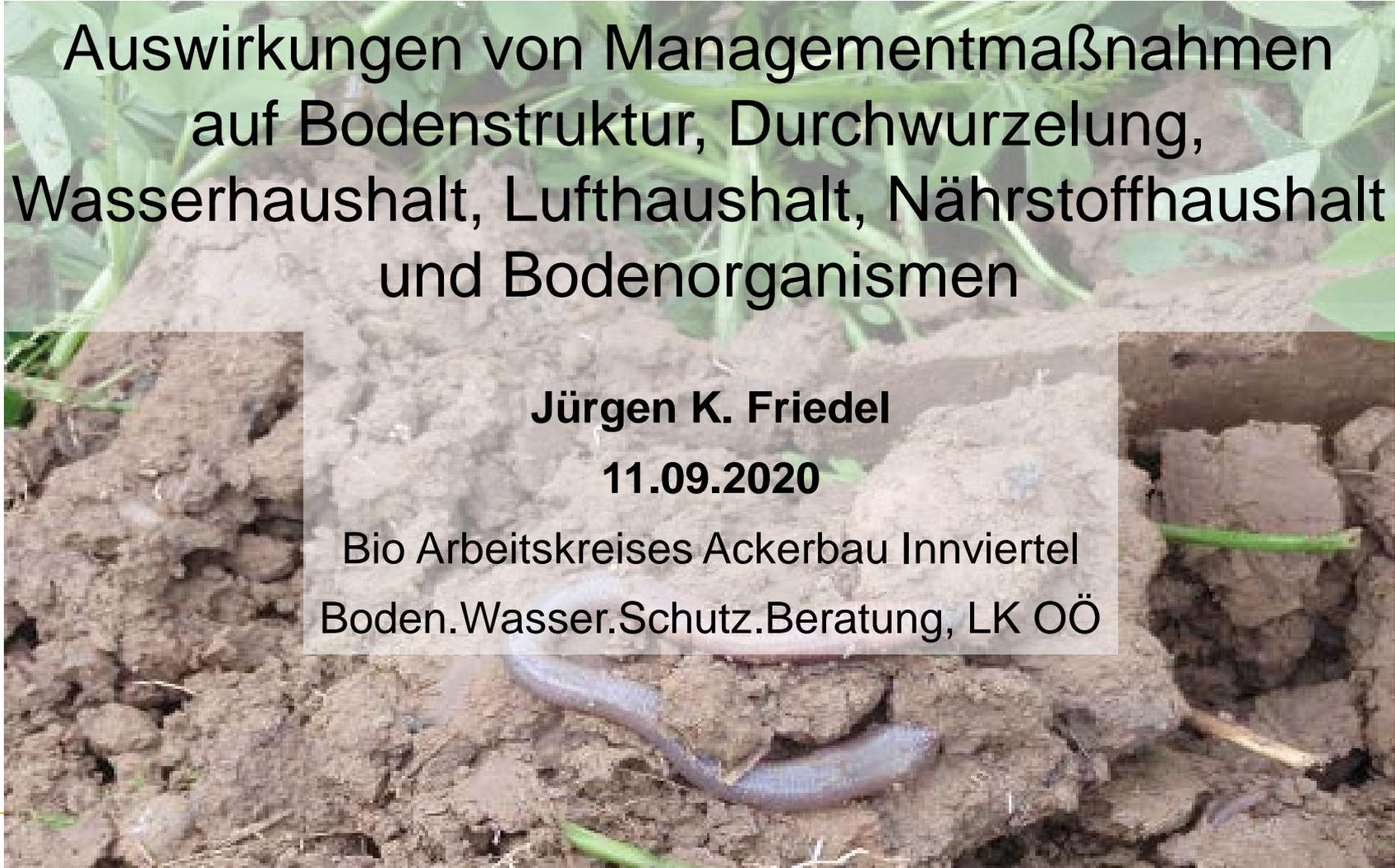
Institut für Ökologischen Landbau

Auswirkungen von Managementmaßnahmen
auf Bodenstruktur, Durchwurzelung,
Wasserhaushalt, Lufthaushalt, Nährstoffhaushalt
und Bodenorganismen

Jürgen K. Friedel

11.09.2020

Bio Arbeitskreises Ackerbau Innviertel
Boden.Wasser.Schutz.Beratung, LK OÖ





Ackerbau aus Sicht des Bodens und seiner Bewohner – Inhalt

Bewirtschaftung und

- Humus / organische Bodensubstanz
- Bodenstruktur, Durchwurzelung
- Wasserhaushalt, Lufthaushalt
- Bodenorganismen
- Nährstoffhaushalt

Wasser- und Lufthaushalt

- Wirkungen von Humus

Humus und Bodentemperatur:

- Wärmeabsorption
- Struktur (Abtransport Überschusswasser im Frühjahr)

Humus und physikalische Bodeneigenschaften:

- Verringerung der Lagerungsdichte:
- Strukturverbesserung
- Lebendverbauung (indirekt)

Humus und Wasserkapazität:

- Bindung von Wasser in Poren / an die organische Substanz:

Humus und Durchlüftung:

- Sauerstoffzufuhr zu den Wurzeln
- Kohlenstofftransport aus dem Wurzelraum (Kohlendioxid)

Unterteilung in „*Dauerhumus*“ und „*Nährhumus*“

„***Dauerhumus***“: stabil

Humusgehalt

- ✓ physikalische und sorptionschemische Eigenschaften
- ✓ Ton-Humus-Komplexe
- ✓ nur längerfristig beeinflussbar

**Wasserhaltefähigkeit, Durchwurzelbarkeit,
Durchlüftung, Erwärmung,
Nährstoffpufferung**

„***Nährhumus***“: aktiv

Humusumsatz

- ✓ Nährstoff-(N-)freisetzung
- ✓ Aktivität von Bodenorganismen
- ✓ Verluste müssen kontinuierlich ergänzt werden:
ständige Zufuhr an organischer Substanz in ausreichender Menge!

**Aggregatstabilität, Gare, Krümelstruktur,
Stickstoffnachlieferung, Bodenleben,
Nährstoffmobilisierung, Bodengesundheit**

**Beide Komponenten sind für die Bodenfruchtbarkeit von Bedeutung!
Humusumsatz ist mindestens so wichtig wie Humusgehalt!**

Humusaufbau

- Einfluss der Kulturpflanzen



Humusaufbau

- Einfluss der Kulturpflanzen

Durchschnittliche Wurzelmengen der wichtigsten
Fruchtarten-Gruppen (Könnecke 1966: 23)

Fruchtartengruppe	Trockenmasse dt/ha	Trockenmasse relativ
Getreide (einschl. Stoppeln)	24	100
Hackfrüchte	6	25
Luzerne	80	333
Kleearten	40-50	167-208
Klee gras, Feld gras	60	250

Höchste Wurzelrückstände bei Futterleguminosen und Futterbau



Humusaufbau

- Einfluss der Kulturpflanzen

Fruchtfolge bestimmt die Futtermenge und den Anfall organischer Dünger

Futterleguminosen, Futterbau und Gründüngungen

beeinflussen maßgeblich

direkt (eiweißreiche Wurzelrückstände, Wurzelausscheidungen)
und **indirekt** (einweißreiche, organische Dünger)

- Humusauf- oder -abbau,
- Aktivität des Bodenlebens,
- Stabilität der Bodenstruktur!

Humusaufbau

- Einfluss der Düngerart

Gehalte von organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff im Oberboden in Abhängigkeit von Düngerart und -menge. Darmstädter Langzeitdüngungsversuch

	Organic C (%)				Total N (%)			
	CM	CMBD	MIN	Average	CM	CMBD	MIN	Average
Low	0.85	1.02	0.78	0.89 a	0.075	0.089	0.067	0.077 a
Medium	0.90	1.09	0.81	0.94 a	0.080	0.095	0.071	0.082 b
High	0.94	1.12	0.82	0.96 a	0.084	0.097	0.071	0.084 b
Average	0.90 b	1.08 c	0.80 a		0.080 b	0.094 c	0.069 a	

Scheller u. Raupp (2005)

Düngermenge:
+ 0,07 %

Düngerart:
+ 0,28 %

¹Mean values of either type or rate of fertilizer application with different letters are significantly different (p < 0.05).

CM: Mistkompost; CMBD: Mistkompost mit biologisch-dynamischen Präparaten; MIN: Mineraldüngung

- Gehalte an organischer Bodensubstanz (OBS) nehmen mit zunehmender Düngermenge zu.
- **Einfluss der Düngerart** stärker als Düngermengeneffekt:
Eiweißstickstoff im Kompost baut OBS **effektiver** auf als mineralischer Stickstoff.
- **Biologisch-dynamische Präparate** steigern den Effekt.
- **Eiweißreiche organische Substanz** fördert Aufbau der OBS

Humusaufbau

- Einfluss der Düngerart

Eiweißreiche organische Dünger

- fördern Humusaufbau mehr als mineralische N-Dünger
- fördern stabilen und umsatzaktiven Anteil der organischen Bodensubstanz
- fördern die Bodenstruktur und Gare
- fördern die Durchwurzelbarkeit
- verschieben den Bodenstoffwechsel hin zu Aufbauvorgängen
- fördern die Bodenfruchtbarkeit
- fördern die Nährstoffaufnahme und Nährstoffmobilisierung

Aminosäuren

- sind an der „N loop“ zwischen Boden und wachsenden Pflanzen maßgeblich beteiligt
- fördern Mobilisierung von Ammonium und Kalium aus Tonmineralen

Eiweißreiche organische Dünger (Stallmist, Kompost, Ernte- und Wurzelrückstände) bauen Humus effektiv auf!

Humusaufbau und -umsatz

- Humusdynamik

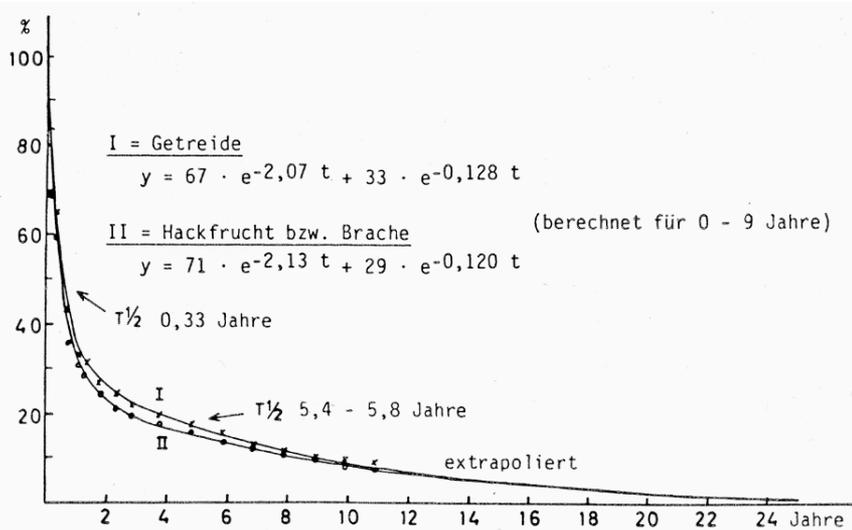


Abb. 1. Abnahme des ¹⁴C-markierten Weizenstroh-Kohlenstoffs unter Feldbedingungen im Laufe von 11 Jahren - Parabraunerde - pH 6,7 - 0,87% C - 16,4% Ton -
 Quelle: (72)

Abbau der
Ernterückstände
zu ca. 80 % in
zwei Jahren

**Abbau, Anhäufung und Umsatz von organischer
Masse im Boden aus Umsetzungsversuchen mit
¹⁴C-markiertem Weizenstroh unter
Feldbedingungen**

(Sauerbeck & Gonzales, 1976)

Humusumsatz, -dynamic

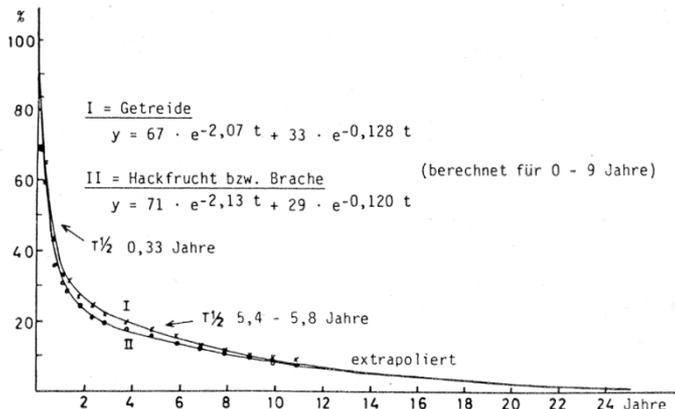


Abb. 1. Abnahme des ^{14}C -markierten Weizenstroh-Kohlenstoffs unter Feldbedingungen im Laufe von 11 Jahren – Parabraunerde – pH 6,7 – 0,87% C – 16,4% Ton –
 Quelle: (72)

Jährlich wiederholte Zugabe:
 Anhäufung von Resten im
 Laufe der Jahre

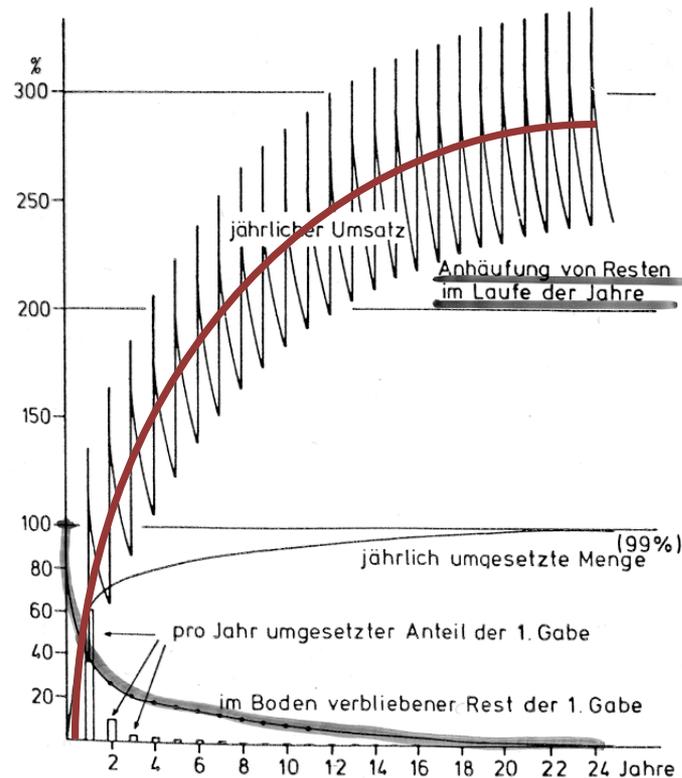


Abb. 2. Abbau, Anhäufung und Umsatz von organischer Masse im Boden, ermittelt aus Umsetzungsversuchen mit ^{14}C -markiertem Weizenstroh unter Freilandbedingungen
 Quelle: (70)

Angehäuerte Reste (= Nährhumus):

→ anhaltende Förderung von Nährstoffumsatz und Bodenleben

Humusumsatz / Umsatz von zugegebener organischer Substanz:

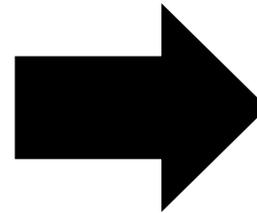
→ Nährstofffreisetzung und Krümelbildung

=> „Nährhumus“-Funktion



Bodenstruktur

- Aggregatbildung - Lebendverbauung



Lebendverbauung ist an der Krümelbildung erkennbar.

Bodenstruktur

- Erosion, Bodenabtrag:

Dauerhafter Verlust an Boden und Bodenfruchtbarkeit!



*Bodenverluste durch
Erosion sind für
den Bewirtschafter
unwiederbringlich!*

Montgomery 2010



Bodenstruktur

- Erosion

Vertretbare Erosion = Bodenneubildung

ca. 0,1 mm / a = 1,3 t / ha / a

Derzeitige Erosion: ca. 10 – 20 x so hoch!



Bodenstruktur

- Erosion

Tabelle 9: Bodenartenhauptgruppen und Eigenschaften von Lockergesteinsböden (nach KUNTZE et al. 1994, S. 94) (leicht verändert)

Bodeneigenschaften	Bodenartenhauptgruppen			
	Sand	Schluff	Ton	Lehm
Wasserspeicherung	--	+	++	++
Wassernachlieferung	-	++	-	+
mechanisches Filtervermögen	+	++	-	+
physiko-chem. Filtervermögen	--	-	++	+
Nährstoffspeicherung	--	-	++	+
Nährstoffnachlieferung	-	+	+	++
Schadstoffakkumulation	-	+	++	++
<u>Erodierbarkeit</u>	0	+	--	-
Bearbeitbarkeit	++	0	--	+
Dränbarkeit	++	--	-	0

Schluff: mehlig;
Lößböden

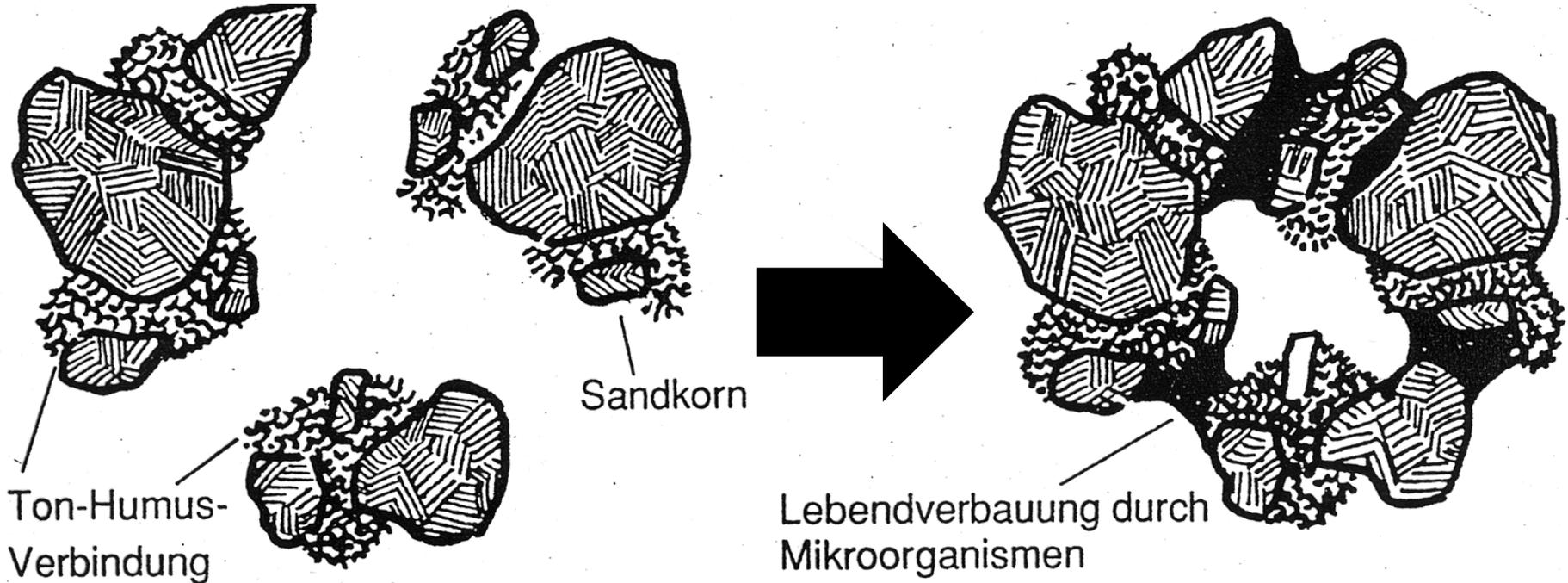
Schluffteilchen:
ungeladen
→ *Erosion*

Tonteilchen:
geladen
→ *Ton-Humus-Komplexe*

++ sehr gut (sehr hoch); + gut (hoch); 0 befriedigend (mittel);
- schlecht (wenig); -- sehr schlecht (sehr wenig)

Bodenstruktur

- Aggregatbildung, Lebendverbauung

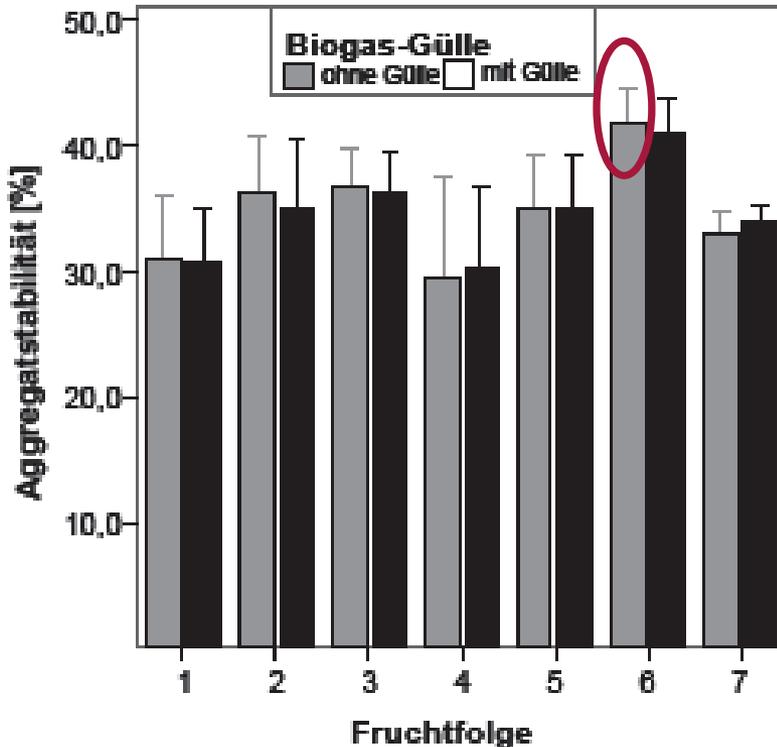


Bodengare nach Sekera (1984):

links: **Mikro**aggregate, Aggregation durch *Ton-Humus-Komplexe*;
rechts: **Makro**aggregate, Aggregation durch *Mikroorganismen* und
mikrobielle Rückstände

Bodenstruktur

- Aggregatbildung, Lebendverbauung



- 1: Klee gras – WWeizen – Grünroggen/Mais
– Triticale
- 2: Grünroggen/Mais – Wickroggen/Sudangras
- 3: Grünroggen – Weißklee
- 4: wie 1
- 5: Grünroggen – Senf/Rübsen
- 6: Grünroggen/Mais – **Klee gras**
- 7: wie 1

Aggregatstabilität in unterschiedlichen Fruchtfolgen

Reents et al. (2011)

Aggregatstabilität am größten bei 2x Klee gras in der Fruchtfolge (Ernte- / Wurzelrückstände!). Kein Effekt der Gölledüngung.



Bodenstruktur

- Aggregatbildung, Lebendverbauung

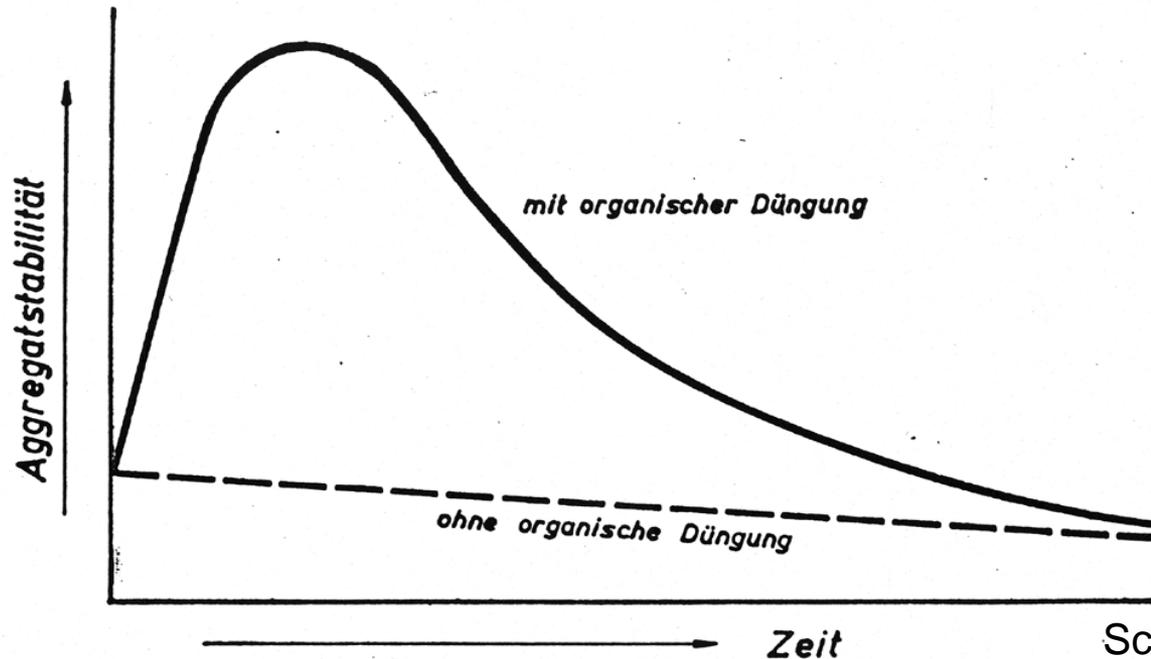
Pflanzenrückstände und **Stallmist** fördern Bildung von Makroaggregaten und Aggregatstabilität.

→ Förderung der Bodenstruktur

→ Stabilisierung von zugeführter organischer Substanz im Humus (Humusaufbau)

Bodenstruktur

- Aggregatbildung, Lebendverbauung



Scheffer /Schachtschabel

Abb. 74 Zeitliche Veränderung der Aggregatstabilität eines Ackerbodens mit und ohne organische Düngung (schematisch, in Anlehnung an *P. K. Peerkamp*)

Zur Aufrechterhaltung des Humusumsatz und seiner Funktionen ständige Zufuhr organischer Substanz nötig!

Bodenstruktur

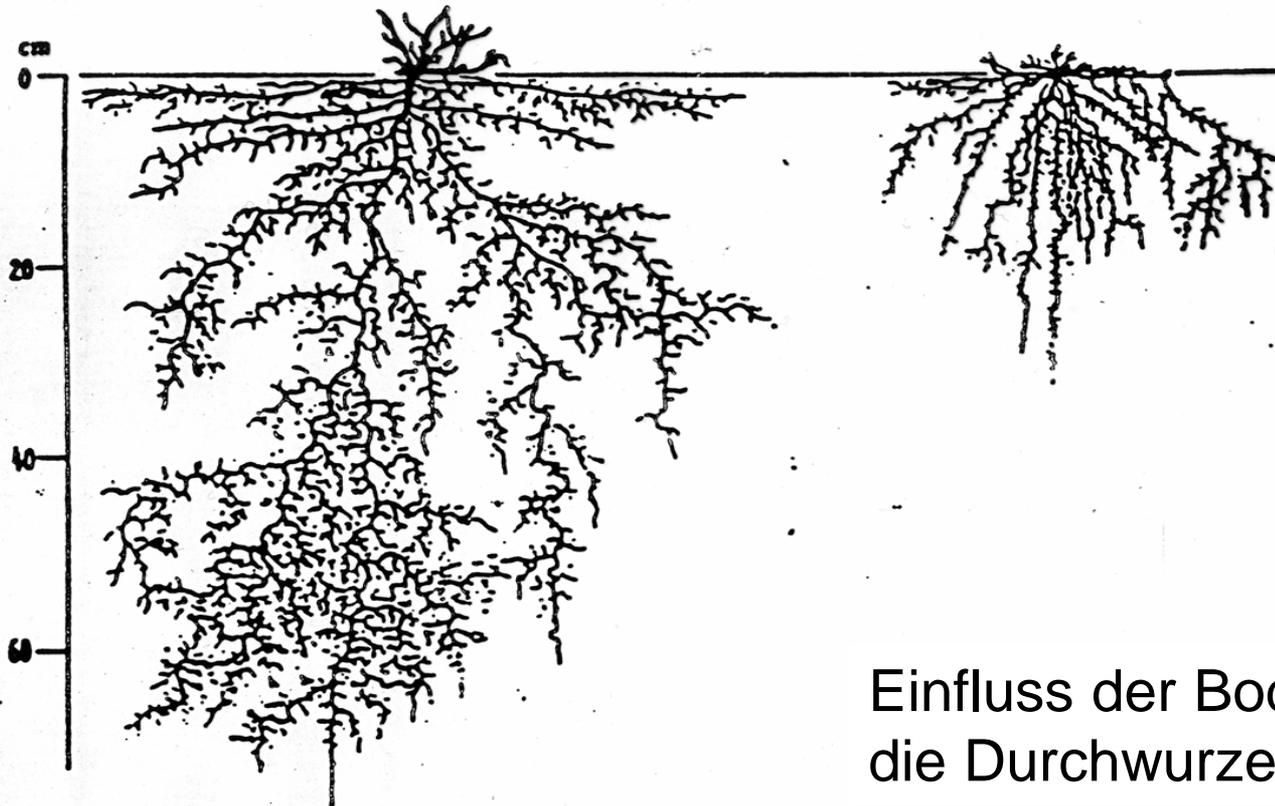
- Verdichtung

Weißklee

Boden:

locker

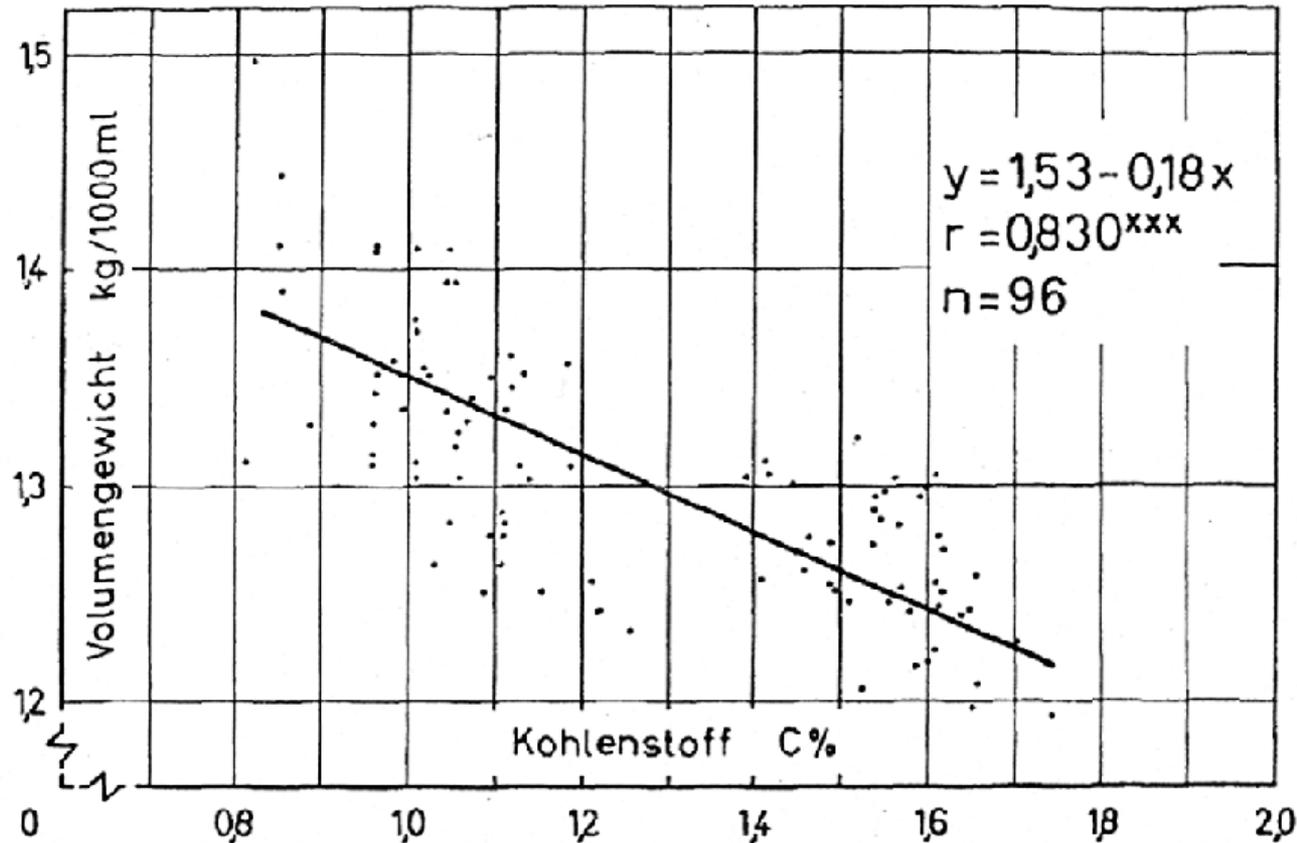
dicht



Einfluss der Bodendichte auf
die Durchwurzelung

Bodenstruktur

- Lagerungsdichte des Bodens und Humusgehalt



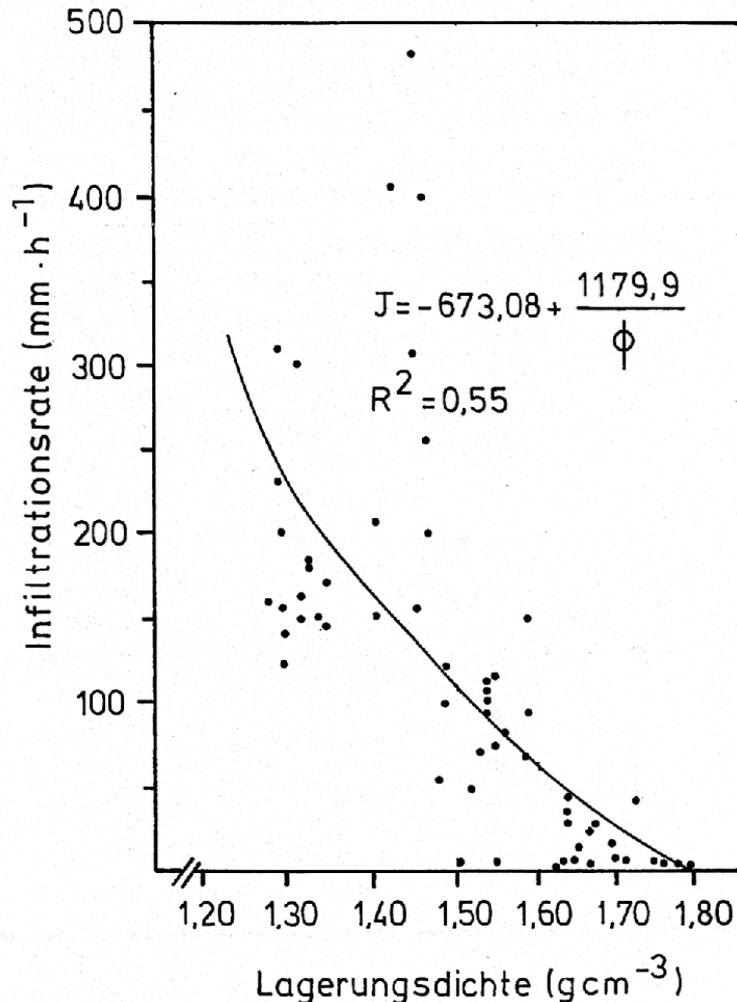
Darstellung 23: Organisch gebundener Kohlenstoff und Volumengewichte der Böden von Flächen nach Düngung mit Stalldung. (Versuchsfeld Völkenrode)

Sauerland,
Tietjen, 1969

Lagerungsdichte nimmt mit steigendem Humusgehalt ab!

Bodenstruktur

- Infiltration



Beziehung zwischen der Lagerungsdichte und der Infiltrationsrate für lehmig-sandige Standorte

Frielinghaus et al., 1992 verändert

Infiltration nimmt mit abnehmender Lagerungsdichte zu →

Mehr Wasseraufnahme, weniger Erosion bei geringerer Lagerungsdichte, d.h. bei höheren Humusgehalten

Bodenstruktur

- Verdichtung

Bodendichte ↑ , Durchwurzelung ↓ , Infiltration ↓ , Oberflächenabfluss ↑ ,
Erosion ↑ , Staunässe ↑



Schäden durch zunehmende Bodenverdichtung

Gefahren für die Umwelt



stärkerer Oberflächenabfluss bei starkem Niederschlag

nach Starkregen entsteht schneller Hochwasser in Flüssen und Seen

Erosion

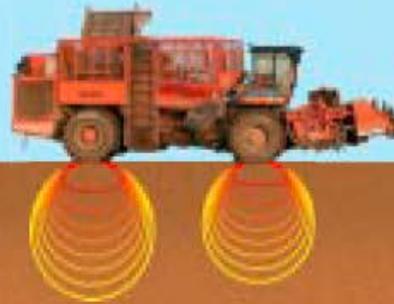
oberflächlicher Wasserabfluss wird stärker

geringere Grundwasserneubildung

Lachgas (Treibhausgas)

Stickstoffverlust infolge von Staunässe

schwere Landmaschinen verdichten den Ackerboden



Bodenqualität nimmt durch stärkere Verdichtung ab:

- ▶ Porenvolumen wird kleiner
- ▶ Boden ist schlechter durchlüftet

- ▶ Wasser versickert schwerer
- ▶ Boden bleibt lange nass (bleibt im Frühjahr lange kalt, verschlämmt)
- ▶ Boden kann weniger Wasser speichern

Erschwernisse im Pflanzenanbau



schlechteres Wachstum weniger Ertrag

mehr Pilzbefall mehr Unkraut



Bodenleben leidet



schlechtere Bodengare

weniger Wurzeln (weniger dicht und tief)

Auswirkung auf Bewirtschaftung:

- ▶ Land ist schwerer zu bearbeiten, höherer Treibstoffverbrauch
- ▶ Saison ist durch Vernässung und kühleren Boden kürzer, weniger günstige Feldarbeits-tage
- ▶ mehr Dünger ist erforderlich

van der Ploeg et al. 2006

Wasser- und Lufthaushalt

- Wirkungen von Humus

Humus und Bodentemperatur:

- Wärmeabsorption
- Struktur (Abtransport Überschusswasser im Frühjahr)

Humus und physikalische Bodeneigenschaften:

- Verringerung der Lagerungsdichte:
-0,01 g cm⁻³ je 0,1 % Corg
- Strukturverbesserung
- Lebendverbauung (indirekt)

Humus und Wasserkapazität:

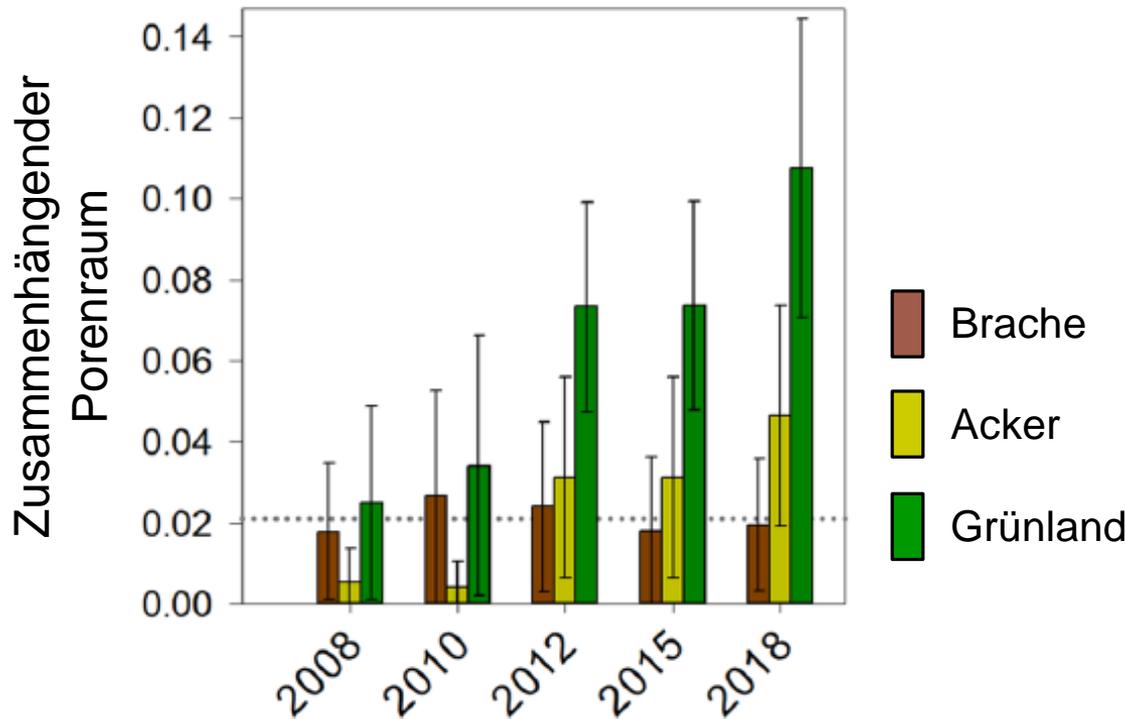
- Bindung von Wasser in Poren / an die organische Substanz:
+ 0,6 % je 0,1 % Corg

Humus und Durchlüftung:

- Sauerstoffzufuhr zu den Wurzeln
- Kohlenstofftransport aus dem Wurzelraum (Kohlendioxid)

Wasser- und Lufthaushalt

- Nutzung und Bewirtschaftung

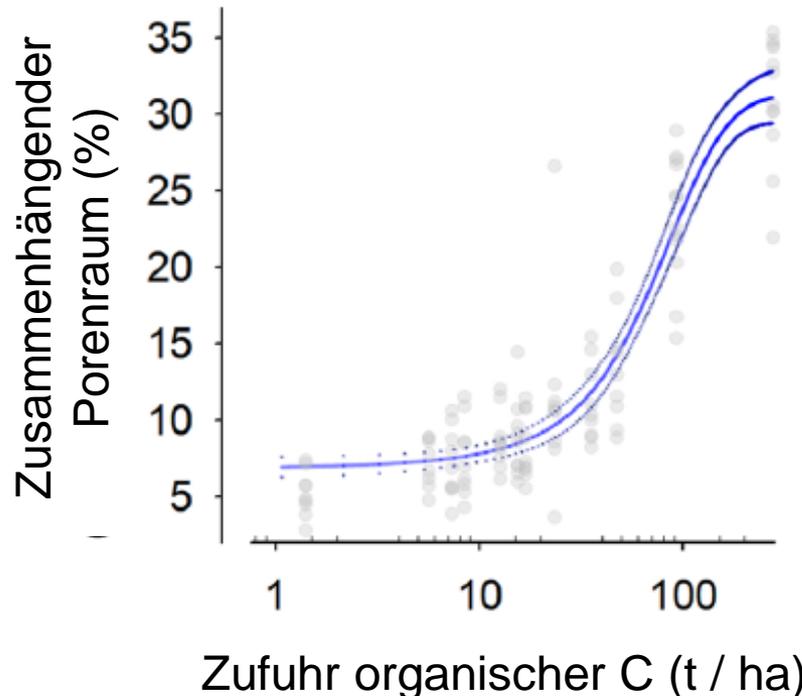


Zusammenhängender Porenraum eines Brachebodens nach Bewirtschaftungsänderung (Neal et al. 2020)

Zunahme des Zusammenhängenden Porenraums durch Acker- und Grünlandnutzung gegenüber Brache

Wasser- und Lufthaushalt

- Nutzung und Bewirtschaftung

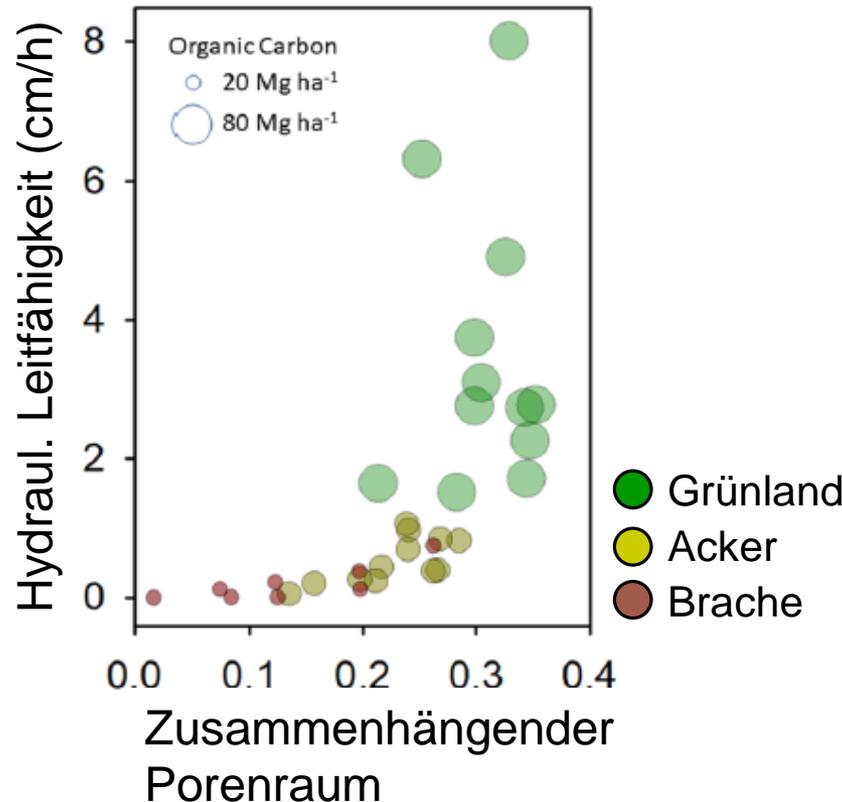


Zusammenhängender Porenraum eines Brachebodens nach Bewirtschaftungsänderung zu Acker oder Grünland, Abhängigkeit von der Zufuhr an organischem Kohlenstoff (Neal et al. 2020)

Zunahme des Zusammenhängenden Porenraums mit Zufuhr an organischem Kohlenstoff

Wasser- und Lufthaushalt

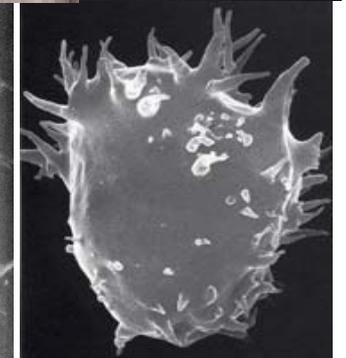
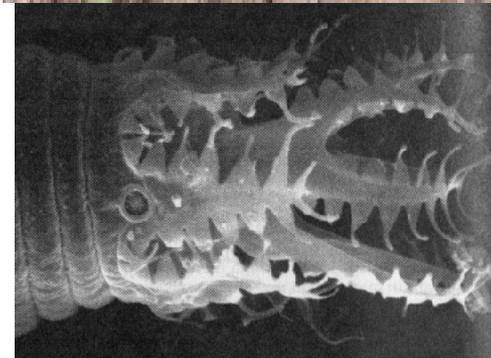
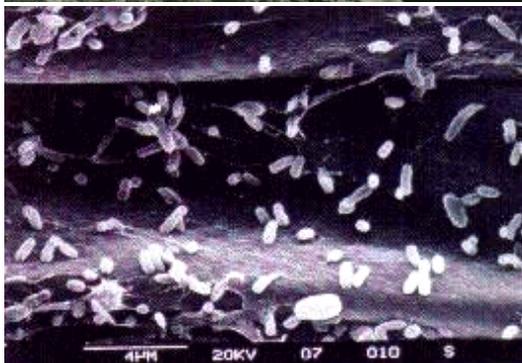
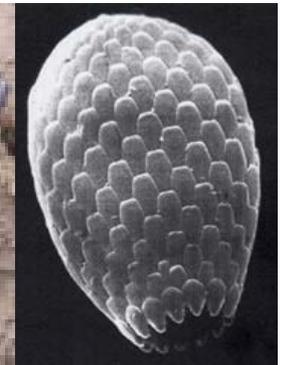
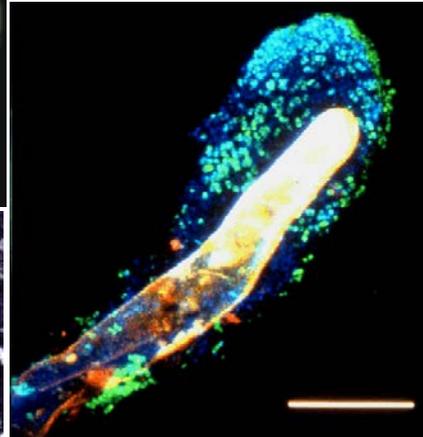
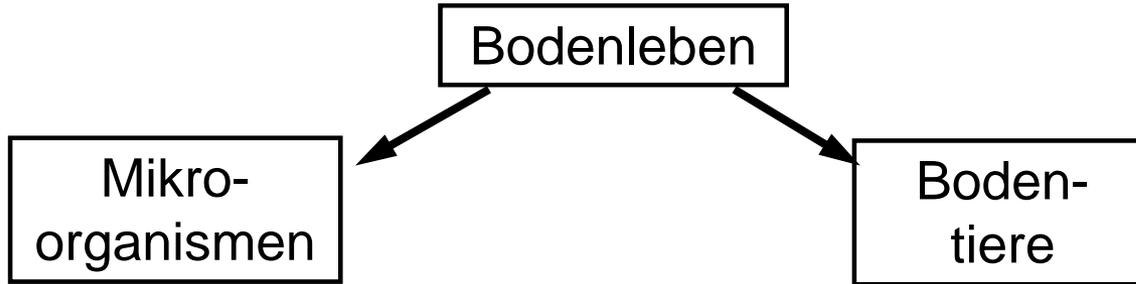
- Nutzung und Bewirtschaftung



Zunahme der hydraulischen Leitfähigkeit mit Zusammenhängenden Porenraum und Zufuhr an organischem Kohlenstoff

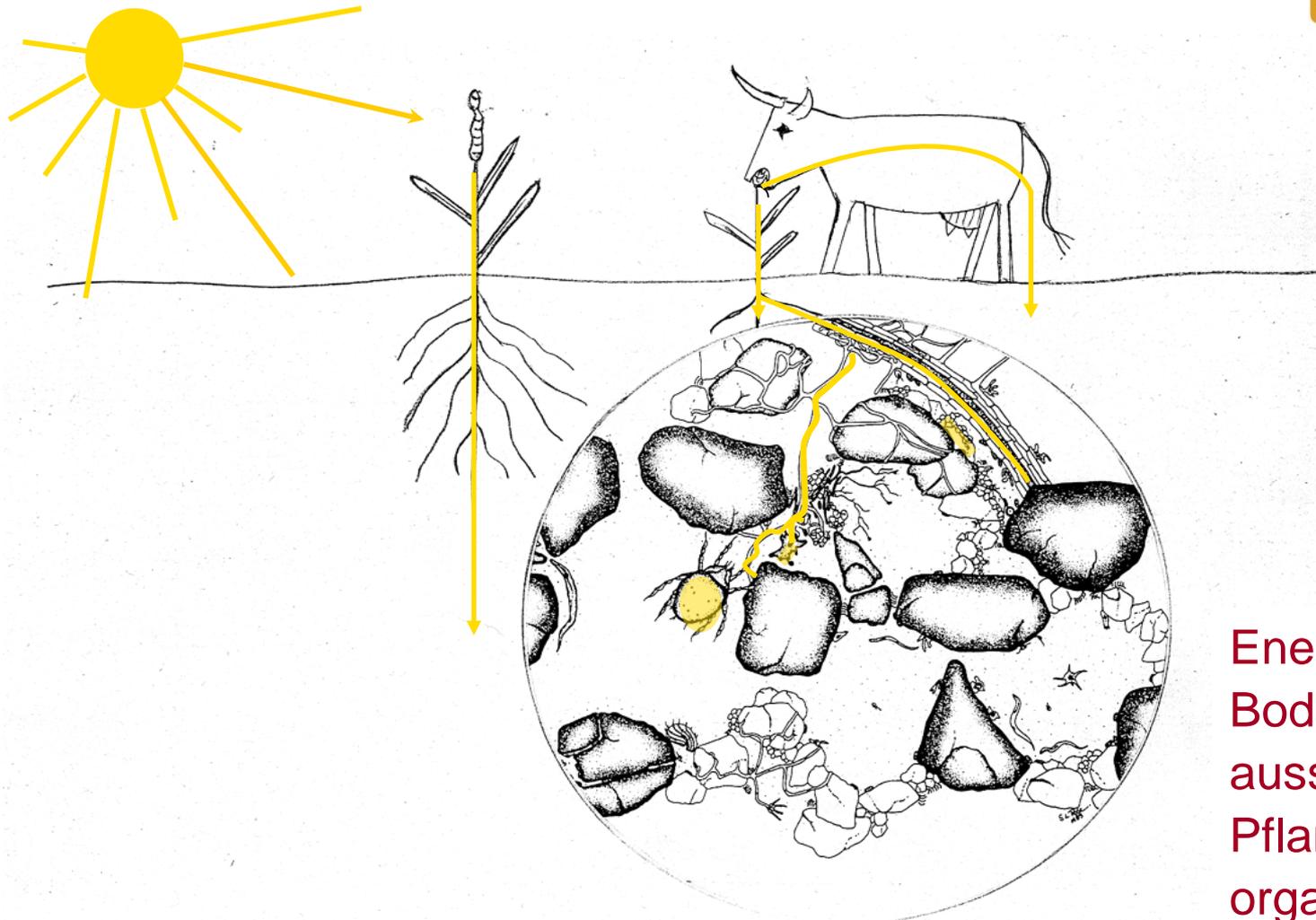
Hydraulische Leitfähigkeit eines Brachebodens nach Bewirtschaftungsänderung in Abhängigkeit vom Zusammenhängenden Porenraum und vom organischem Kohlenstoff (Neal et al. 2020)

Bodenorganismen



Bodenorganismen

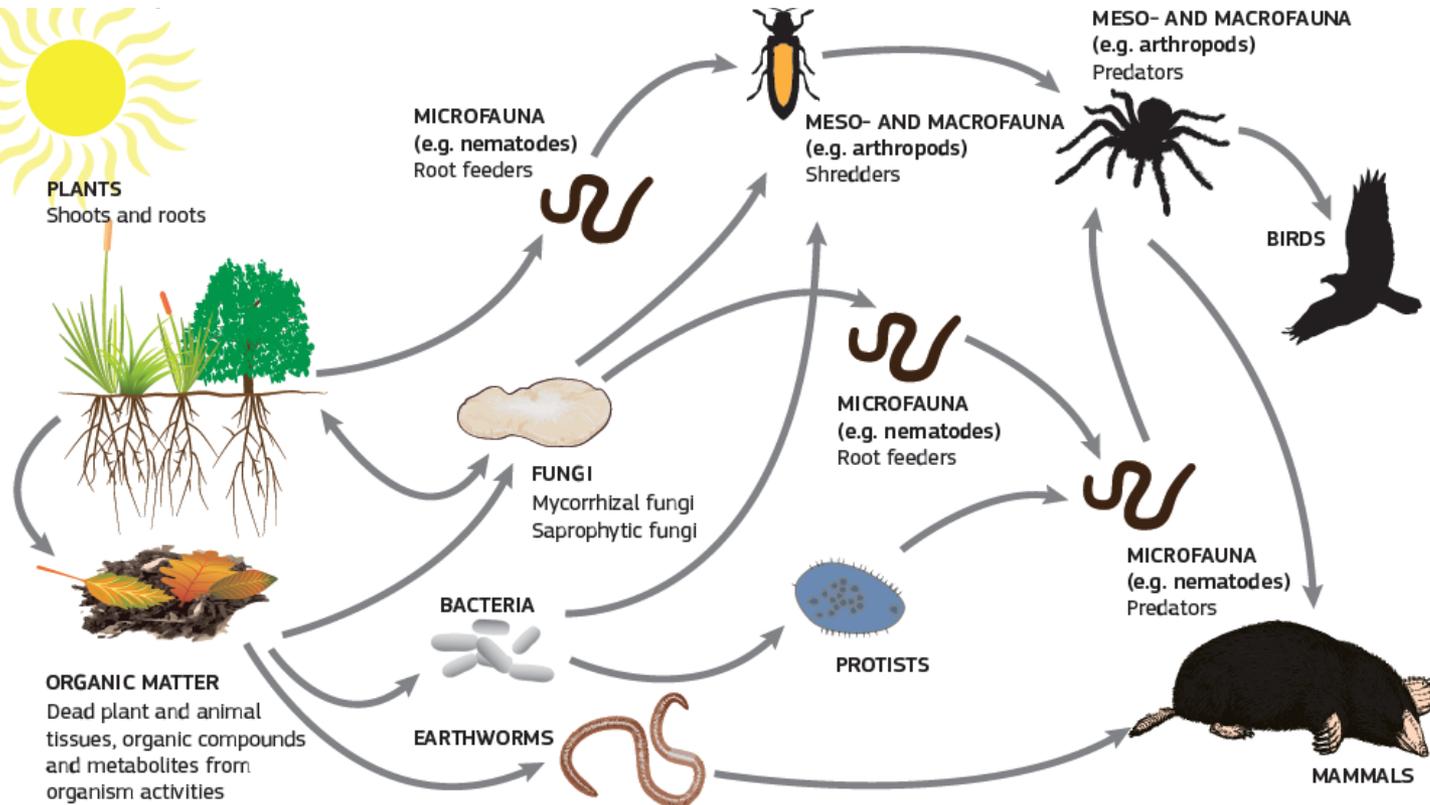
- Energiefluss in den Boden



Energiefluss in den
Boden durch Wurzel-
ausscheidungen,
Pflanzenreste und
organische Dünger

Bodenorganismen

- Nahrungsnetz



Wurzelausscheidungen und Pflanzenreste ernähren das Bodenleben

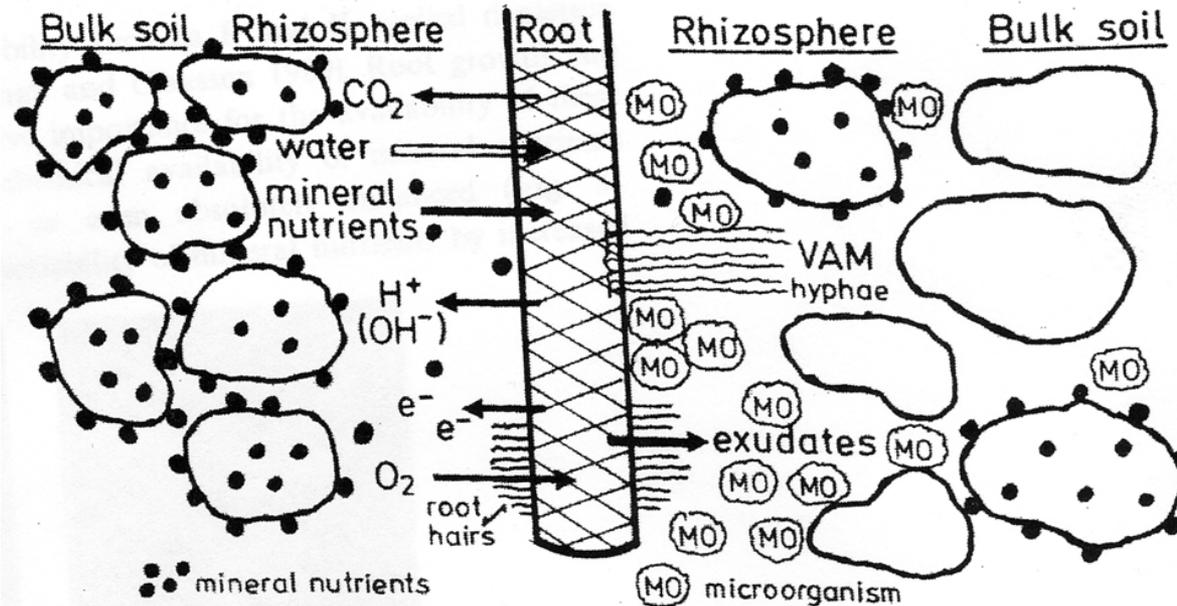
Orgiazzi, A. et al. (2016): Global Soil Biodiversity Atlas

1st TROPHIC LEVEL: Primary producers	2nd TROPHIC LEVEL: Decomposers, litter and soil organic matter feeders Mutualists Pathogens and parasites Root feeders	3rd TROPHIC LEVEL: Shredders Predators Grazers	4th TROPHIC LEVEL: Higher-level predators	5th and higher TROPHIC LEVEL: Higher-level predators
--	---	--	---	--

Protists / Protozoa: Amöben, Flagellaten, Ciliaten, Testaceen

Bodenorganismen

- Wurzelraumeffekte



⊕ Changes in the rhizosphere:

- | | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Respiration (CO_2) ■ Water/nutrient uptake ■ H^+, OH^- release ■ enhanced reduction (e^-) ■ Exudation (e.g. sugars, organic acids, amino acids, phenolics) ■ Mobilization/immobilization of mineral nutrients |  | <ul style="list-style-type: none"> ■ enhanced microbial activity ■ Microbial respiration ■ O_2 consumption ■ Release of H^+, organic acids ■ Release of toxins, siderophores ■ Release of growth regulators (hormones) |
|--|--|--|

Wurzelausscheidungen fördern mikrobielle Aktivität und Nährstoffmobilisierung

Römheld 1990

Von Pflanzen ausgelöste Prozesse und Veränderungen in der Rhizosphäre

Bodenorganismen

- Nährstoffspeicherung

Mikroorganismen speichern Nährstoffe und können diese über Abbauprozesse im Jahreslauf den Pflanzen zur Verfügung stellen

Orientierungswerte:

- Stickstoff: 25 ... 400 kg/ha
- Kalium: 5 ... 80 kg/ha
- Phosphor: 3 ... 50 kg/ha

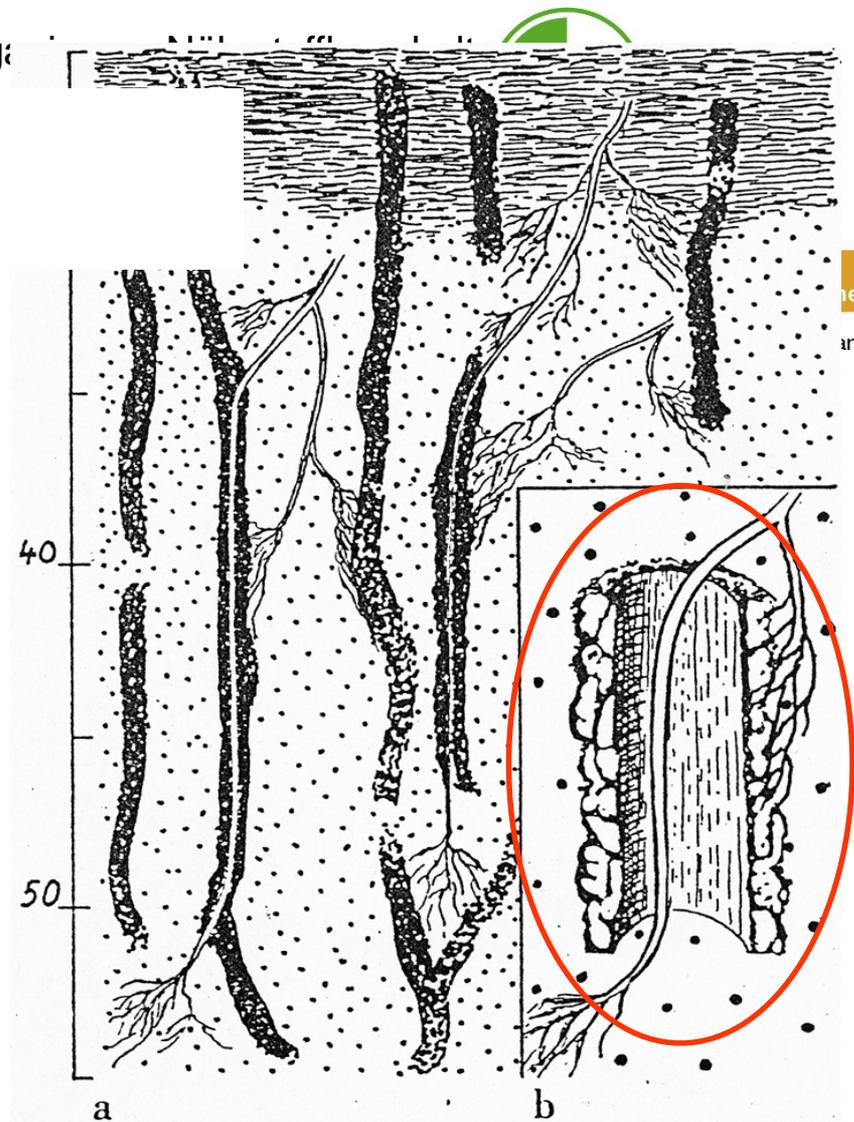
Quelle: in RSU 1985: 185

In Mikroorganismen gespeicherte Nährstoffmenge ist in der gleichen Größenordnung wie der Pflanzenbedarf einer Ernte

Bodenorganismen

- Regenwürmer

- Umsatz: **Einarbeiten** von organischer Substanz durch Graben
- Röhren: verbessern **Wasserinfiltration**, **Durchlüftung** und **Durchwurzelung**
- Hohe **Enzymaktivität** im Darm
- Bildung von **Ton-Humus-Komplexen** im Darm
- Bildung von **stabilen Krümeln**:
5 .. 50 t / ha / a
- Hohe **Wasserhaltefähigkeit** der Krümel
- Krümel und Humustapeten der Röhren erhöhen **Kationenaustauschkapazität**
- Hohe Bedeutung für **Bodenstruktur und -fruchtbarkeit**



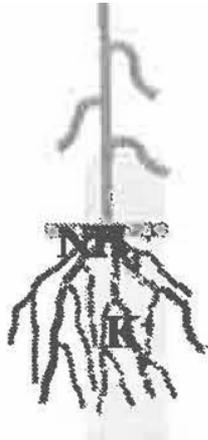
a. Roots growing in left earthworm burrows

b. Root felt in a burrow of an earthworm covered with castings

Edwards (1996) modified

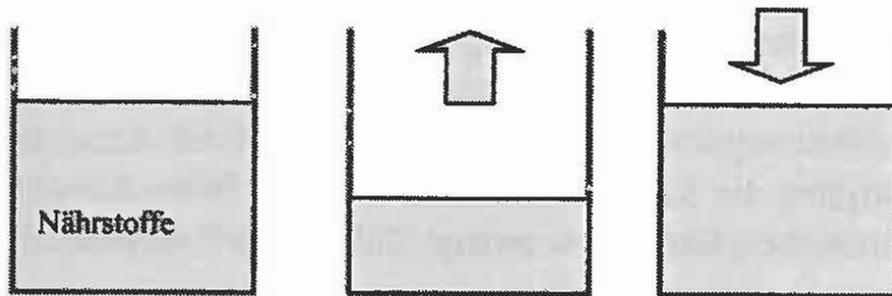
Nährstoffhaushalt

- konventionelle Düngungstheorie



<https://de.wikipedia.org/wiki/Düngerstreuer>

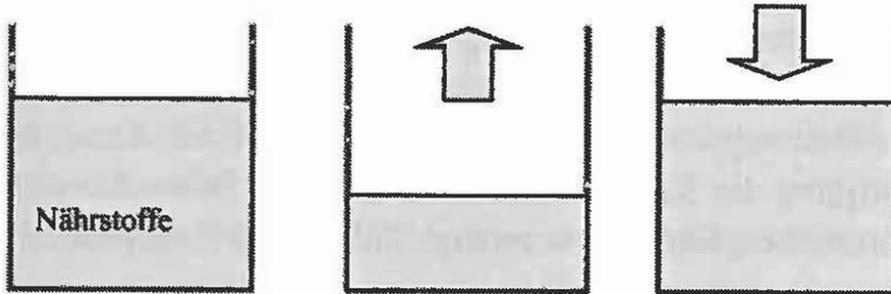
Pflanzenentzug entleert
den Nährstoffvorrat,
Düngung füllt ihn wieder
auf



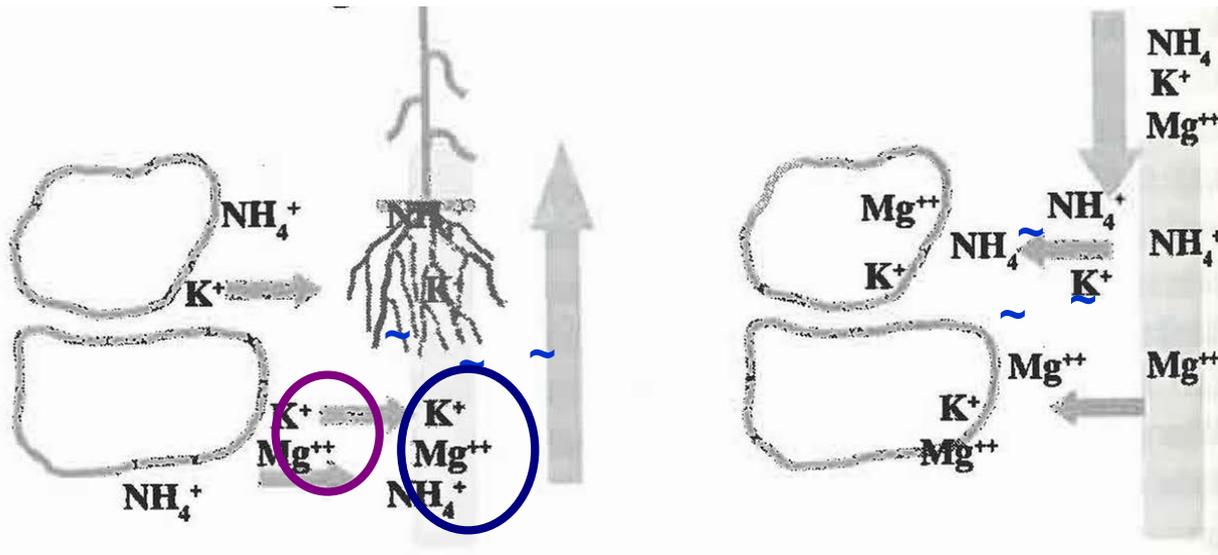
Scheller 2013

Nährstoffhaushalt

- Erweiterung der konventionellen Düngungstheorie



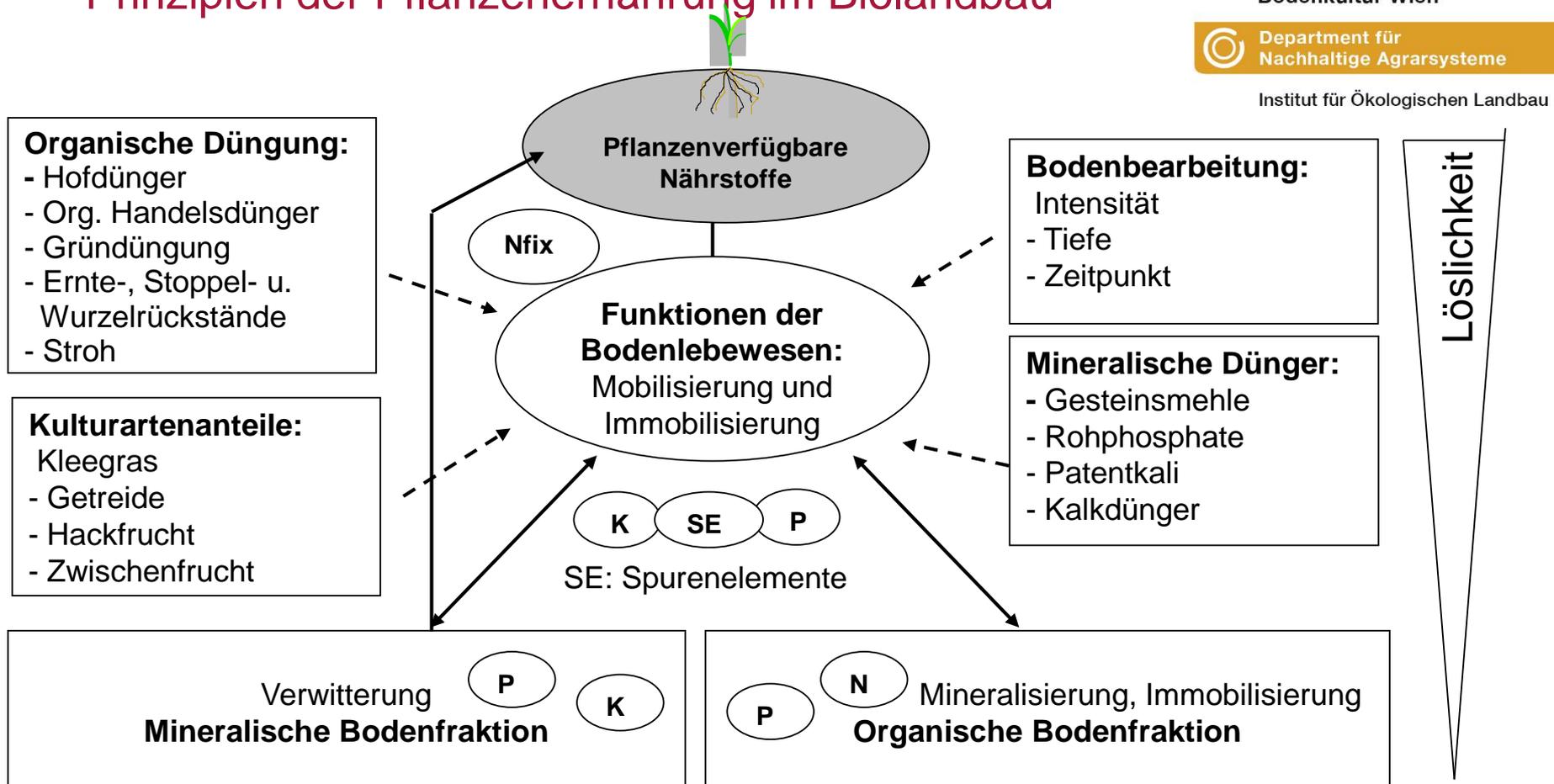
Nährstoffe werden im Boden gepuffert, Pflanzen können den Puffer nutzen (Girokonto-Funktion)



Scheller 2013

Nährstoffhaushalt

- Prinzipien der Pflanzenernährung im Biolandbau



Alföldi 1997, verändert und erweitert

Nährstoffnachlieferung aus Bodenvorräten Bodenlebewesen als Vermittler

Nährstoffhaushalt

- Prinzipien der Pflanzenernährung im Biolandbau

- Ernährung der Pflanzen durch das Boden-Pflanzen-System durch **die Aktivität der Wurzeln und Bodenorganismen**, durch **Nährstoffmobilisierung** aus Humus und Mineralen
- Düngung nicht als Nährstoffersatz, sondern als **Nährstoffergänzung für Verluste** durch Export und Auswaschung
- **Steigerung des Umsatzes im Boden** durch Erhöhung der bodenbiologischen Aktivität und Optimierung der Nährstoffmobilisierung
- **Optimierung der Bedingungen der Nährstoffmobilisierung!**
- Nachhaltige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch **Schonung nicht-erneuerbarer Ressourcen**

Nährstoffhaushalt

- Stickstoffkreislauf und Fruchtfolge



Leguminosen binden Luftstickstoff und sind die
hauptsächliche Quelle von Stickstoff in der Fruchtfolge

Nährstoffhaushalt

- Stickstoffkreislauf und Fruchtfolge

N_2 -Bindungsvermögen unterschiedlicher Leguminosenarten [kg/ha/a]

Pflanzenart	Bereich	Durchschnitt
Luzerne	90 - 340	250
Klee	45 - 270	250
Ackerbohne	100 - 300	200
Erbsen	50 - 500	150
Lupine	140 - 200	150
Sojabohne	60 - 300	100
Erdnüsse	50 - 150	100
Linsen	50 - 150	80



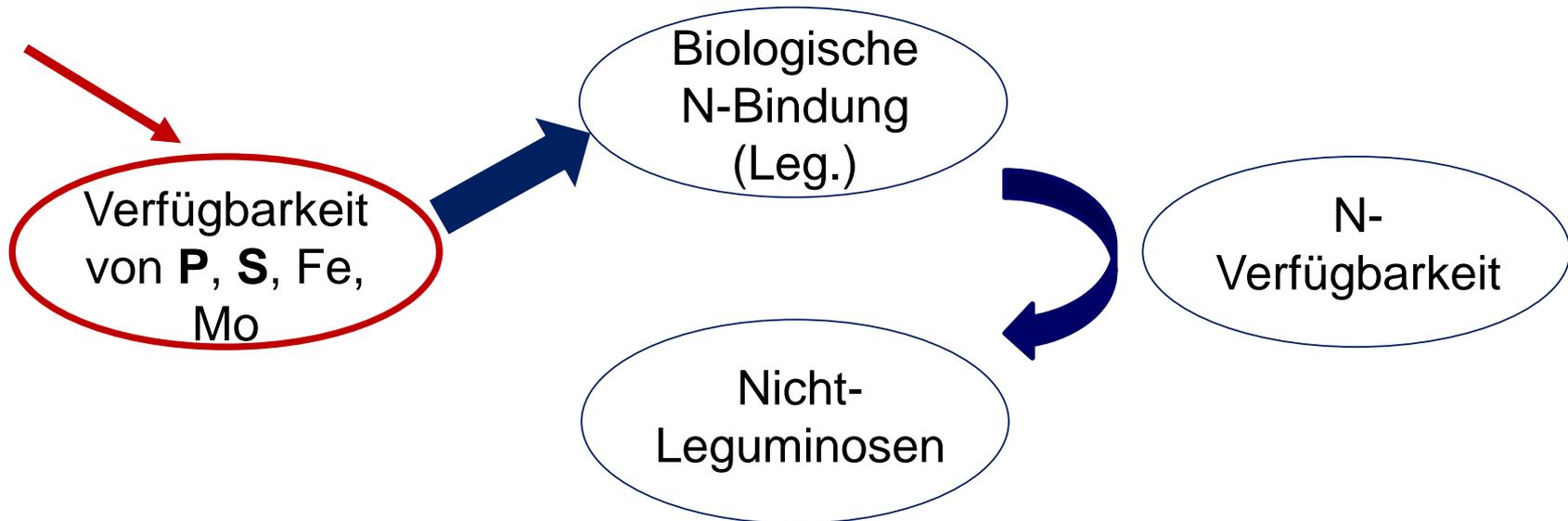
QUISPEL, 1982 (verändert)

Futterleguminosen haben ein höheres N-Bindungsvermögen als Körnerleguminosen!

Nährstoffhaushalt

- Phosphor, Schwefel und Stickstoffkreislauf

Stickstoffbindung abhängig von **Nährstoffverfügbarkeit!**



Eine gute Verfügbarkeit von Phosphor, Schwefel, Eisen, Molybden fördert die biologische N-Bindung und N-Verfügbarkeit!



Nährstoffhaushalt

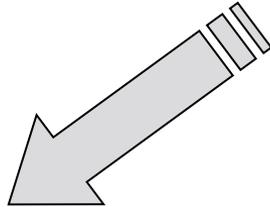
- Phosphor, Schwefel und Stickstoffkreislauf

Ein **P- oder S-Mangel** kann die **Luftstickstoff-Bindung** und den **Vorfruchtwert von Leguminosen** (Klee gras, Luzerne, Erbsen, Soja, Ackerbohnen) sowie die **Proteinversorgung von nachfolgendem Getreide** beeinträchtigen!

Nährstoffhaushalt

- Phosphor

Biodünger



P-Dünger

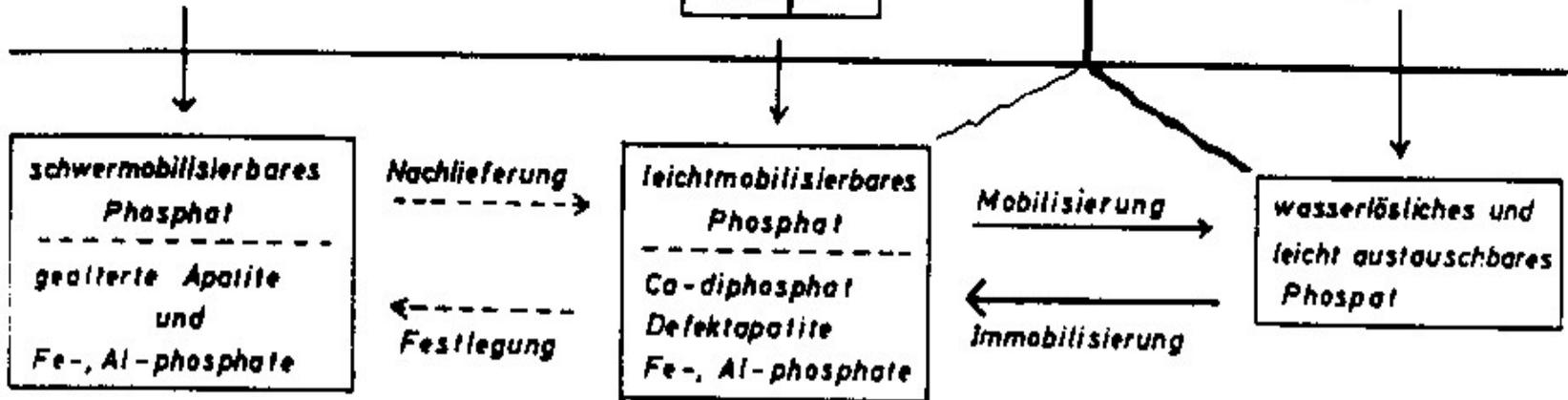
Mineralsäure-
lösliche
Anteile

P-Dünger

Citrat-,
Citronensäure-,
Ameisensäure-
löslich

P-Dünger

wasserlöslich



Quelle: Finck 1979

Mehrere Boden-P-Pools im Gleichgewicht zueinander



Nährstoffhaushalt

- Phosphor

Abstufung von Nutzpflanzen nach ihren
Aufschließungsvermögen für schwerlösliche Phosphate

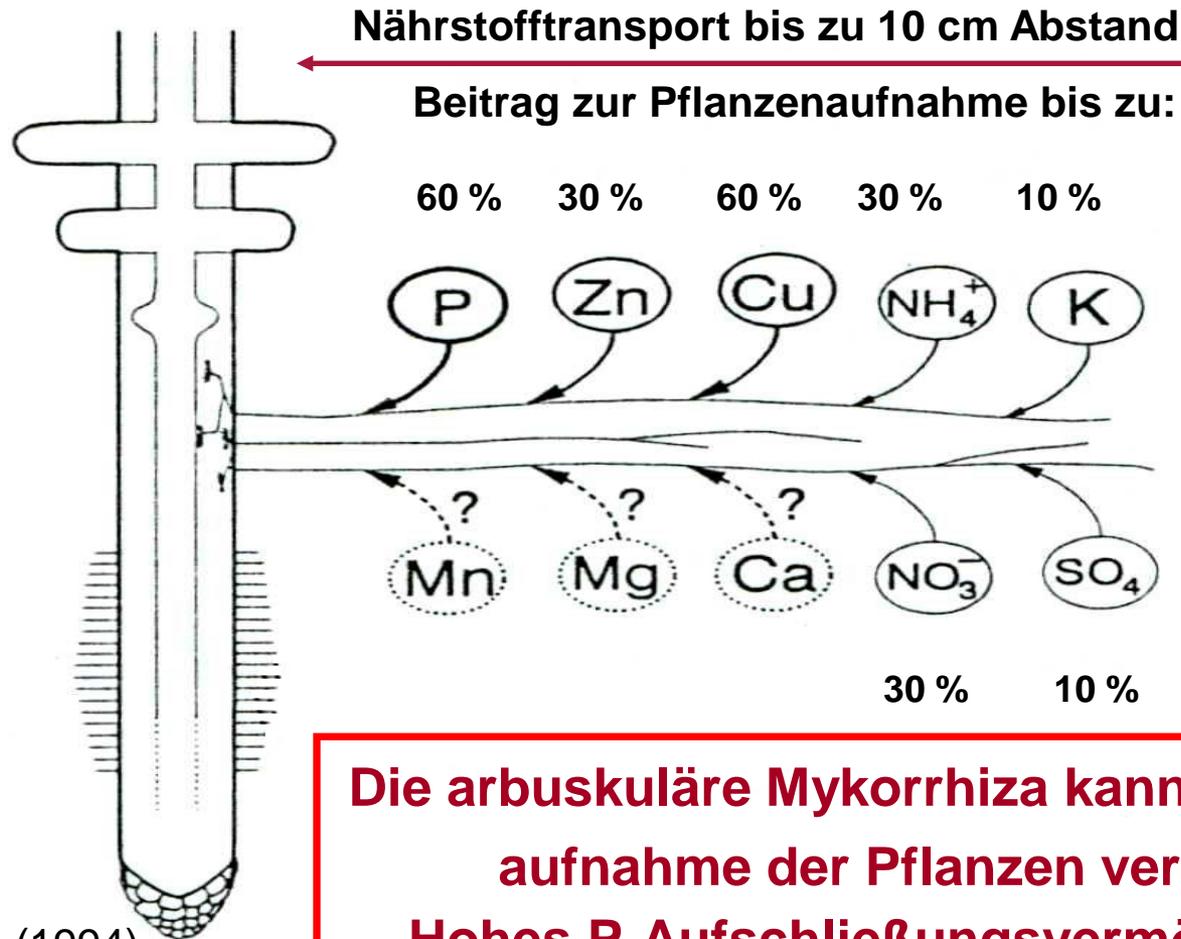
Pflanzenart	P-Aufschließungs- vermögen
Luzerne, Erbsen, Lupinen, Buchweizen	sehr hoch
Kartoffel, Zuckerrübe, Rotklee, Senf	hoch
Roggen, Mais	realitiv hoch
Weizen, Hafer	niedrig
Gerste	sehr niedrig

(Rübensam u. Rauhe, 1969; zit. in Lindenthal, 2000)

**Hohes Aufschließungsvermögen v.a. bei Leguminosen und
bei Fruchtarten mit vermehrter Mykorrhizierung!**

Nährstoffhaushalt

- Phosphor, Mykorrhiza

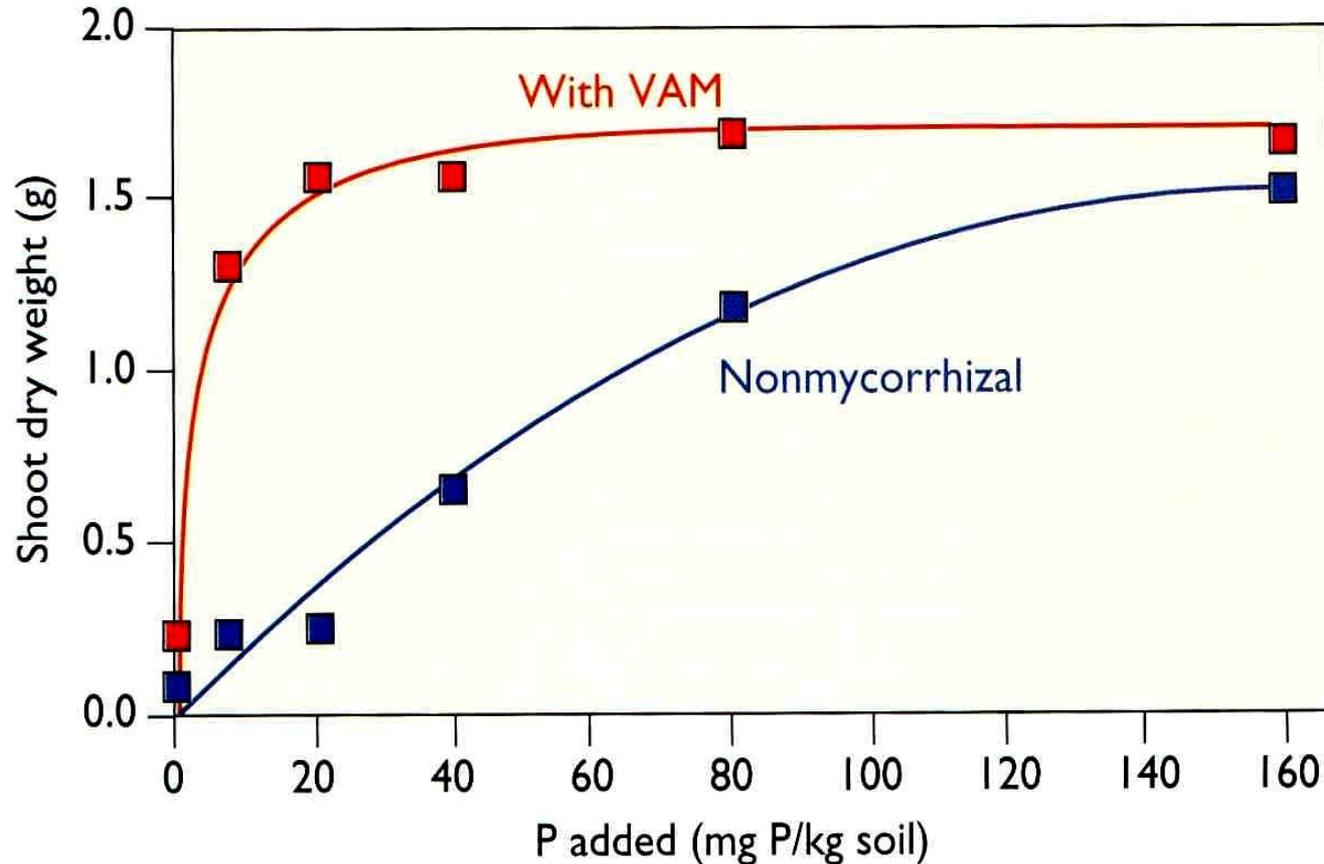


George et al. (1994),
Li et al. (1991),
Marschner & Dell (1994)

**Die arbuskuläre Mykorrhiza kann die Nährstoffaufnahme der Pflanzen verbessern.
Hohes P-Aufschließungsvermögen v.a. bei Fruchtarten mit vermehrter Mykorrhizierung!**

Nährstoffhaushalt

- Phosphor, Mykorrhiza



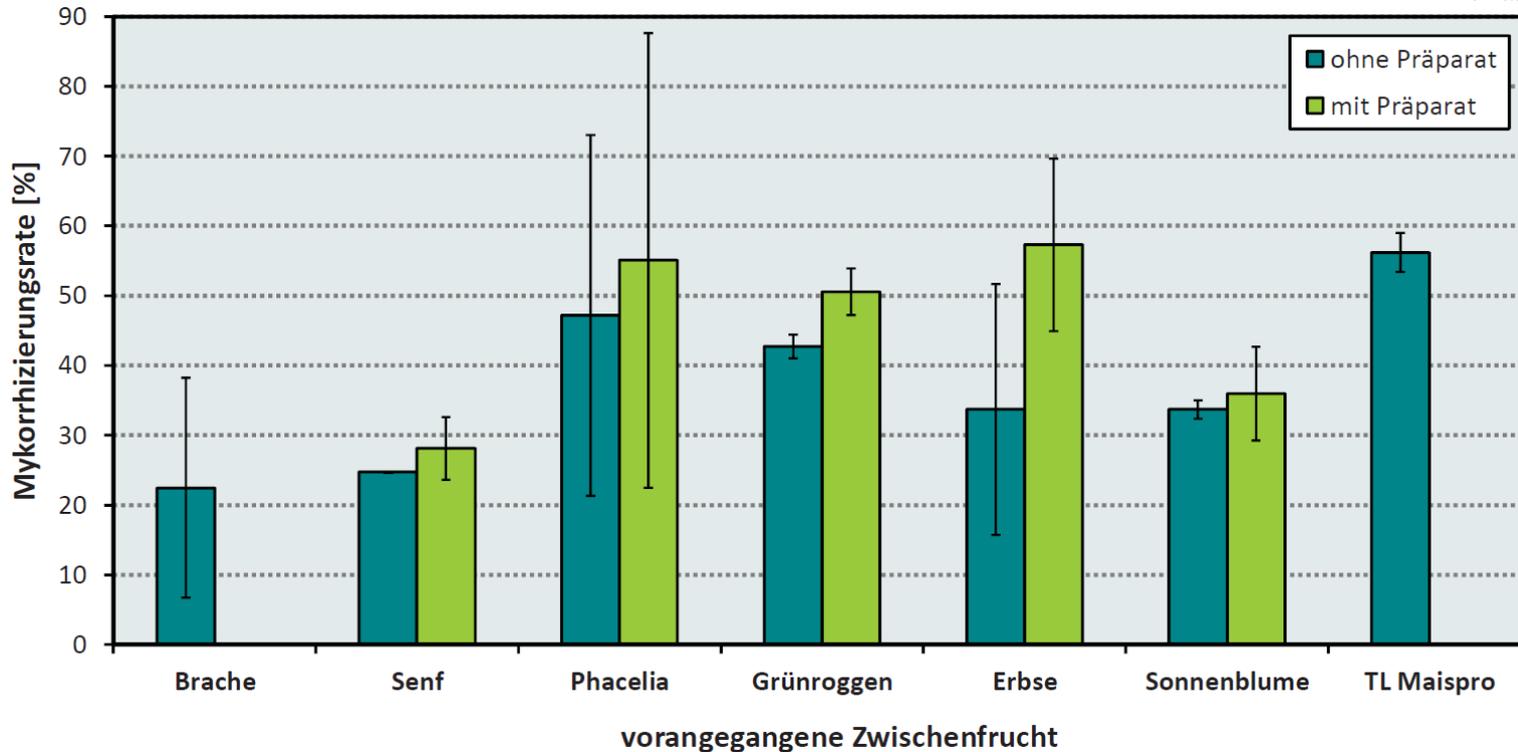
Brundrett et al. (1996)

Mykorrhizierte Pflanzen sind effizienter in der Phosphoraufnahme und -nutzung, vor allem bei geringen P-Konzentrationen

Nährstoffhaushalt: - Mykorrhiza

Mykorrhizierungsrate von Silomais bei unterschiedlichen Zwischenfrüchten, ohne / mit Beimpfung (Trossin 2012)

... für Ökologischen Landbau



Mykorrhizierte Zwischenfrüchte erhöhen die Mykorrhizabesiedelung.
Besonders günstig: Gemenge mit vielen mycotrophen Pflanzen, z.B. TL Maispro

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffverfügbarkeit, Unterboden



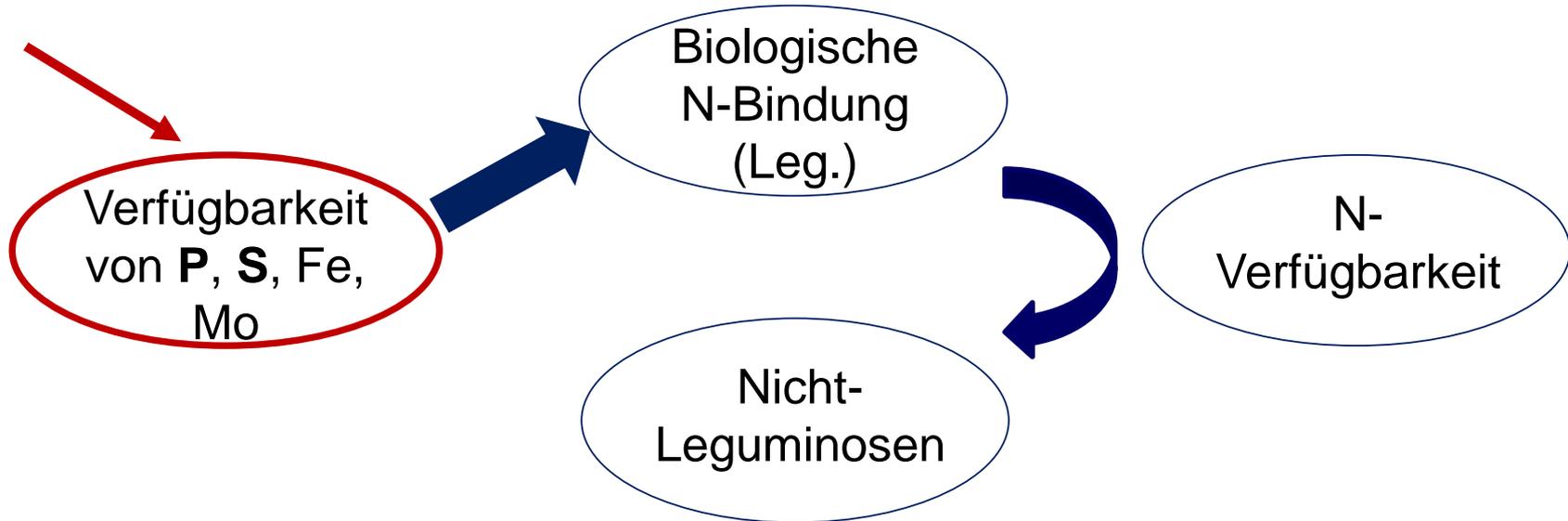
Bioporen verbessern die
Nährstoffverfügbarkeit im
Unterboden,
z.B. Phosphor, Kalium

Längsschnitt durch eine Biopore,
Bodentiefe 50 – 80 cm. Kautz 2015

Nährstoffhaushalt

- Phosphor, Schwefel und Stickstoffkreislauf

Stickstoffbindung abhängig von **Nährstoffverfügbarkeit!**



Eine gute Verfügbarkeit von Phosphor, Schwefel, Eisen, Molybden fördert die biologische N-Bindung und N-Verfügbarkeit!



Nährstoffhaushalt

- Schwefel und Stickstoffkreislauf

- **Schwefeldioxid**-Emissionsreduktion um 80 % seit 1990 in Österreich durch schwefelarme Treibstoffe und Rauchgasentschwefelung der Industrie
- **Schwefel** für Leguminosen essentiell für **Eiweißaufbau**:
1 kg zu wenig Schwefel bedeutet 10 kg weniger Stickstoff!



Nährstoffhaushalt

- Schwefel und Stickstoffkreislauf

Trockenmasseertrag und N-Ertrag eines Luzerne-Klee gras-Gemenges bei unterschiedlicher S-Düngung

	S 0	40 kg ha ⁻¹ MgSO ₄	70 kg ha ⁻¹ MgSO ₄	70 kg ha ⁻¹ CaSO ₄
TM-Ertrag (t ha ⁻¹)	3.07 a	4.57 b	4.79 b	4.56 b
N-Ertrag (kg N ha ⁻¹)	127 a (100)	209 b (165)	217 b (170)	213 b (168)

Fischinger et al. (2011)

TM-Ertrag (+ 50 %) und N-Ertrag (+ 70 %) erhöht bei S-Düngung
→ Test auf S-Mangel (Düngefenster!), düngen wenn nötig!

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Stickstoff

Quelle	Ausmaß [kg N ha ⁻¹]
• <i>N aus dem Unterboden > 90 cm</i>	wenige
• <u><i>In Tonmineralen fixiertes Ammonium</i></u> Freisetzung von NH ₄ ⁺ aus den Zwischenschichten von Tonmineralen	20 - 300
• <i>Organische Substanz</i> erhöhte N-Mineralisierung durch erhöhte mikrobielle Aktivität	ca. 20 ?
• <i>Mikrobieller N</i>	nur im Grünland (?)

Freisetzung von Ammonium aus Tonmineralen kann unter günstigen Bedingungen den Pflanzenbedarf decken

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Kalium

Kalium

- **K-Mobilisierung im Langzeitversuch in Geldersheim / By. in 27 Jahren auf Löß-Parabraunerde:**

4000 kg K ha⁻¹

Dabei keine Ertragsunterschiede zu K-gedüngten Parzellen (Scheffer / Schachtschabel)

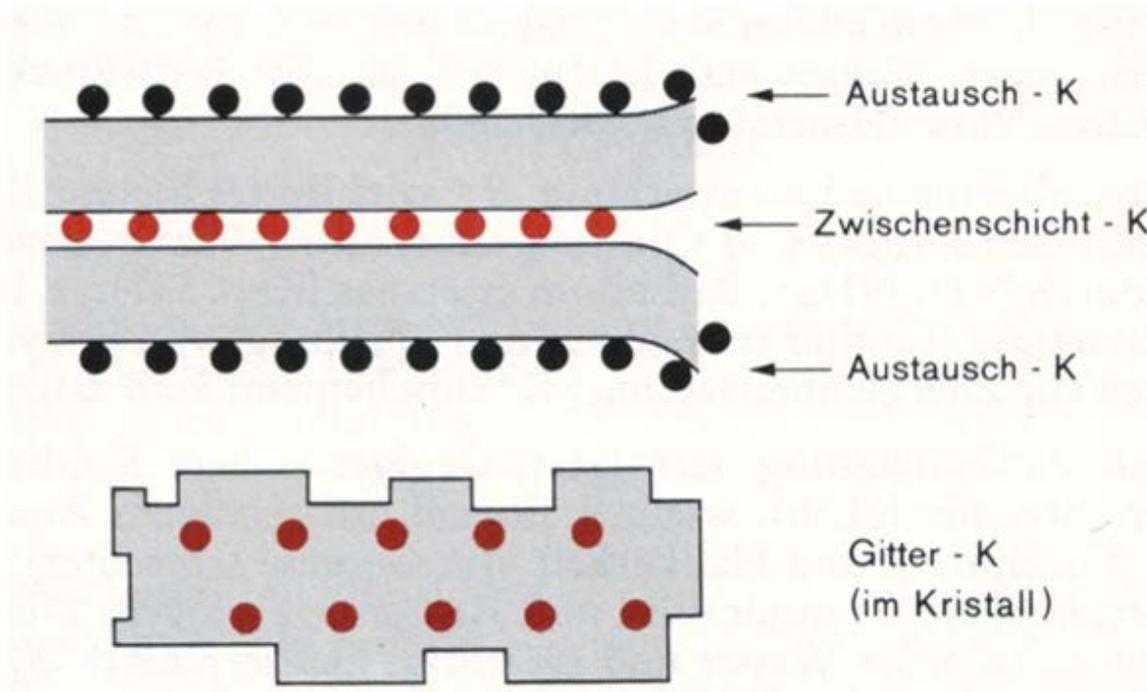
Jährliche K-Freisetzungsraten im Mittel: 170 kg K ha⁻¹ (Scheller 1993, 1997)

Freisetzung von Kalium aus Tonmineralen kann unter günstigen Bedingungen den Pflanzenbedarf decken

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Kalium

Bindung von Kalium an Tonminerale I



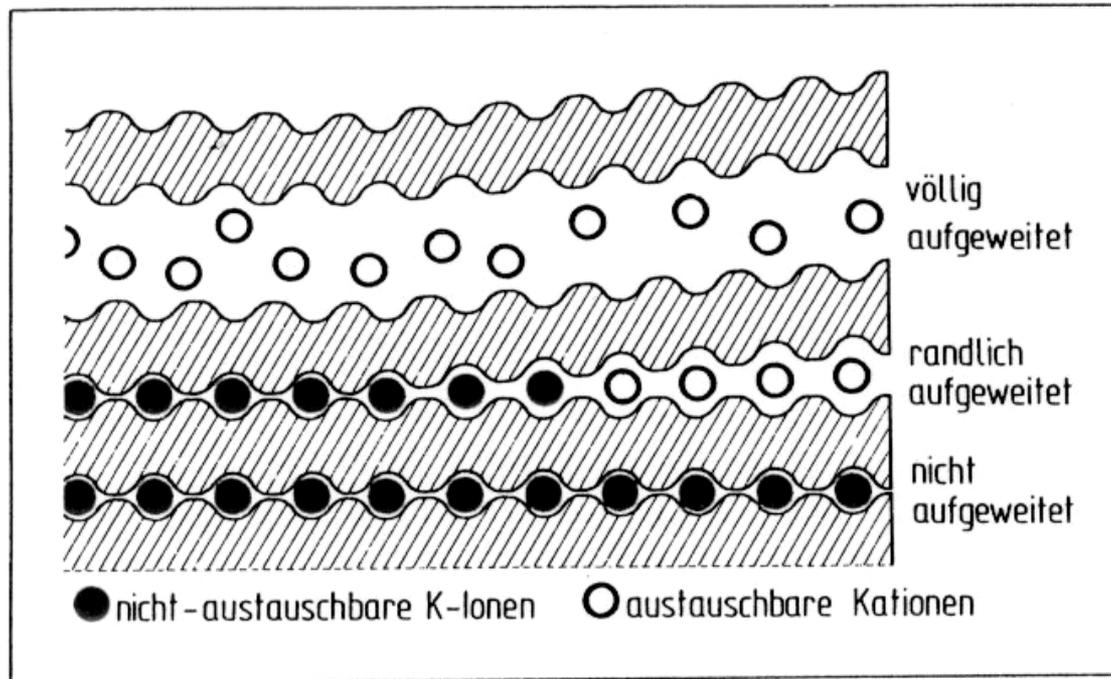
Nicht
austauschbares,
fixiertes K in
Zwischenschichten
von Tonmineralen

Ist mobilisierbar!

(Fink, 1991)

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Kalium

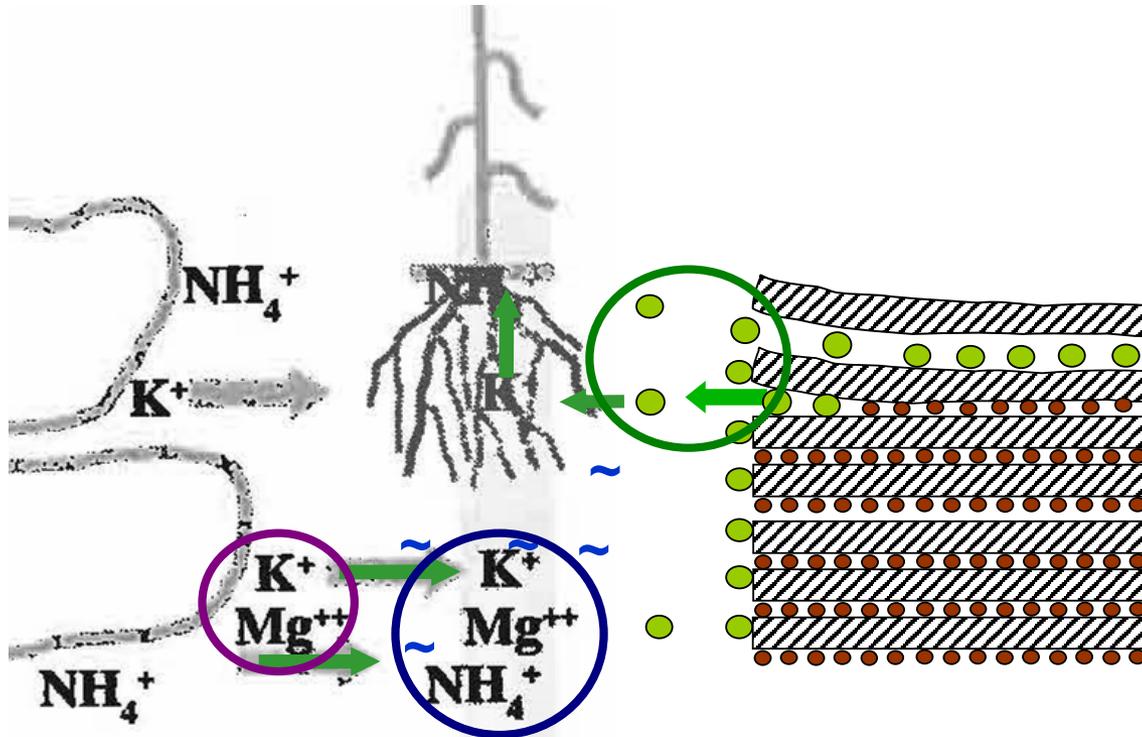


Nicht
austauschbares,
fixiertes K in
Zwischenschichten
von Tonmineralen
Ist mobilisierbar!

Freisetzung von Ammonium / Kalium aus Zwischenschichten von Tonmineralen (Illit oder Vermikulit) (Scheffer / Schachtschabel 1982, S. 29)

Nährstoffhaushalt

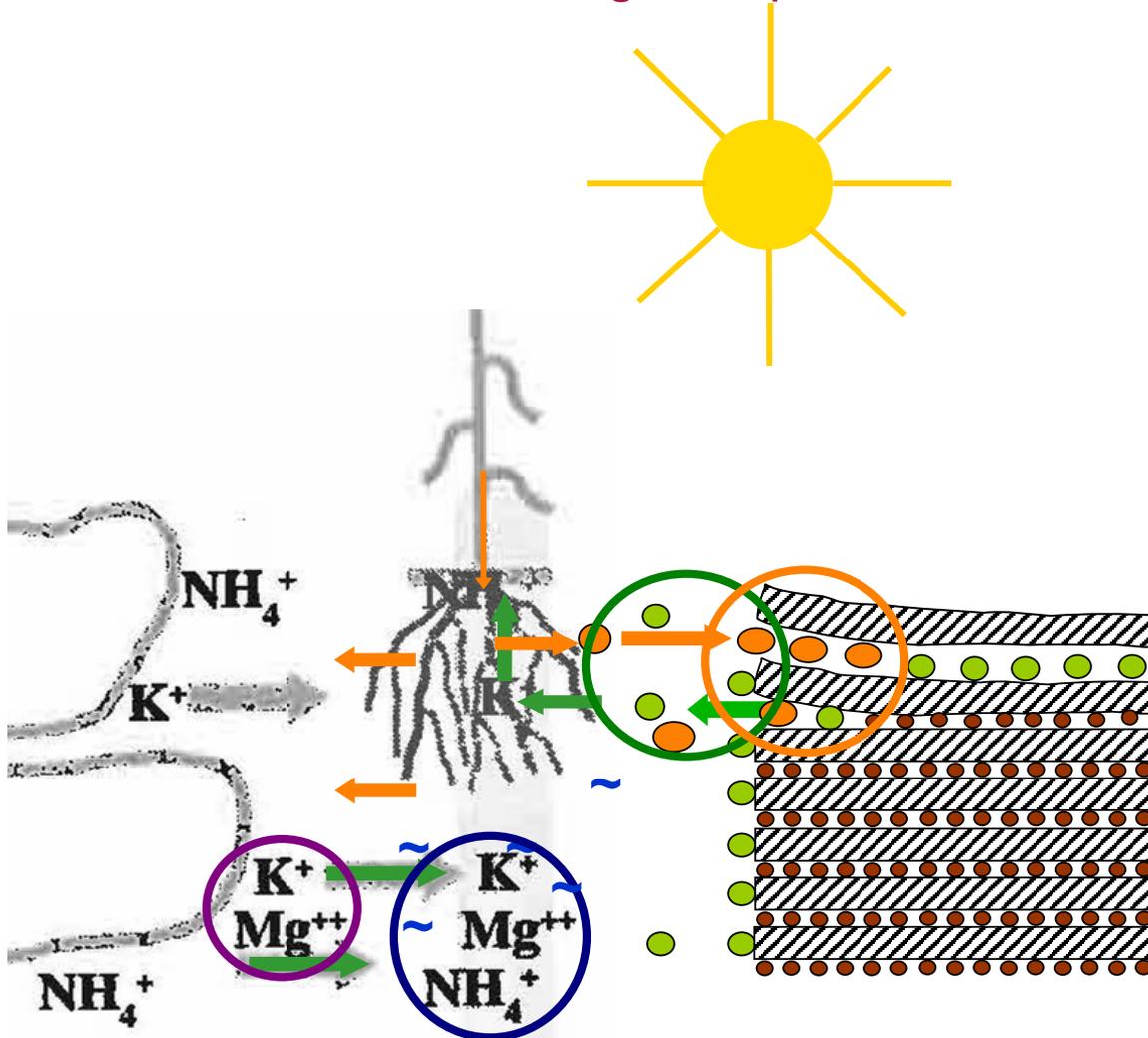
- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Kalium



Aktivität der Wurzel
(Aufnahme von
Kalium aus der
Bodenlösung) löst
Kaliummobilisierung
aus

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Kalium



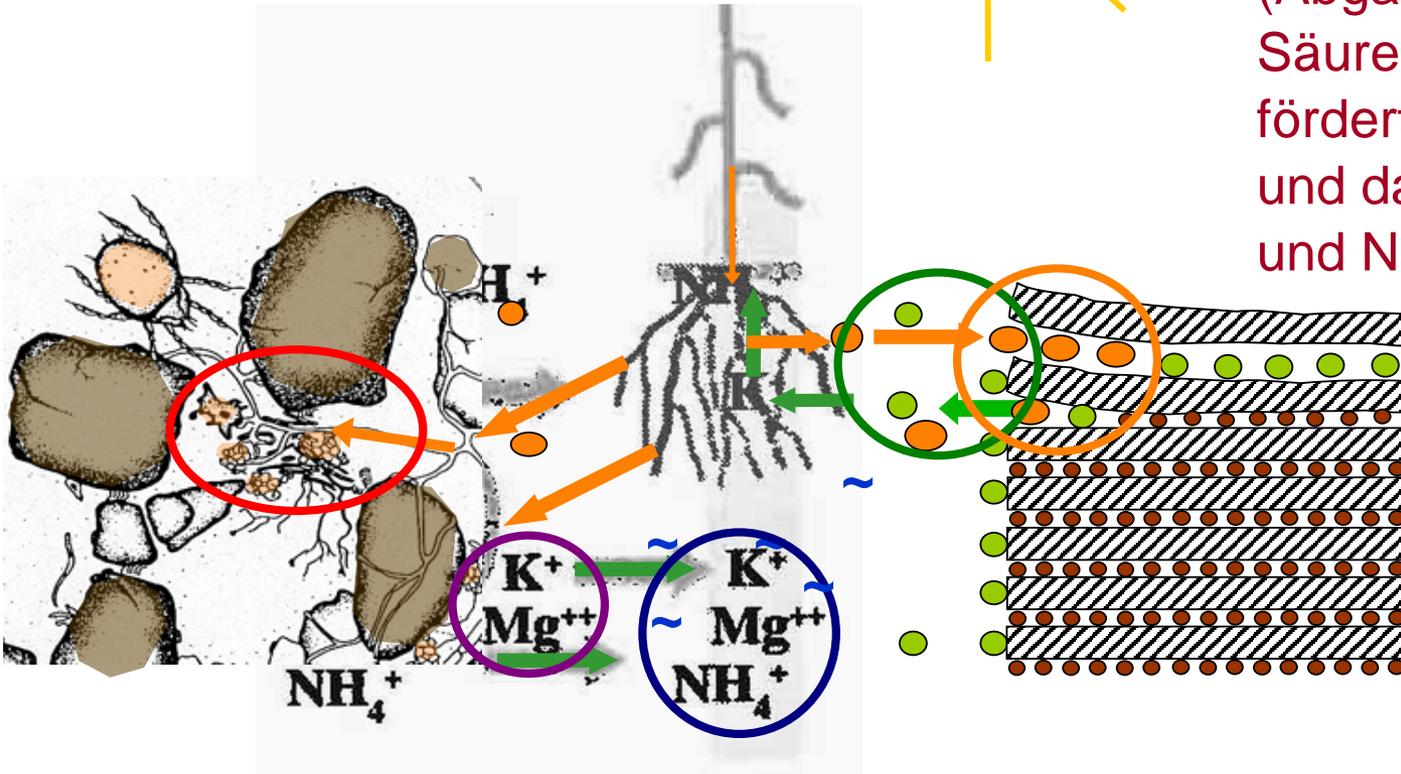
Aktivität der Wurzel
(Abgabe von
organischen Säuren und
Aminosäuren) fördert
Kaliummobilisierung

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Kalium

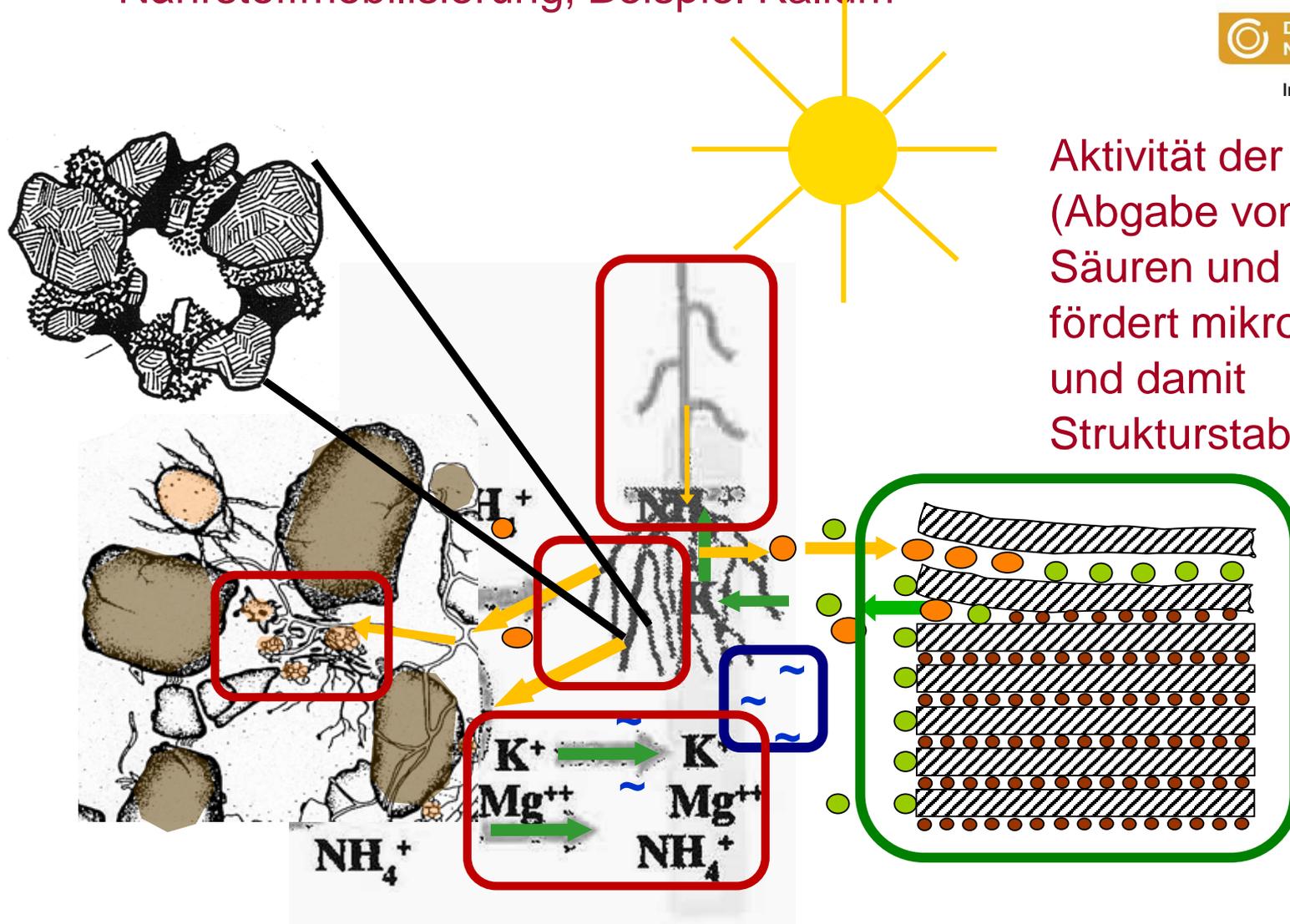


Aktivität der Wurzel
(Abgabe von organischen
Säuren und Aminosäuren)
fördert mikrobielle Aktivität
und damit Verwitterung
und Nährstofffreisetzung



Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Beispiel Kalium



Aktivität der Wurzel
(Abgabe von organischen
Säuren und Aminosäuren)
fördert mikrobielle Aktivität
und damit
Strukturstabilität



Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Einflussfaktoren

- ◆ vitale Pflanzen, gute Jugendentwicklung, keine Verunkrautung
- ◆ ausreichende Bodenfeuchte (Nährstofftransport!), Wasserspeicherung
- ◆ ausreichende Nährstoffvorräte, gute Stickstoffversorgung
- ◆ gute Durchwurzelbarkeit, gute Bodenstruktur & Aggregatstabilität
- ◆ ausreichende Nährstoffpufferung (Bindungsplätze!)
- ◆ hoher Umsatz organischer Substanz
- ◆ hohe bodenbiologische Aktivität
- ◆ Förderung von Symbiosen (biologische N_2 -Bindung, Mykorrhiza) und assoziativen Organismen (Wuchsstoffe!)
- ◆ Ziel: Bedingungen für vitalen Boden-Pflanzen-Organismus schaffen, Pflanze zu Eigenaktivität und Gestaltung der Umgebungsbedingungen befähigen

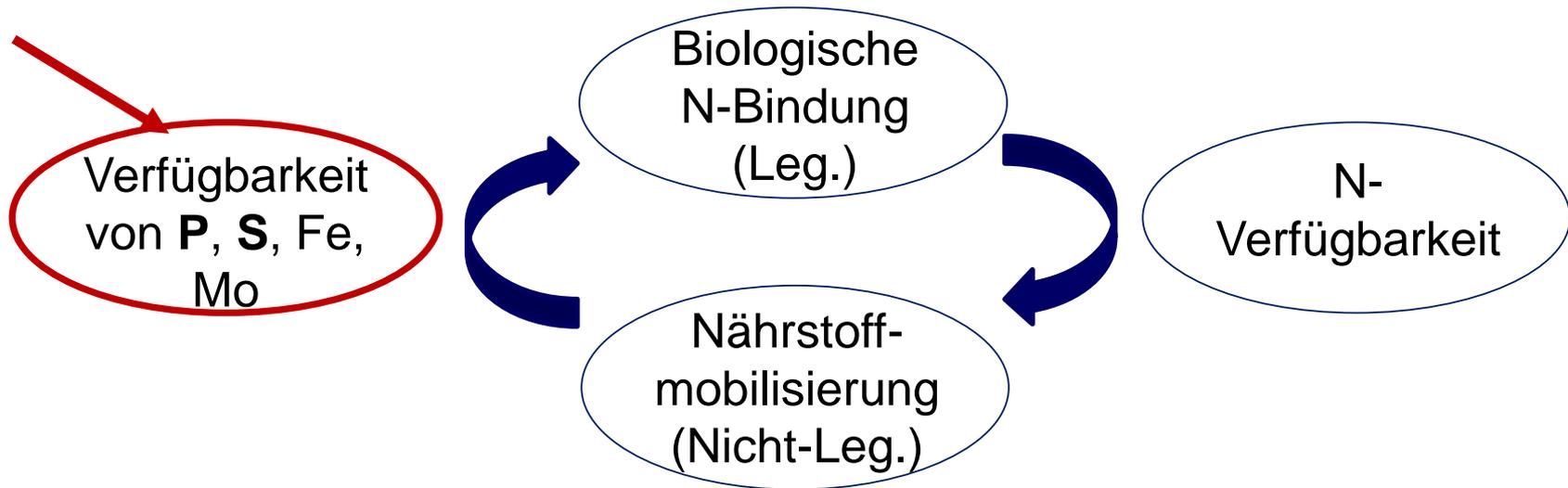
Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Einflussfaktoren

Nährstoffmobilisierung abhängig von **Stickstoffverfügbarkeit!**

Stickstoffverfügbarkeit abhängig von **Stickstoffbindung!**

Stickstoffbindung abhängig von **Nährstoffverfügbarkeit!**



Eine gute Verfügbarkeit von Phosphor, Schwefel, Eisen, Molybden fördert die biologische N-Bindung und N-Verfügbarkeit!

Und fördert die Nährstoffmobilisierung!

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Optimierung der Bedingungen

- Ausreichende **Nährstoffvorräte**:
z.B. Feldspäte, Glimmer →
K-Freisetzung
- Geringer Abstand Wurzel –
Nährstoffe:
gute **Durchwurzelung**, Mykorrhiza,
großes **verfügbares Bodenvolumen**
- Gute **Jugendentwicklung, vitale
Pflanzen** → Wurzelausscheidungen
- Hohe **mikrobielle Biomasse und
Aktivität**
- Unvorteilhafte Bedingungen
vermeiden:
**Verdichtung, Wasserstau,
Trockenheit, zu tiefe pH-Werte,
Verunkrautung**

- *Nährstoffverluste minimieren!*
*Erhöhen der Nährstoffpufferung durch
Humusmehrung! → **Futterleguminosen!***
- *Bodenstruktur und Aggregatstabilität
verbessern!*
*→ **Futterleguminosen und -gemenge!***
- *Gute Stickstoffverfügbarkeit!*
Unkräuter kontrollieren!
*→ **Futterleguminosen!***
- *Org. Substanz regelmäßig zuführen,
Humusgehalte erhöhen!*
*Symbiosen und Mikroorganismen im
Wurzelraum fördern (wachstums-
fördernde Substanzen)!*
*→ **Futterleguminosen & Zwischenfrüchte!***
- *Bearbeitungsfehler vermeiden!*
Kalkung!

Nährstoffhaushalt

- Nährstoffmobilisierung, Optimierung der Bedingungen

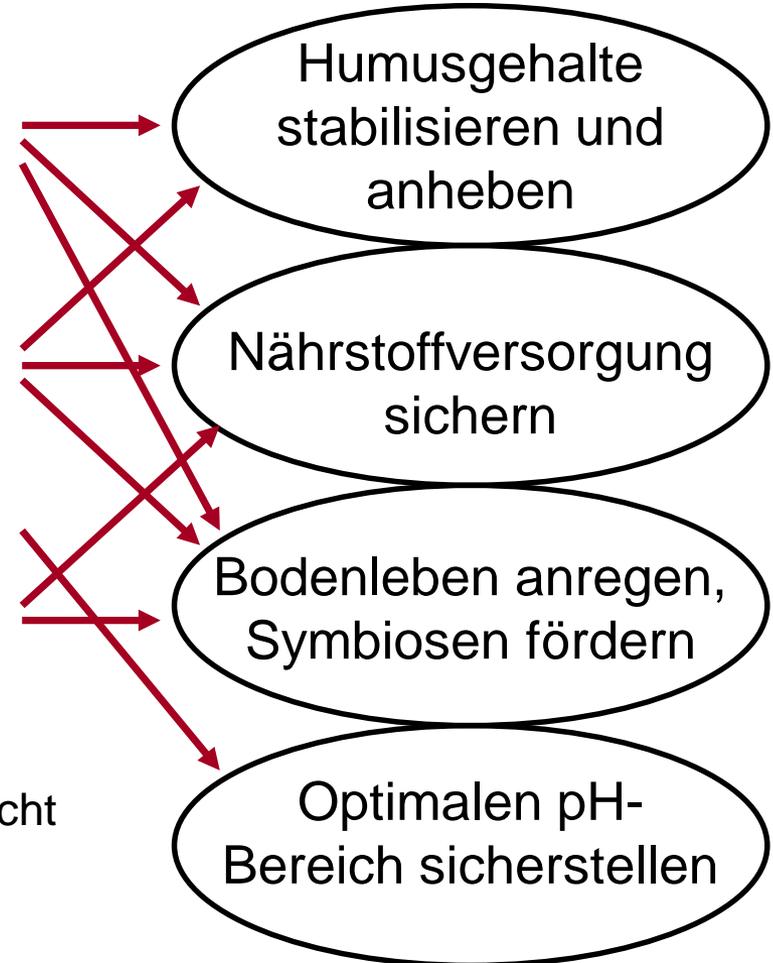
1. Humusgehalte stabilisieren und anheben!
Humusumsatz, Wurzelausscheidungen fördern!
2. Bodenleben anregen, Symbiosen fördern!
3. Bodenstruktur fördern!
4. pH-Werte kontrollieren, bei Bedarf kalken!
5. Sicherstellen einer ausreichenden Nährstoffversorgung für eine gute Jungpflanzenentwicklung!
Entspricht etwa Gehaltsklasse „B“ der Düngungsempfehlungen
6. Mangementfehler vermeiden!

**Futterleguminosen,
Zwischenfrüchte;
eiweißreiche, organische
Dünger: Stallmist,
Kompost, Gründüngung!**

Managementmaßnahmen

- Auswirkungen auf den Boden und seine Bewohner

1. Fruchtfolge:
Humusmehrer, Futterbau, Klee gras, Luzerne
2. Düngung:
organisch Düngung (Gehaltsklasse „B“);
Bei Verdacht auf Nährstoffmängel:
Pflanzengehalte kontrollieren,
ev. Düngefenster anlegen,
kalken
3. Bodenbearbeitung:
richtig machen, keine Verdichtungen!
4. Wechselwirkungen von Maßnahmen:
ein Ziel kann mit mehreren Maßnahmen erreicht
werden,
eine Maßnahme hat mehrere Auswirkungen



Ackerbau aus Sicht des Bodens und seiner Bewohner



Universität für
Bodenkultur Wien

Department für
Nachhaltige Agrarsysteme

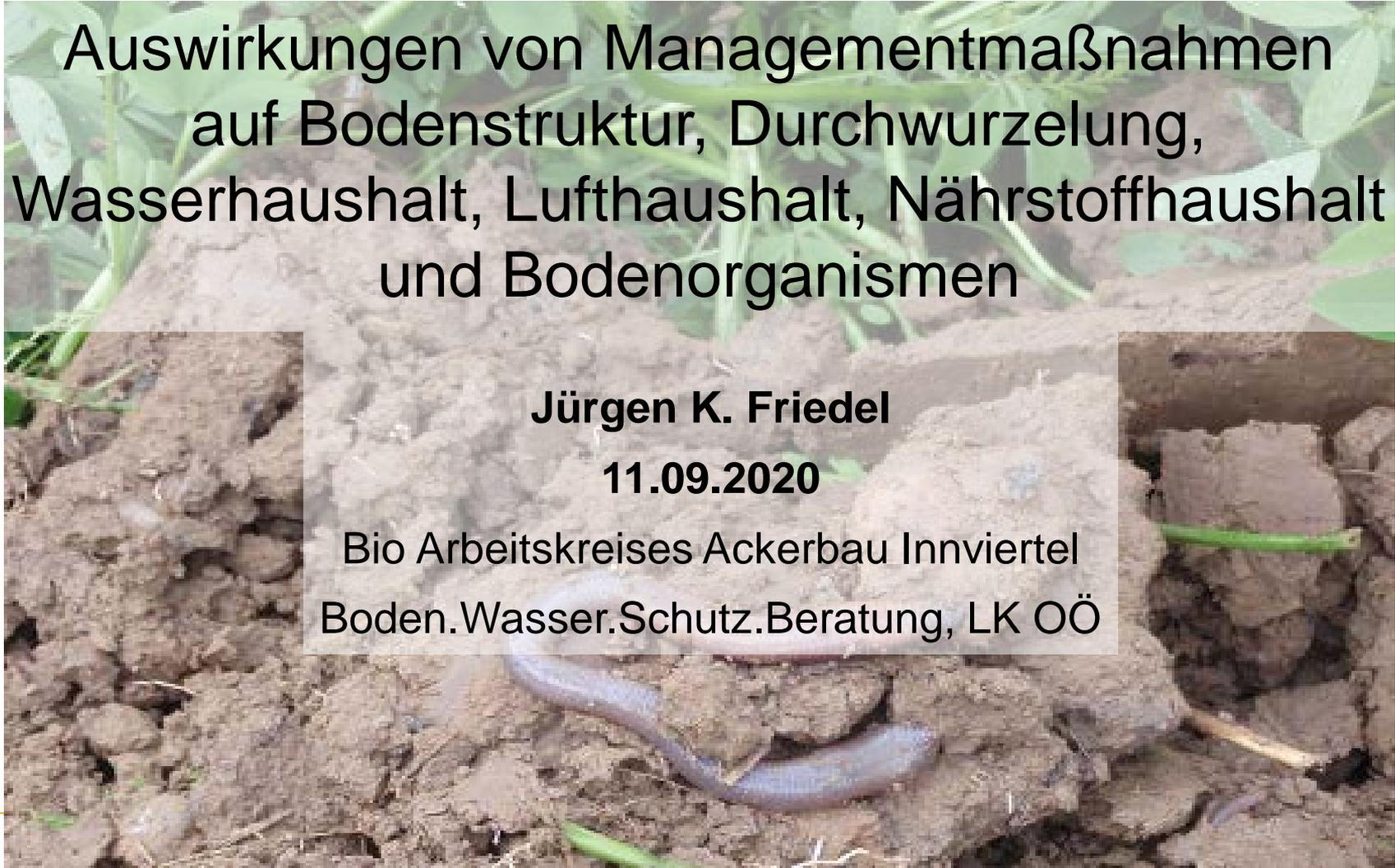
Institut für Ökologischen Landbau

Auswirkungen von Managementmaßnahmen
auf Bodenstruktur, Durchwurzelung,
Wasserhaushalt, Lufthaushalt, Nährstoffhaushalt
und Bodenorganismen

Jürgen K. Friedel

11.09.2020

Bio Arbeitskreises Ackerbau Innviertel
Boden.Wasser.Schutz.Beratung, LK OÖ



Kontrolle der Bodenfruchtbarkeit mit der Spatenprobe



Structure quality	Size and appearance of aggregates	Visible porosity and Roots	Appearance after break-up: various soils	Appearance after break-up: same soil different tillage	Distinguishing feature	Appearance and description of natural or reduced fragment of ~ 1.5 cm diameter
Sq1 Friable Aggregates readily crumble with fingers	Mostly < 6 mm after crumbling	Highly porous Roots throughout the soil			 Fine aggregates	 1 cm The action of breaking the block is enough to reveal them. Large aggregates are composed of smaller ones, held by roots.
Sq2 Intact Aggregates easy to break with one hand	A mixture of porous, rounded aggregates from 2mm - 7 cm. No clods present	Most aggregates are porous Roots throughout the soil			 High aggregate porosity	 1 cm Aggregates when obtained are rounded, very fragile, crumble very easily and are highly porous.
Sq3 Firm Most aggregates break with one hand	A mixture of porous aggregates from 2mm -10 cm; less than 30% are <1 cm. Some angular, non-porous aggregates (clods) may be present	Macropores and cracks present. Porosity and roots both within aggregates.			 Low aggregate porosity	 1 cm Aggregate fragments are fairly easy to obtain. They have few visible pores and are rounded. Roots usually grow through the aggregates.
Sq4 Compact Requires considerable effort to break aggregates with one hand	Mostly large > 10 cm and sub-angular non-porous; horizontal/platy also possible; less than 30% are <7 cm	Few macropores and cracks All roots are clustered in macropores and around aggregates			 Distinct macropores	 1 cm Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, in cube shapes which are very sharp-edged and show cracks internally.
Sq5 Very compact Difficult to break up	Mostly large > 10 cm, very few < 7 cm, angular and non-porous	Very low porosity. Macropores may be present. May contain anaerobic zones. Few roots, if any, and restricted to cracks			 Grey-blue colour	 1 cm Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, although considerable force may be needed. No pores or cracks are visible usually.



Stärken und Schwächen des Bodens in Abhängigkeit von der Bodenart

Bodenartenhauptgruppen und Eigenschaften von Lockergesteinsgruppen (nach Kuntze et al. 1994, S. 94; leicht verändert)

Bodeneigenschaften	Bodenartenhauptgruppen				Schluff: mehlig; Lößböden
	Sand	Schluff	Ton	Lehm	
Wasserspeicherung / Feldkapazität*	--	+	++	++	
Speicherung pflanzenverf. Wasser / Nutzbare Feldkapazität*	-	++	-	+	
Durchlüftung*	++	--	-	0	
Gefügestabilität*	0	-	++	+	
Nährstoffvorrat	-	+	++	++	
Nährstoffspeicherung	--	-	++	+	

Klassen: ++ Sehr gut / hoch;

+: gut / hoch

0 befriedigend / mittel

- schlecht / wenig;

--: sehr schlecht / wenig

*** Wasserspeicherung, Durchlüftung und Strukturstabilität verschlechtern sich bei hoher Lagerungsdichte bzw. Verdichtung um ca. eine Klasse!**