

Klimawandelangepasste Landwirtschaft im Fokus: Mechanismen, Potentiale und Limitierungen

mostlandl
hausruck



Klima- und Energie-
Modellregionen
Wir gestalten die Energiewende



Bodentag im Mostlandl Hausruck
24.10.2024



Christoph Rosinger, Gernot Bodner, Katharina Keiblinger

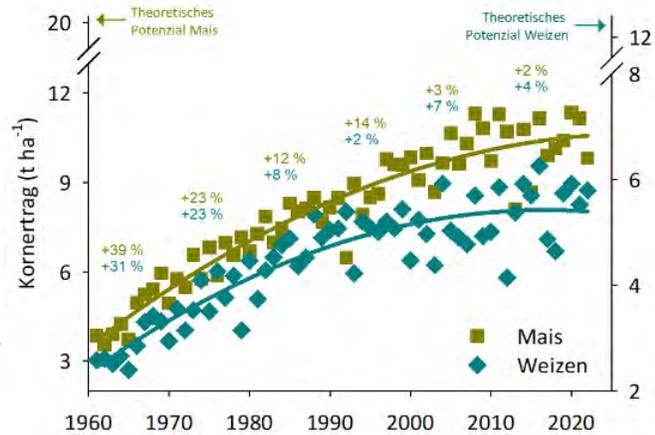
Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien

Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien

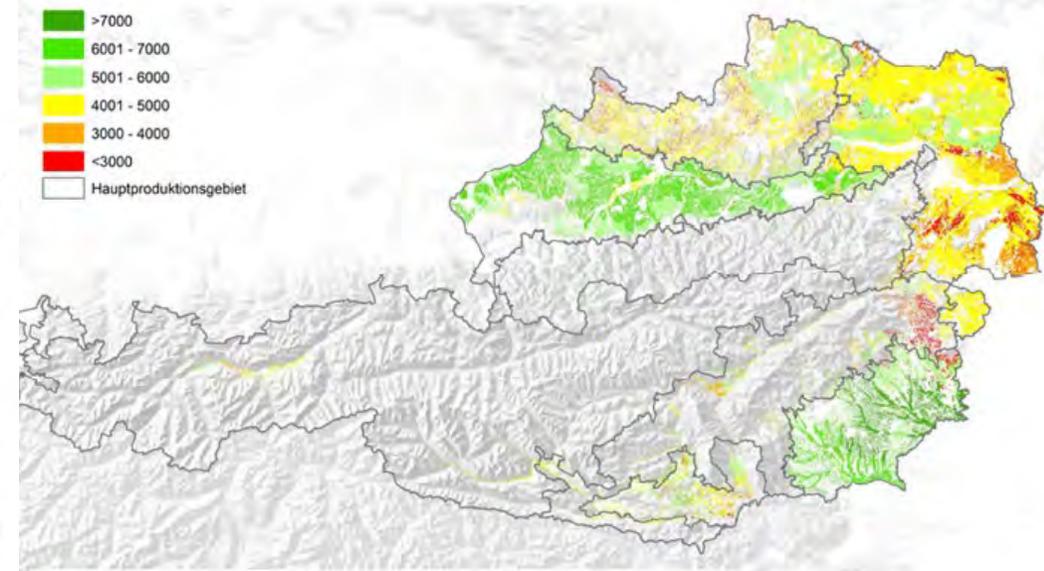


Herausforderung Globaler Wandel

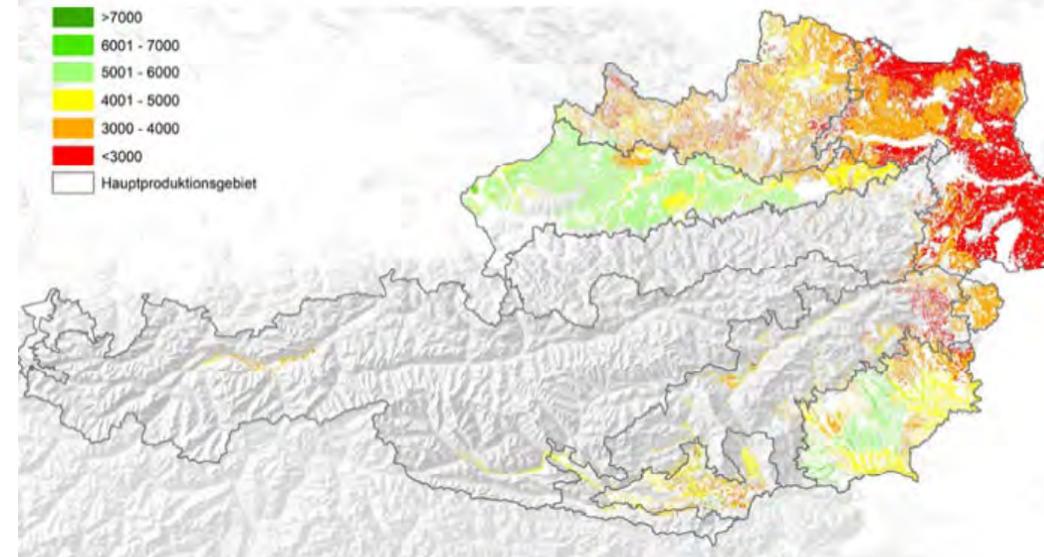
Ertragsniveaus haben voraussichtlich ein Plateau erreicht, und die Klima-
veränderungen werden das ihrige tun...



TM-Kornertrag (kg/ha) CMIP5 Referenzperiode 1981 - 2010



TM-Kornertrag (kg/ha) CMIP5 Szenario 2036 - 2065



**Globale Grenzen
des Planeten**

Richardson et al. (2023) Science Advances 9, 37.

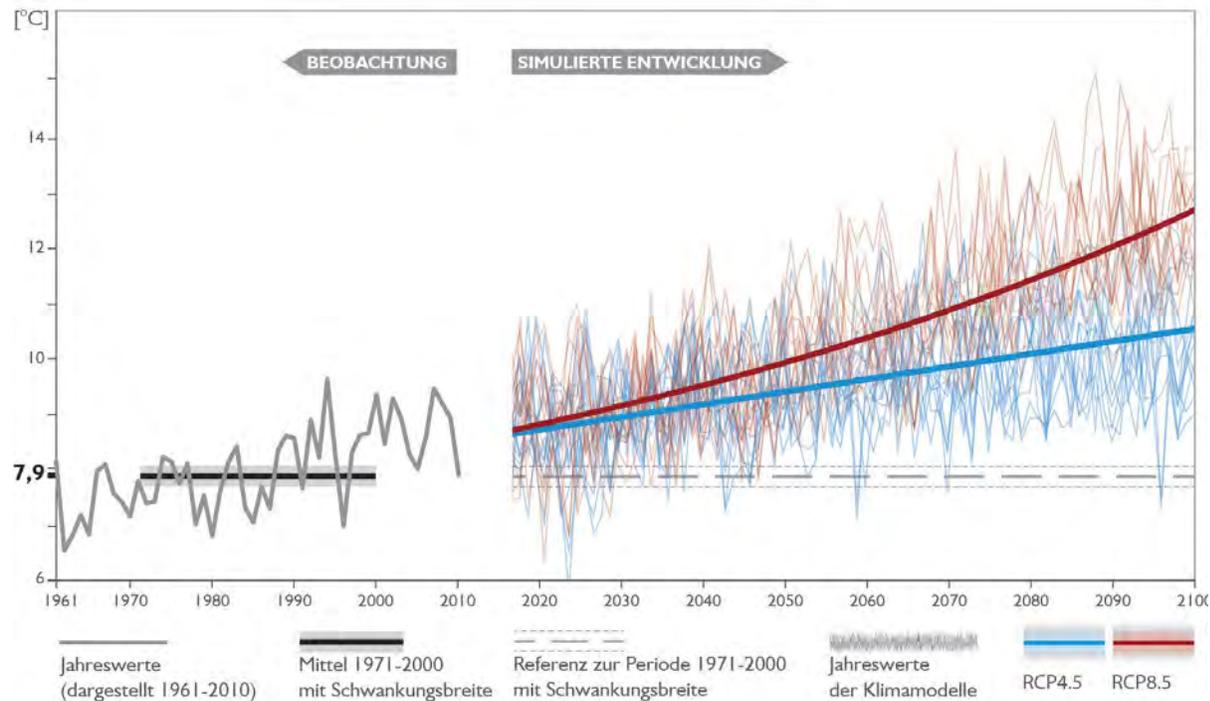
Haslmayr et al. (2018) BEAT – Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich

Herausforderung Klimawandel

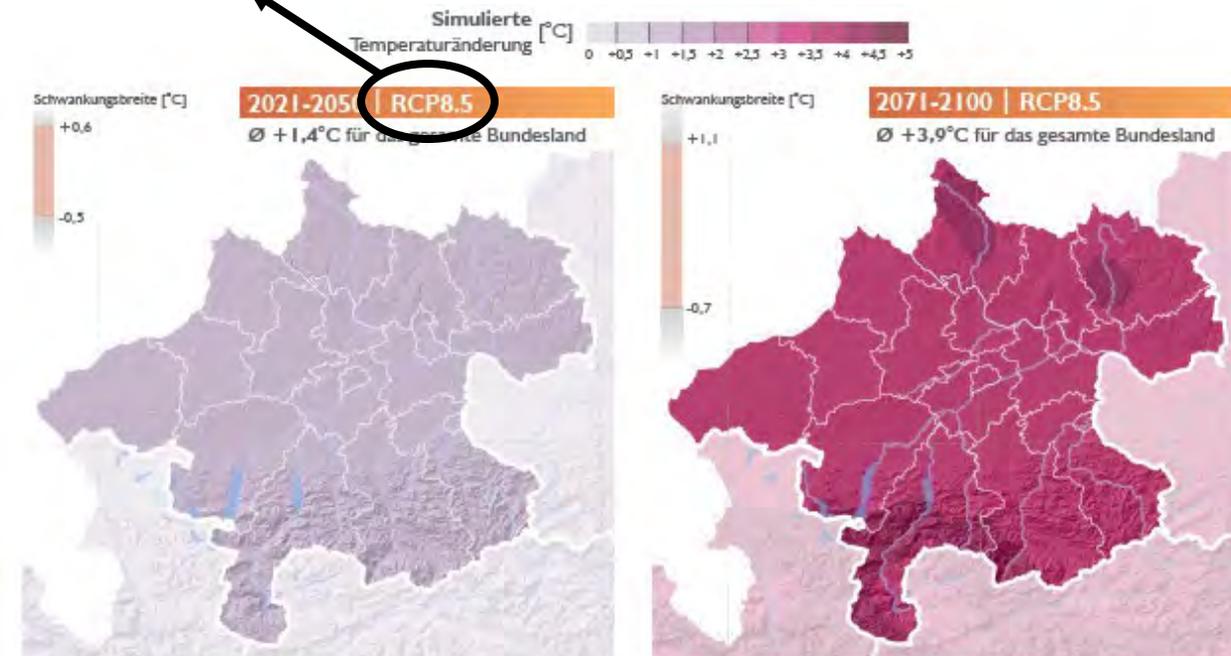
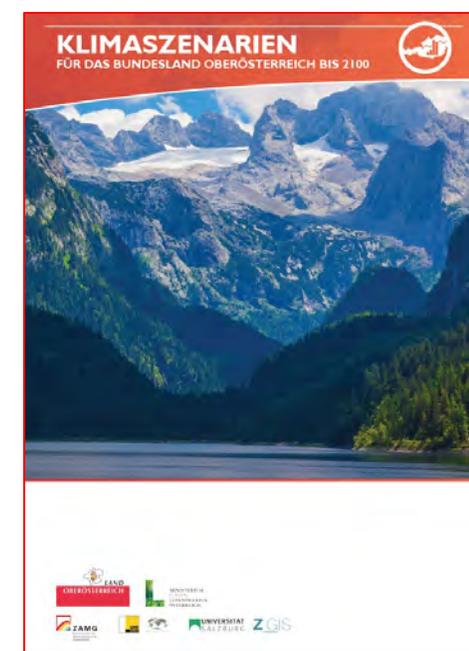
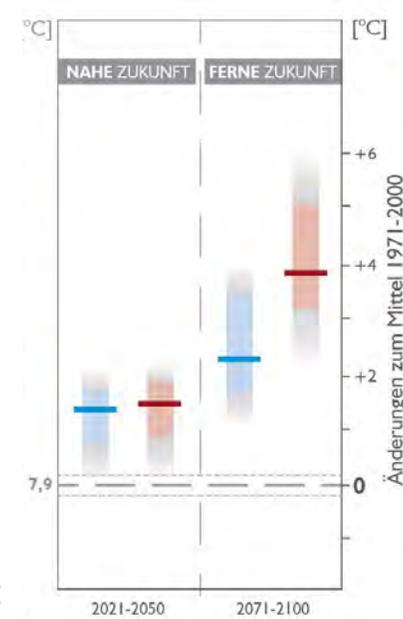
Klimaszenarien für Österreich (ÖKS15) verheißen nichts Gutes...

Das bedeutet für Oberösterreich:

- Steigende Temperaturen (worst case +3.9°C bis 2100)
- Mehr Hitzetage (worst case +19.7 Tage bis 2100)
- Größere Schwankungen



RCP8.5 bedeutet:
weiter wie bisher



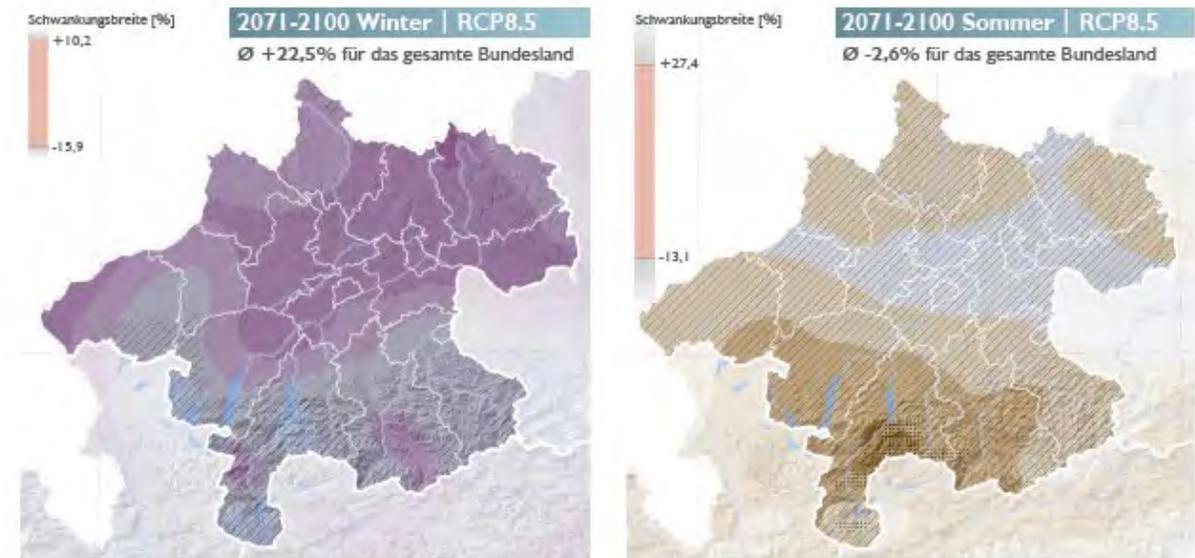
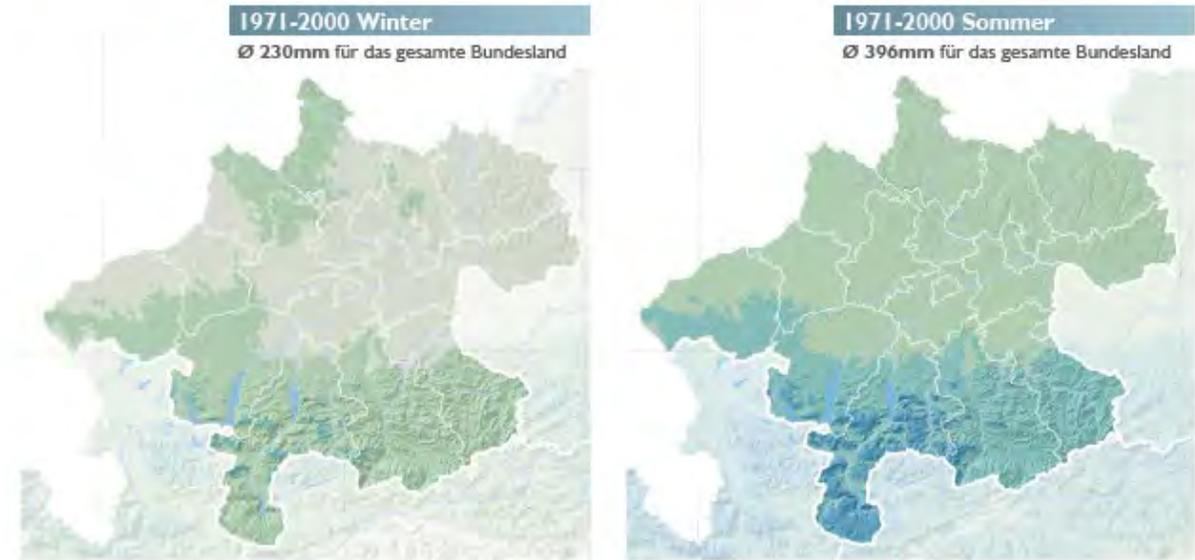
Herausforderung Klimawandel

Klimaszenarien für Österreich (ÖKS15) verheißen nichts Gutes...

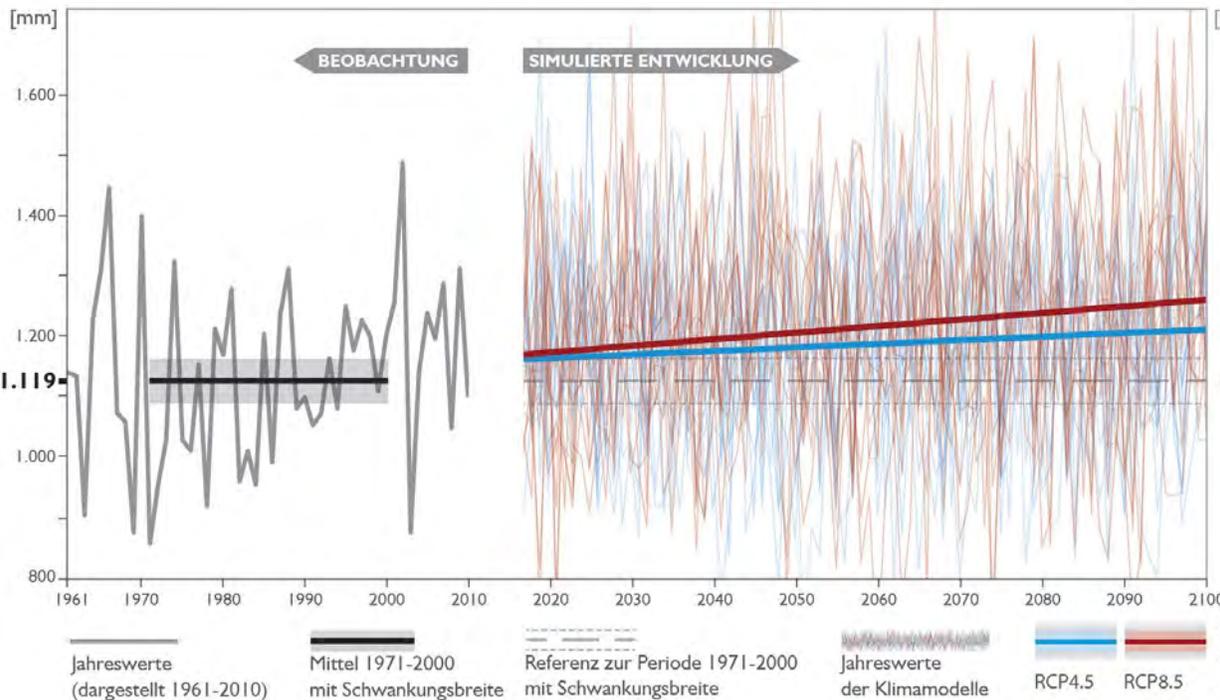
Das bedeutet für Oberösterreich:

- Mehr Winterniederschläge (worst case +22.5% bis 2100)
- Mehr Trockenperioden
- Mehr Extremwetterereignisse

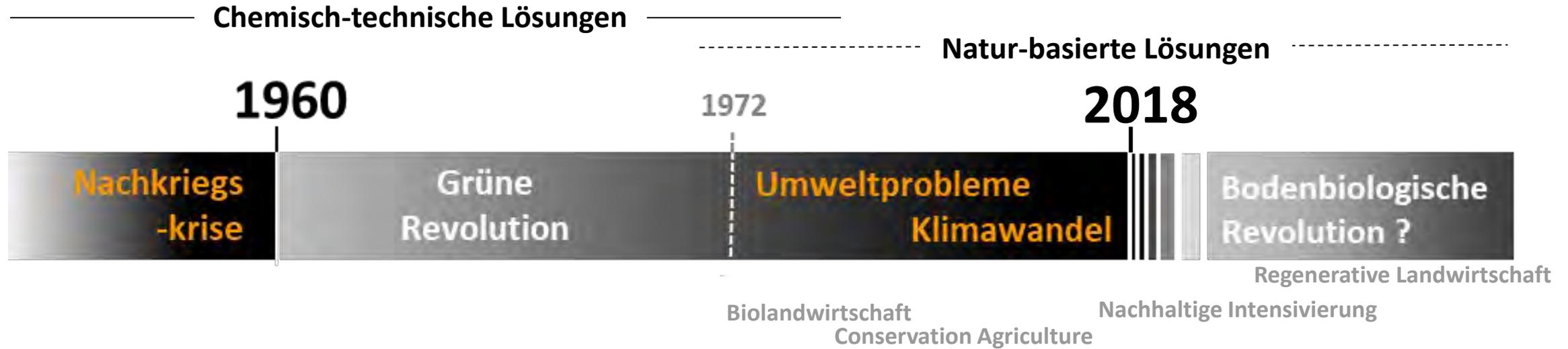
Beobachteter Niederschlag und simulierte Niederschlagsänderung für das business-as-usual-Szenario



Winter: Dezember - Jänner - Februar / Sommer: Juni - Juli - August



Landwirtschaft im Wandel der Zeit

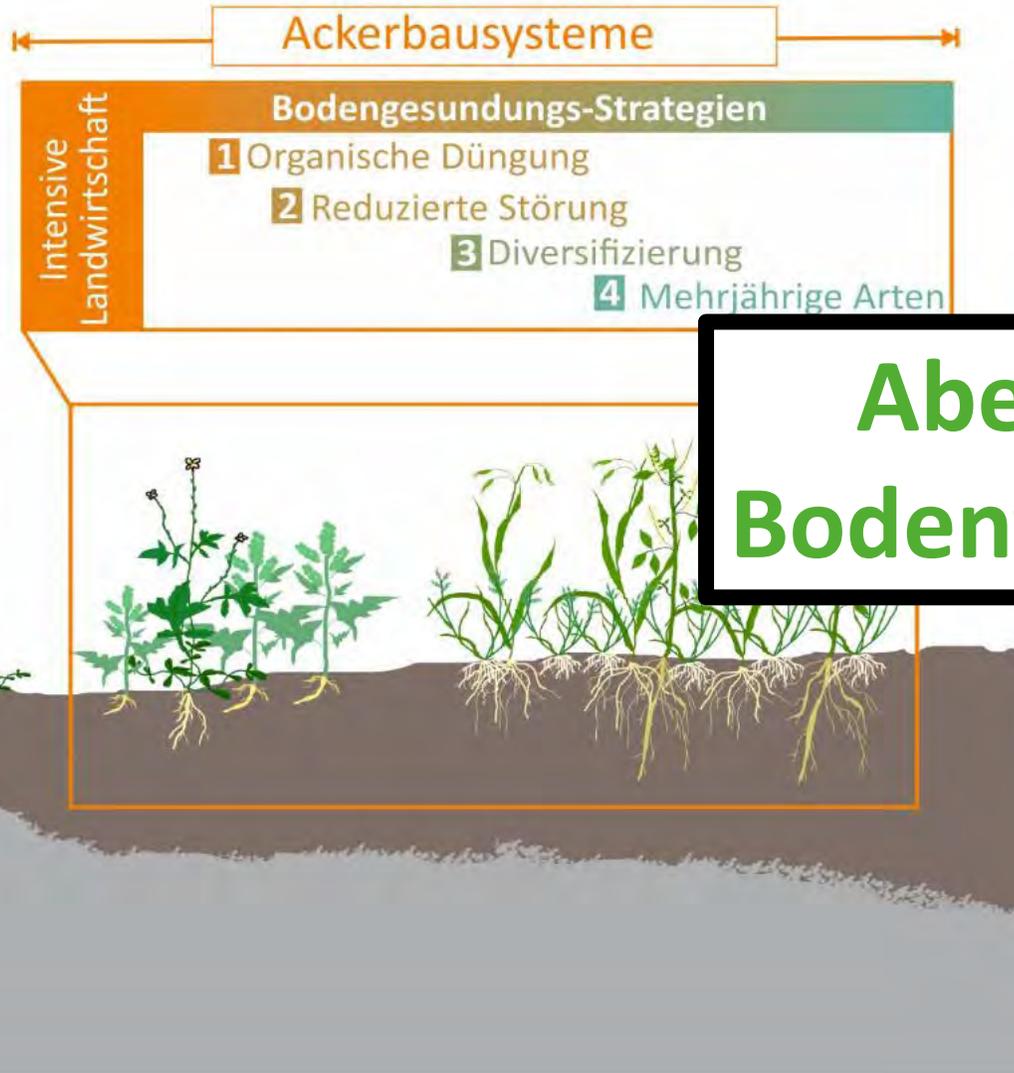


Jeder Zeit ihre Bodenfunktion



Paradigmenwechsel in der Landwirtschaft

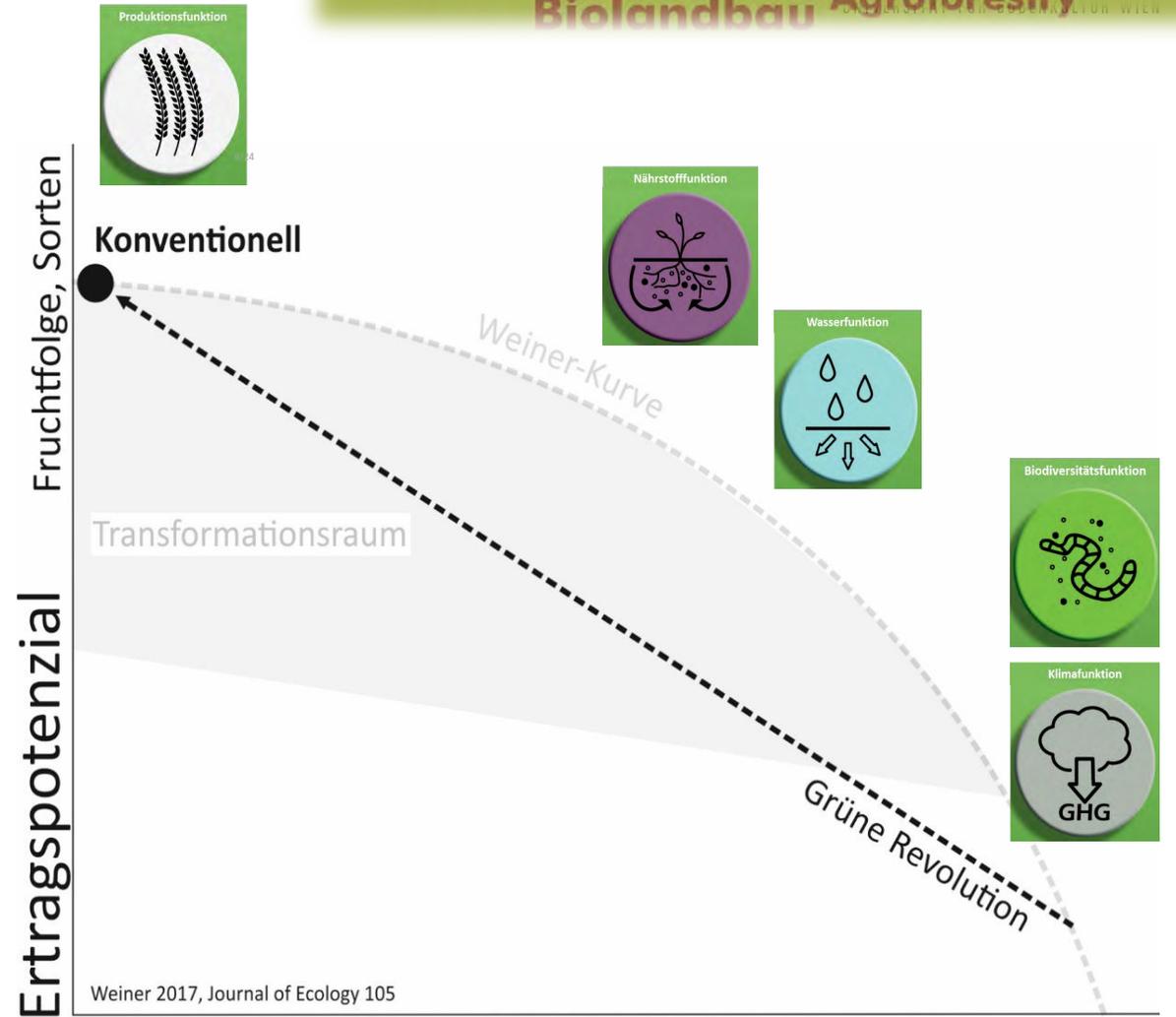
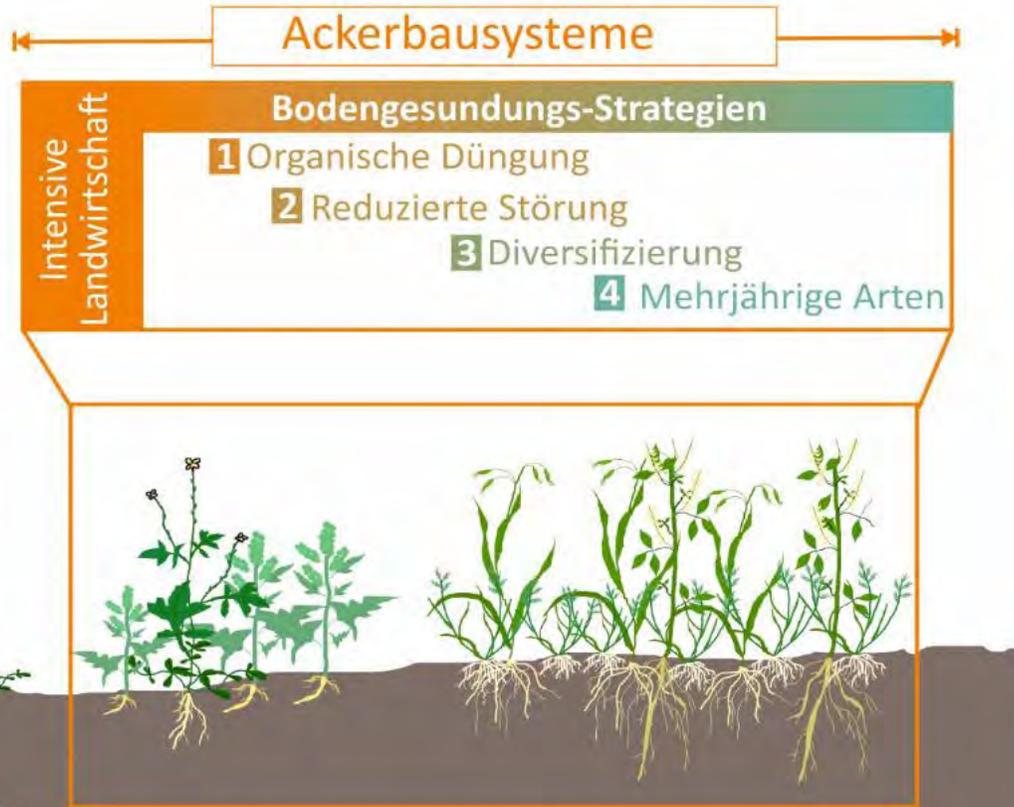
Biodiverse Anbausysteme
Conservation Agriculture Immergrün
Regenerative Landwirtschaft
No tillage Agroökologie Mob grazing
Biolandbau Agroforestry



**Aber: Verbesserung gewisser
Bodenfunktionen hat seinen Preis!**

Paradigmenwechsel in der Landwirtschaft

Biodiverse Anbausysteme
 Conservation Agriculture Immergrün
Regenerative Landwirtschaft
 No tillage Agroökologie Mob grazing
 Biolandbau Agroforestry



Nachhaltigkeit Wasser, N-Kreislauf, Klima, Biodiversität

Der Boden im Zentrum des European Green Deal

Auch die EU hat erkannt: Erhaltung der Bodengesundheit hat höchste Priorität

Degradierte Böden in der EU

Bodengefährdungen

- Humusverlust
- Nährstoffverluste
- Bodenversauerung
- Bodenerosion
- Bodenverdichtung
- Bodenbiodiversitätsverlust
- Bodenversiegelung
- Bodenverschmutzung



<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>

Humusaufbau als der entscheidende Faktor zur Erhaltung vieler Ökosystemdienstleistungen



Umsetzungsstrategien

(z.B. Biodiversität, Klimawandelanpassung, Schadstoffvermeidung, Boden)

Umsetzungsinstrumente

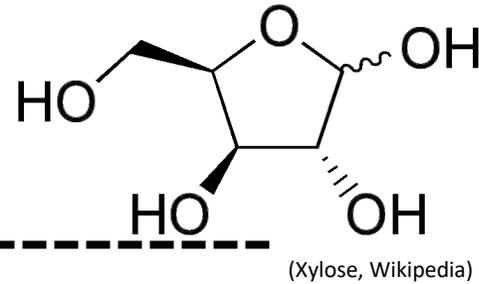
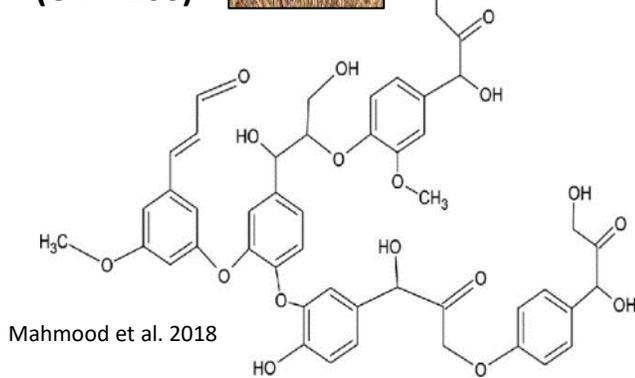
(z.B. GAP, Public Private Partnership, **Leuchtturmbetriebe**)

Humus – die klassische Theorie

Lignin
(CN > 100)



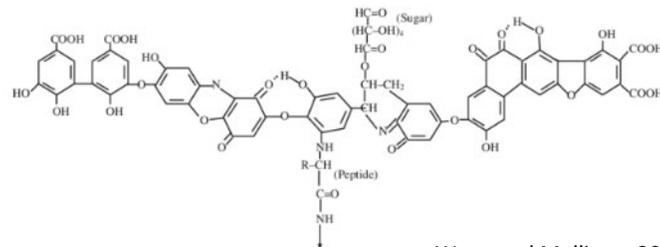
Zucker
(CN < 20)



CO₂ Veratmung
Nährhumus

Mikroorganismen

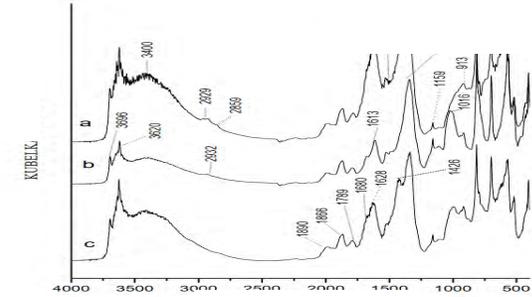
Huminstoffe



Dauerhumus

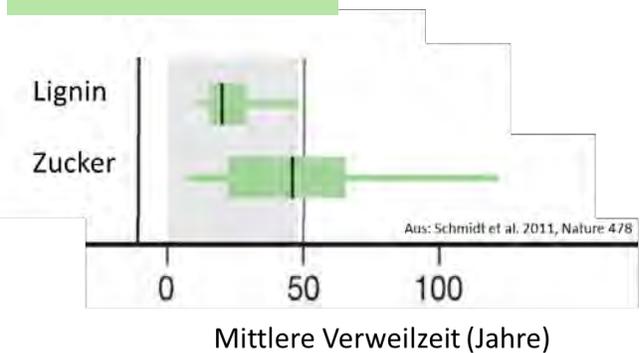
ABER...

Problem 1



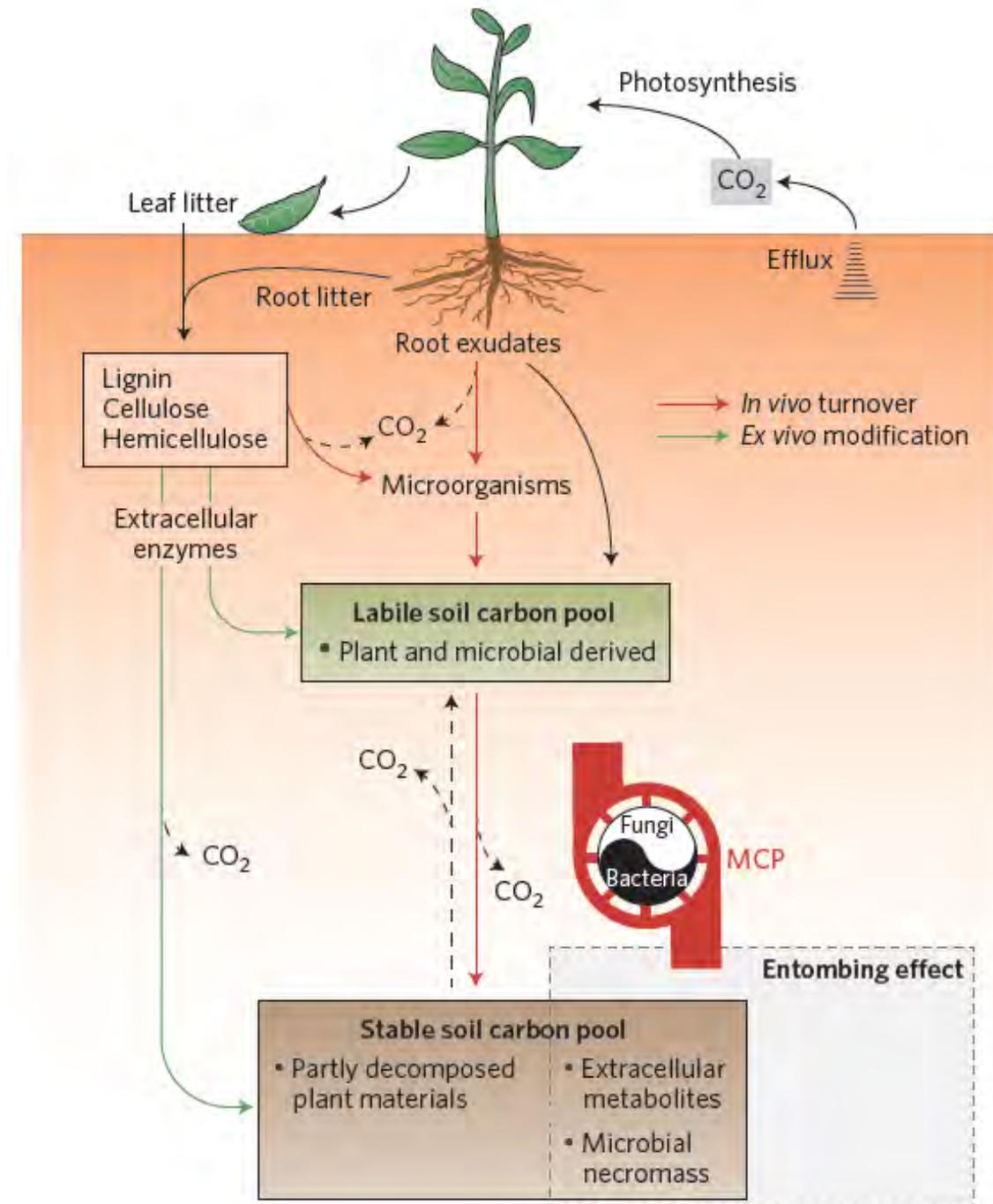
Huminstoffe finden sich nicht bei *in-situ* Analyse-Methoden von Boden.
 ⇒ Sie sind ein Produkt eines chemischen Extraktionsverfahrens in stark basischer (pH 13) Lösung.

Problem 2



Humus – die neue Theorie mit der Bodenbiologie im Zentrum

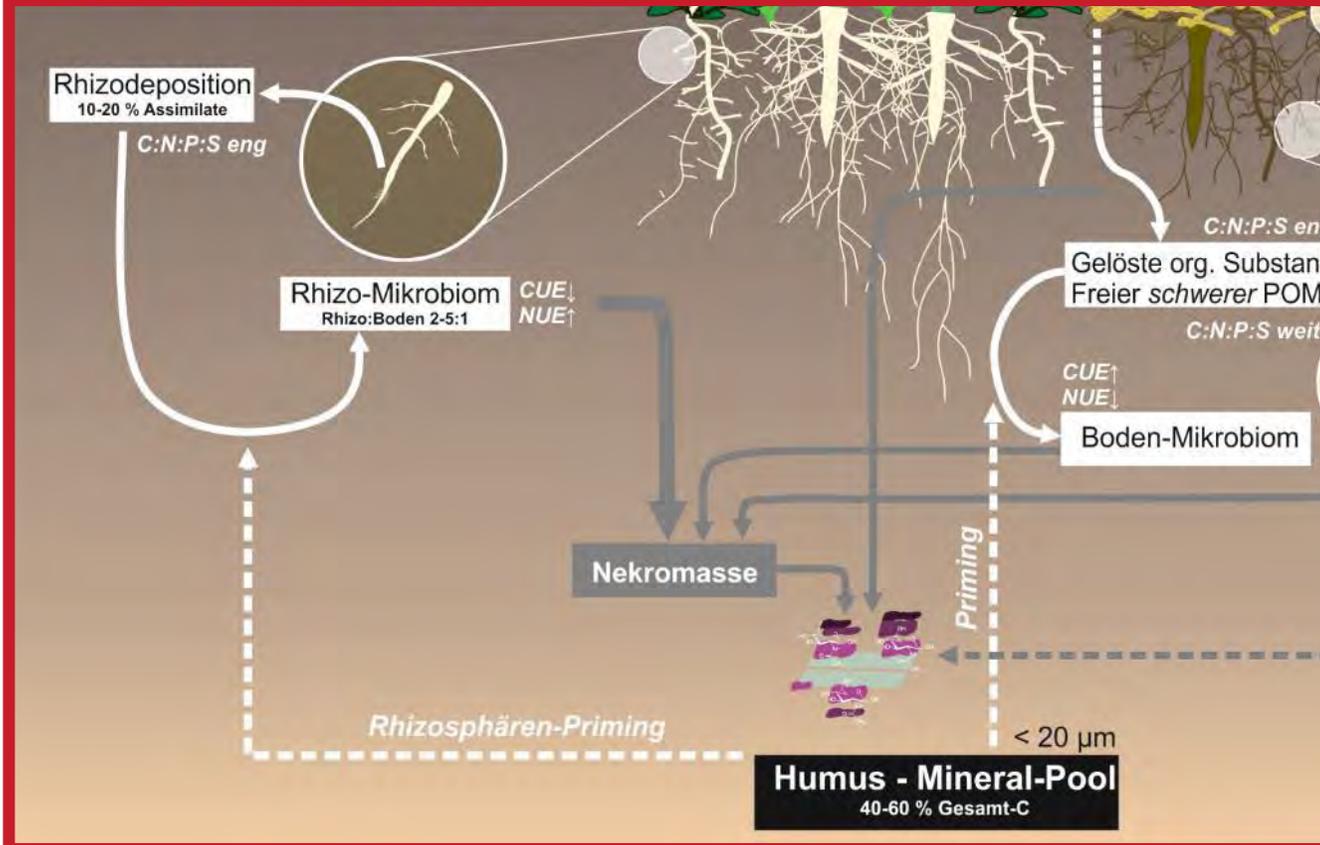
- **Bodenmikroorganismen** sind die Hauptagenten für den Humusaufbau (und auch -abbau)
- Mikrobielle Kohlenstoffpumpe:
 - Mit jedem iterativen Umsatz (ca. alle **50-100 Tage** setzt sich die mikrobielle Biomasse einmal um) wird ein Teil der mikrobiellen Nekromasse durch die mineralische Bodenmatrix stabilisiert



Humus (die neue Theorie): drei Bildungspfade

Pflanzen pumpen 20-50% ihres C in den Boden!!!

1. Mikrobieller Weg



1. Weg: Mikrobiell

Mineral-assoziierte organische Substanz

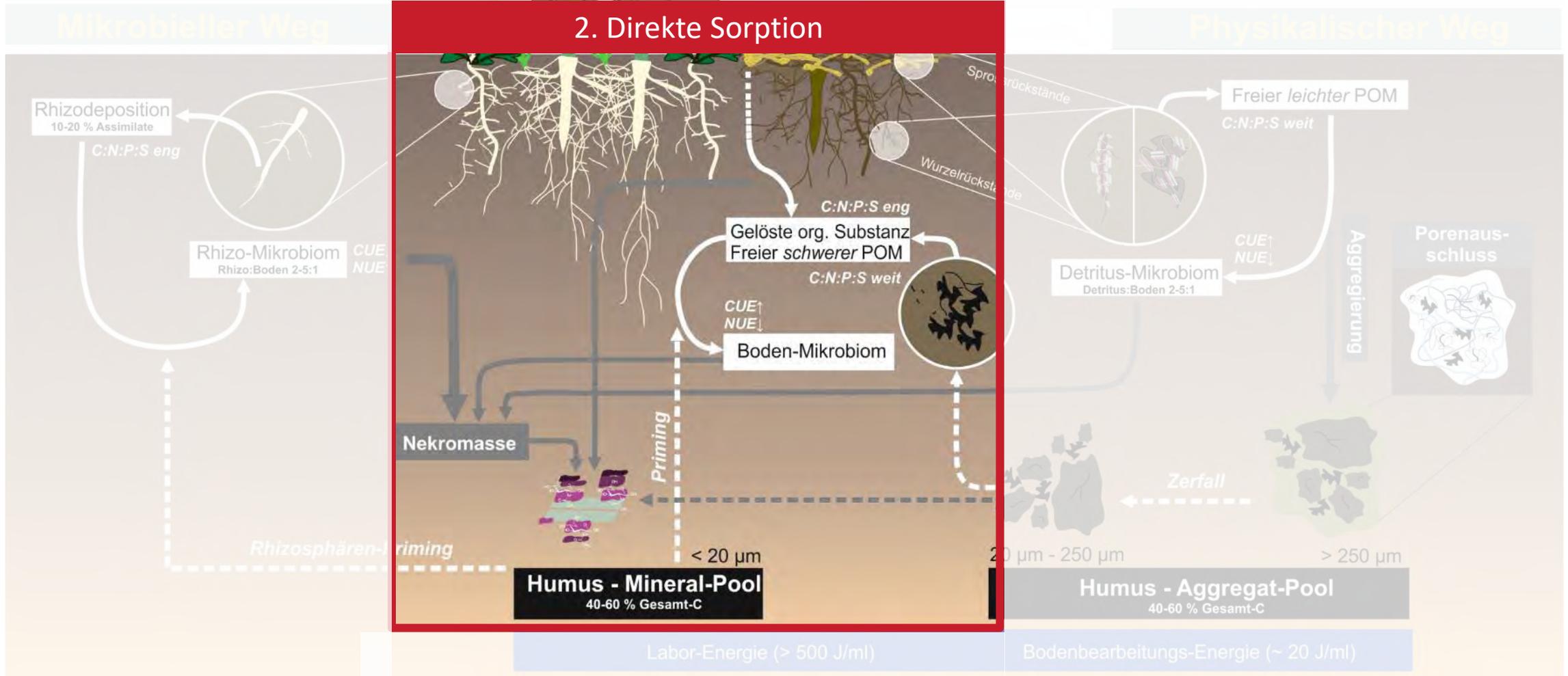
- In-vivo mikrobieller Pfad
- Die mikrobielle Biomasse ist hauptverantwortlich für den Aufbau des stabilen Bodenkohlenstoffs (**Humus-Mineral-Pool**)
- Lebensdauer >500 Jahre

Labor-Energie (> 500 J/ml)

Humusbildungspfade



2. Direkte Sorption



Gelöste organische Substanzen (DOM)

Lebende Pflanze

Rhizodeposition



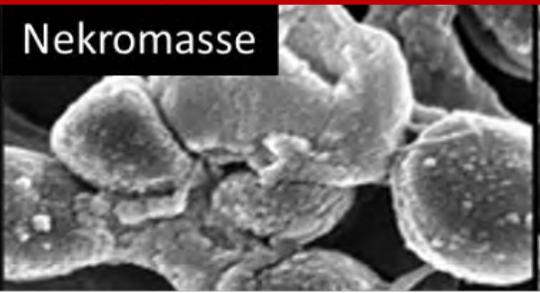
Tote Pflanze

Abbauprodukte (Monomere)



Tote Mikroben

Nekromasse



+

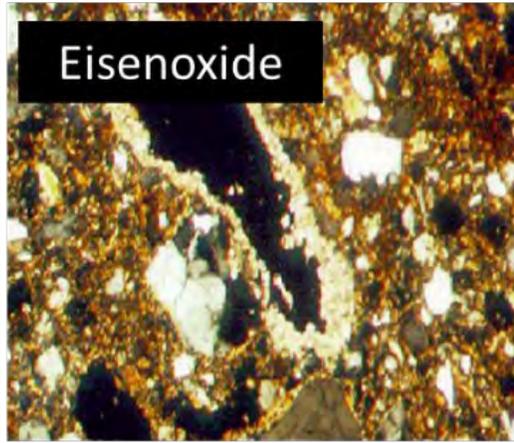
Mineralische Oberfläche

Adsorption (Affinität organischer funktioneller Gruppe und Mineraloberfläche > Enzym), **Fällung** (z.B. Fe-OM-Chelatisierung), **Kationen Brücke** (z.B. Ton-Ca⁺⁺-OM)

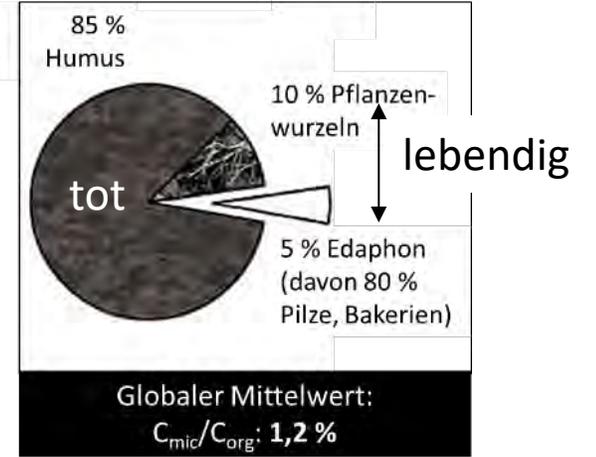
Tonminerale



Eisenoxide



Mikrobielle Kohlenstoffpumpe



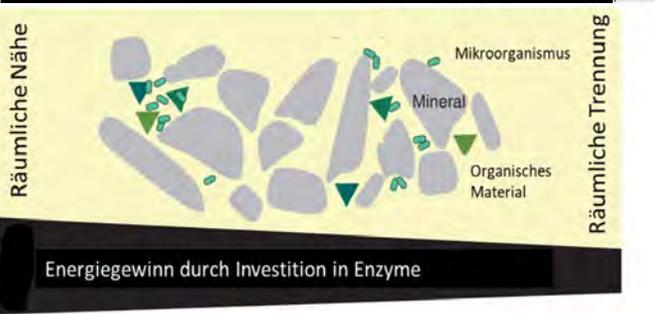
Aufkonzentration



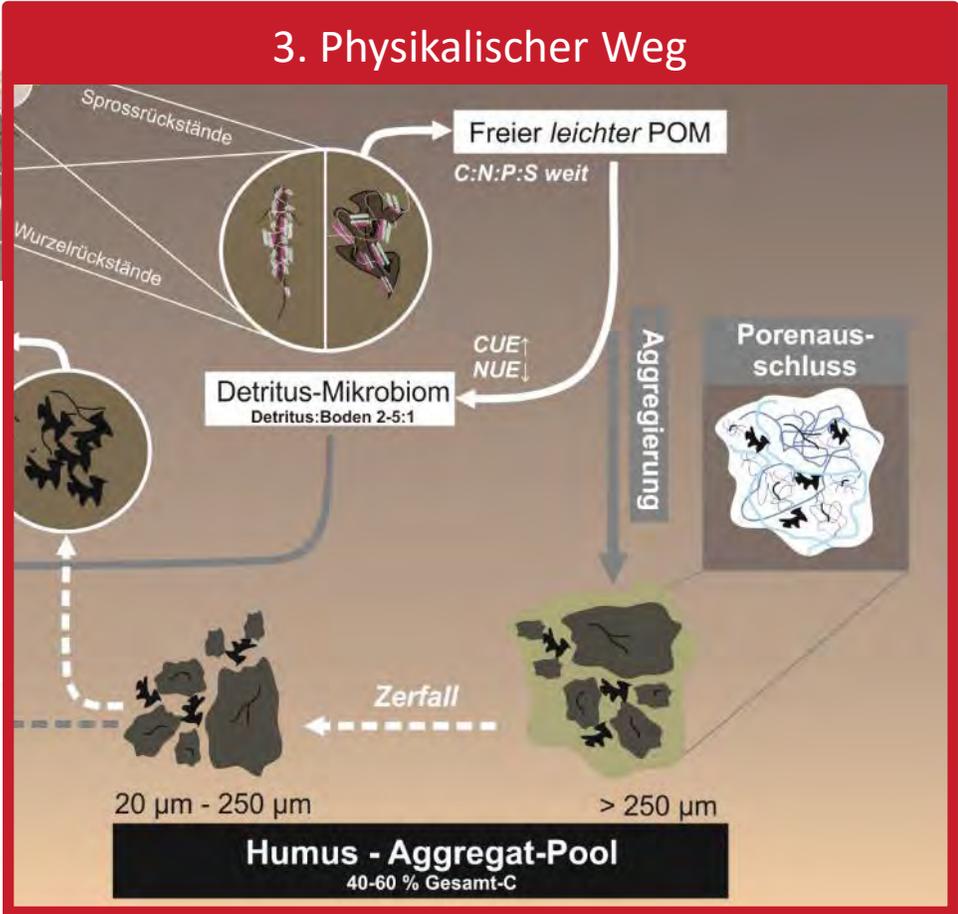
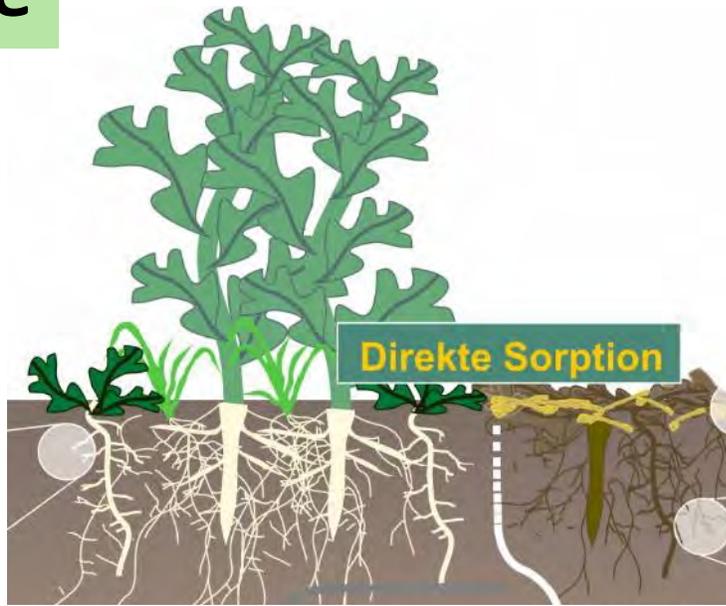
Ton-Humus-Komplex:
80 % C_{org} mikrobieller Ursprung

Humusbildungspfade

Räumliche Trennung



Nach Lehmann et al. 2020 Nature Geoscience 13

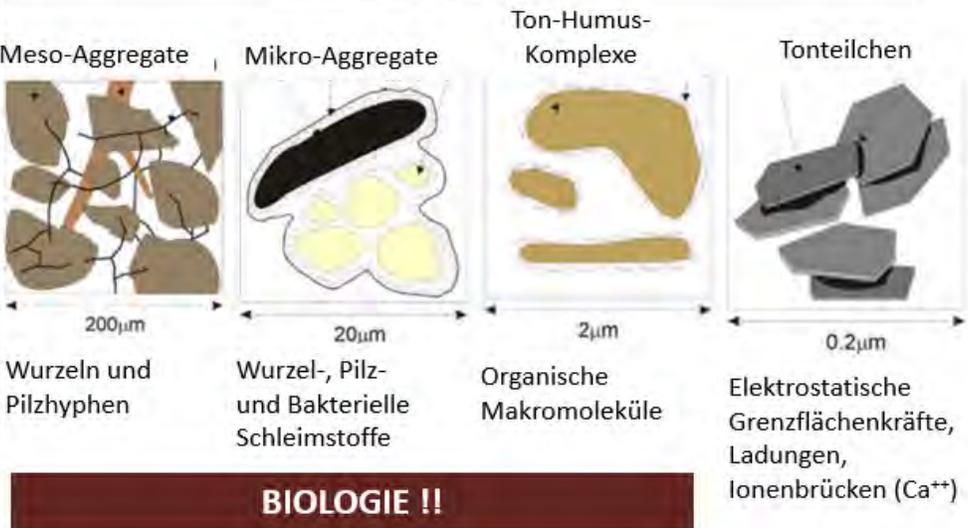


Bodenkrümel - Makroaggregat



Verändert nach: Nature Education und University of British Columbia

Bauteile und Bindungskräfte



direkter Wurzeinfluss

Die biologischen Grundpfeiler der Bodenfruchtbarkeit:



z.B. aus Wurzelgeflechten

z.B. Ausscheidung von Schleimstoffen

Optimal:

- Maximale Bodenbedeckung
- Maximale Durchwurzelung
- Maximale Biodiversität
- Minimale mechanische Störung

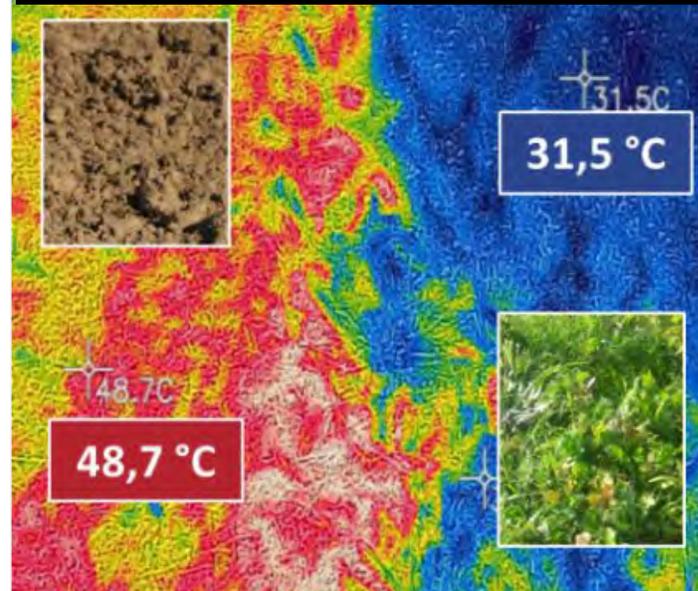


Klimawandelangepasstes Management der Bodenbiologie

Mästen



Kühlen

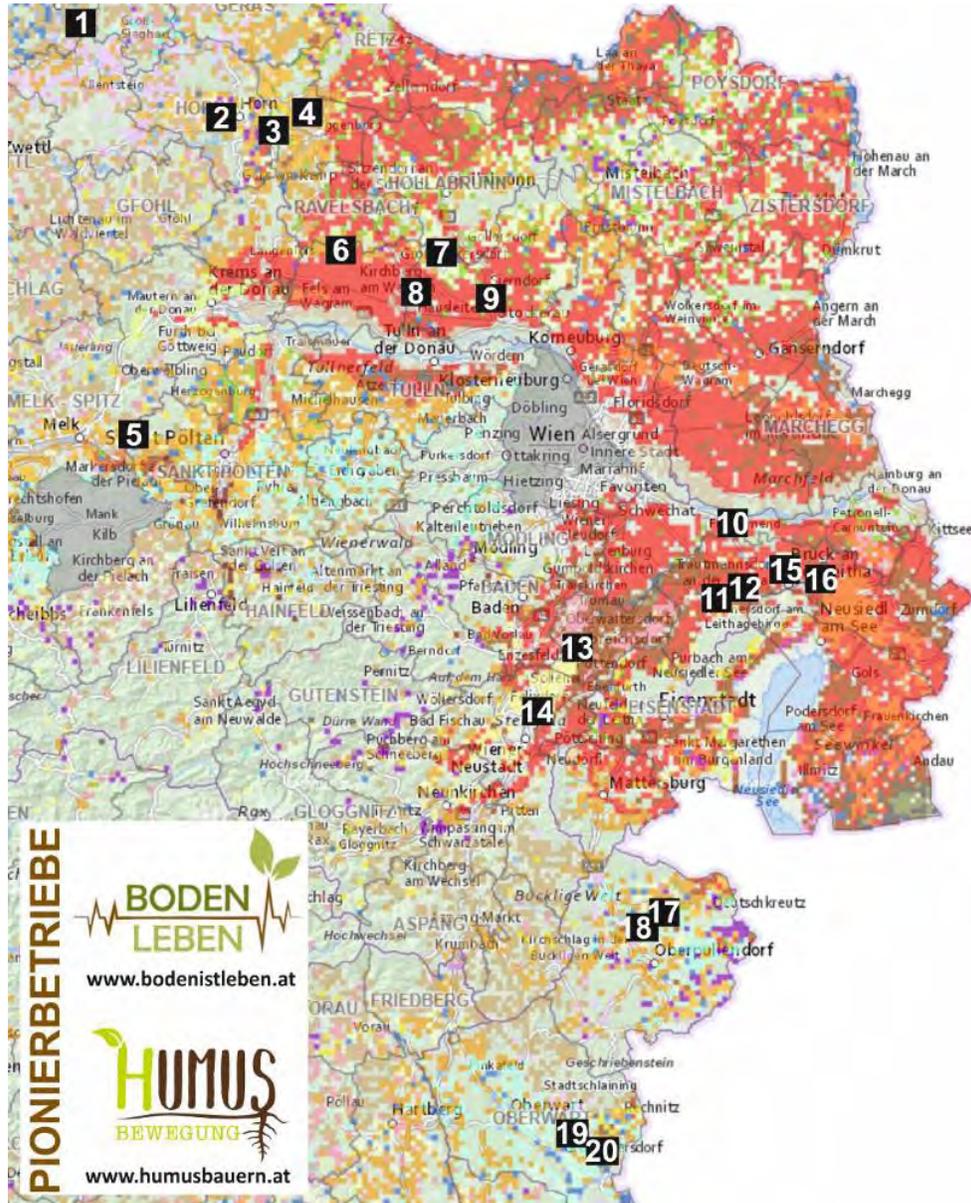


Schonen



Ein belebter Boden fördert mit dem Humusaufbau eine Vielzahl an **Funktionen** wie stabile **Bodenstruktur**, multifunktionale **Porenräume** und ein aktives **Bodenleben**.

Projekt Bodenpioniere 1.0



PIONIERBETRIEBE

BODEN LEBEN
www.bodenistleben.at

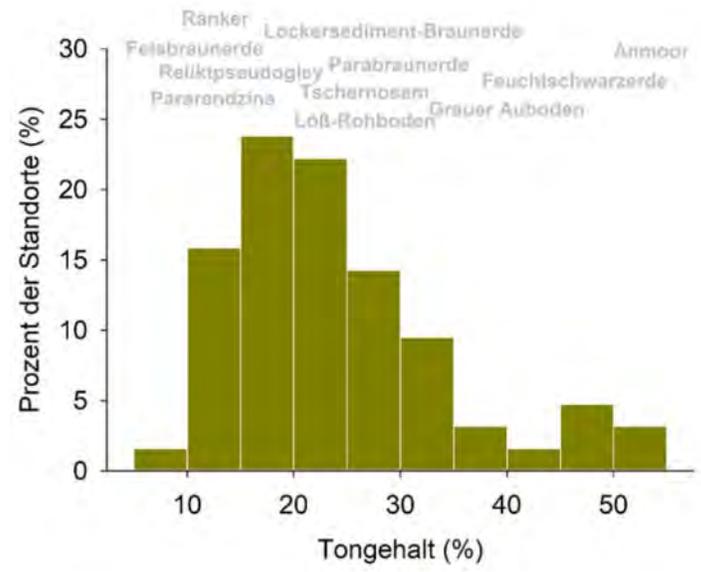
HUMUS BEWEGUNG
www.humusbauern.at

Innovationsvielfalt

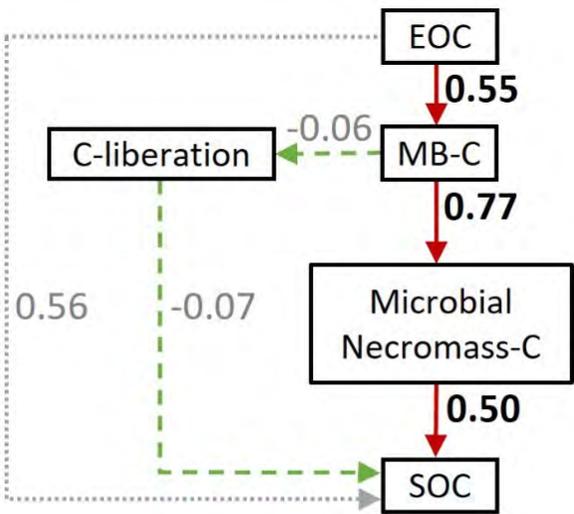
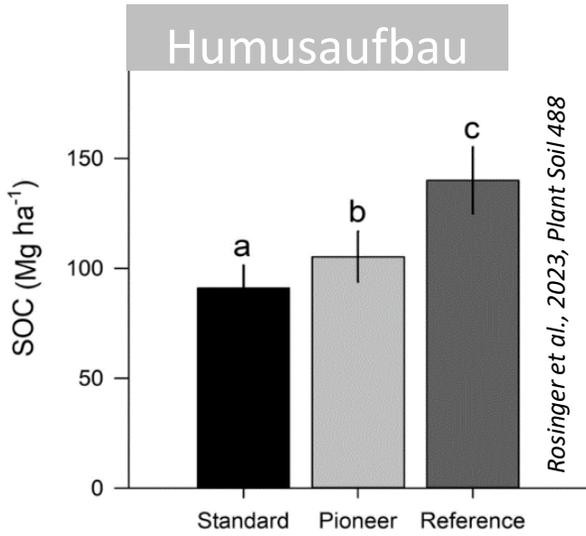


Direktsaat, Immergrün, biodiverse Pflanzengesellschaften, konservierende Landwirtschaft, Dammkultur, Agroforst, Untersaaten, regenerativer Ackerbau, Flächenrotte, Mobgrazing, Planting green,...

Standortvielfalt



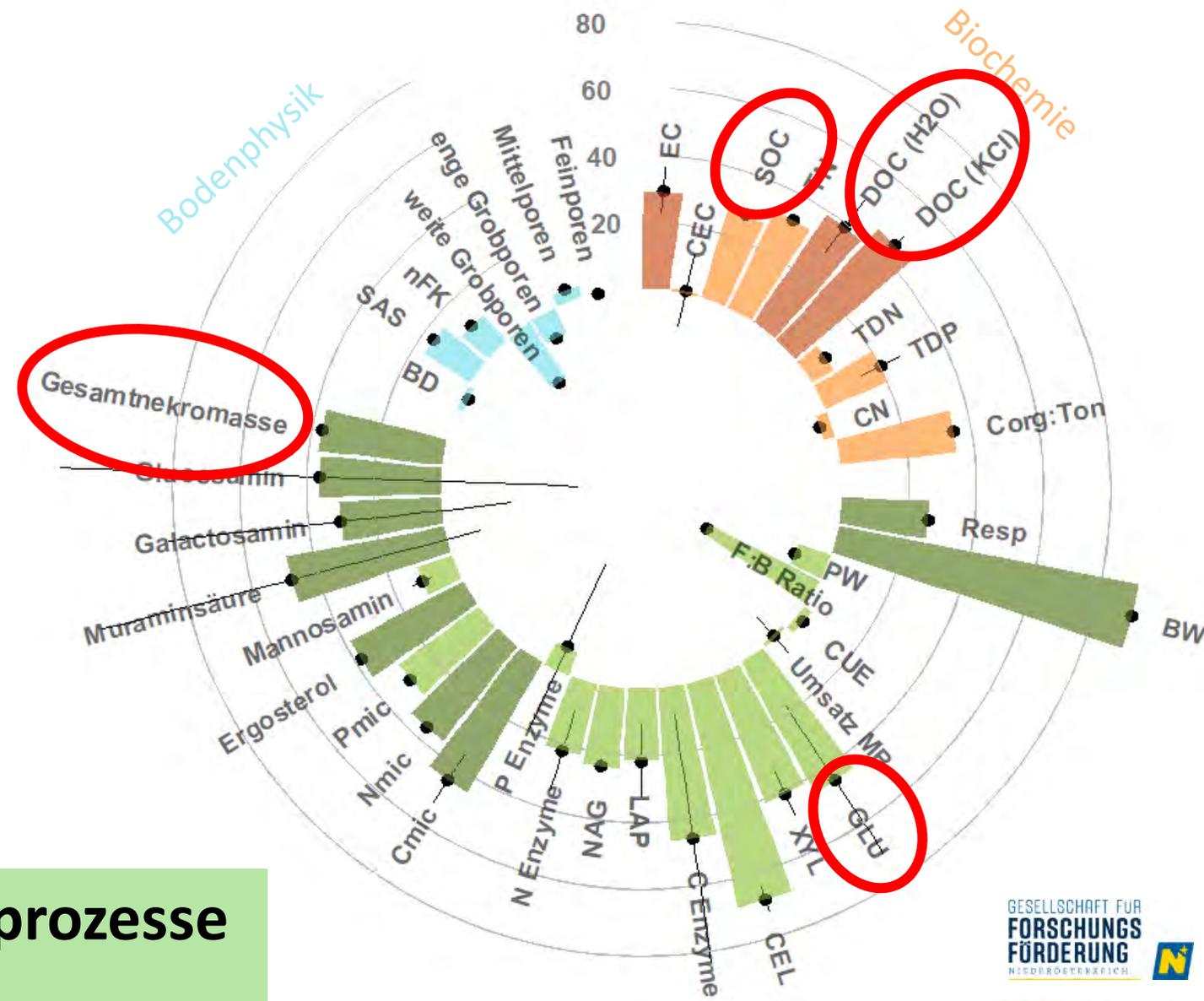
Was kann erreicht werden?



n = 57, $\chi^2 = 6.903$

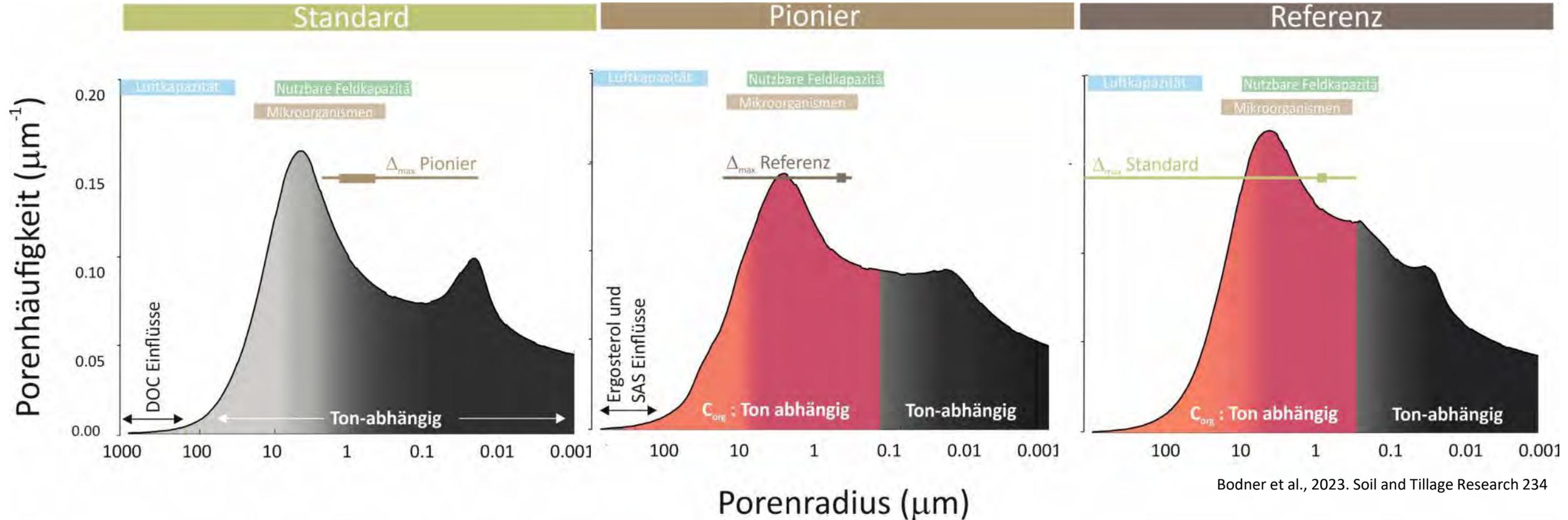
auch Bodenprozesse ändern sich...

Prozentuelle Änderung Standard vs. Pionier



Bodenbiologie

Humusaufbau = Bodenstrukturverbesserung = Wasserspeicherung



- Zunehmende Bedeutung von **Strukturbildung** (v.a. Humus:Ton-Verhältnis) im Porensystem.
- **Stärkste Veränderung** im Bereich von Porengrößen, die als **Habitat für Mikroorganismen** dienen.
- **Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität** zwischen 0,3 % (Tonböden) bis 29,5 % (Sandböden).

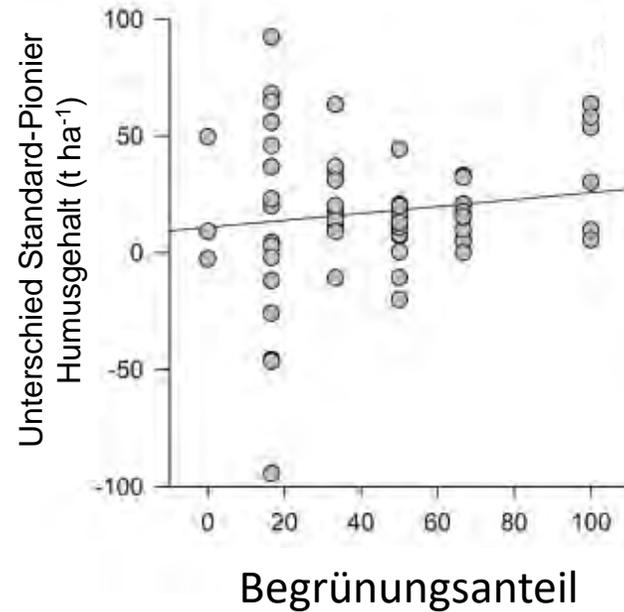
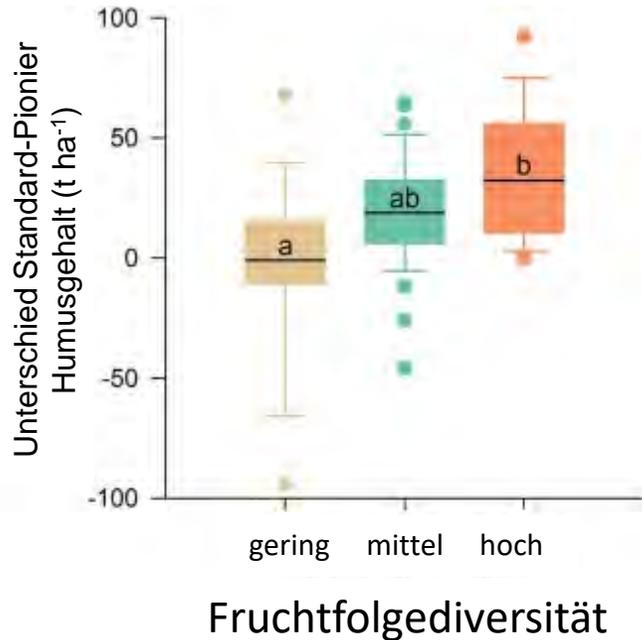
Primärproduktion – der wichtigste Hebel



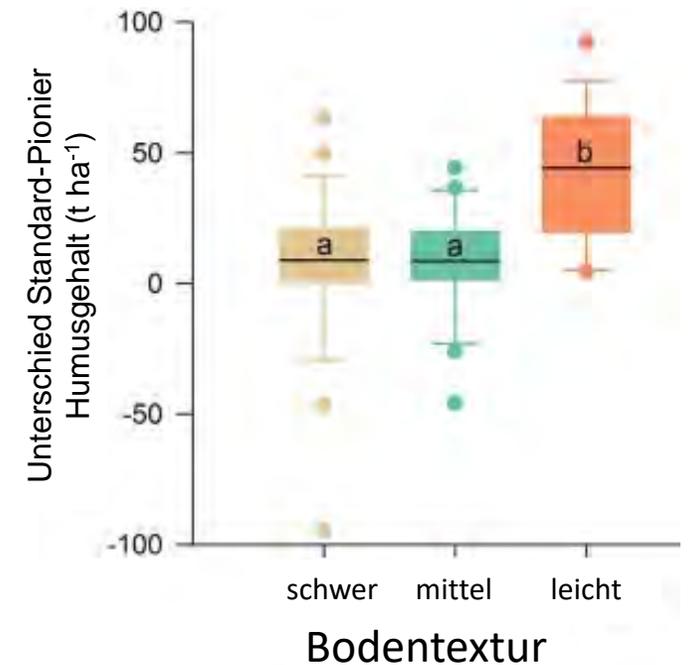
Parameter	Df	F-value	p-value
Intercept	1,45	4.463	0.040
Bodentextur	2,45	19.725	<0.001
Fruchtfolgediversität	2,45	6.458	0.003
Bearbeitungsintensität	2,45	1.600	0.213
Organischer Dünger	2,45	1.202	0.310
Untersaat	4,45	1.762	0.153
Zwischenfrucht	5,45	2.884	0.024

Aber: Standortschicksal??

Management-Hebel



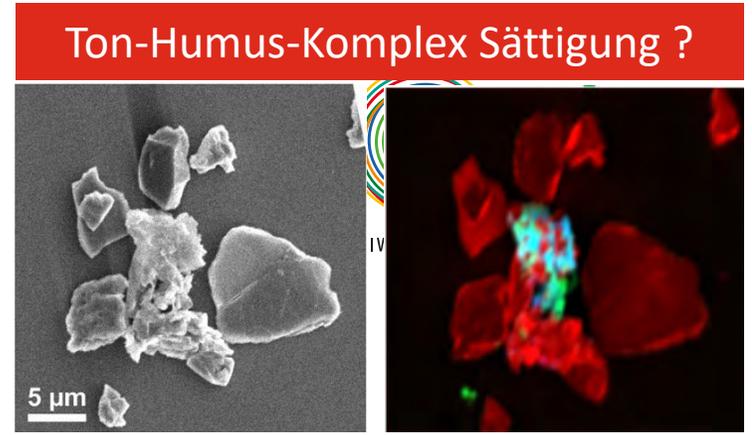
Rosinger et al. 2023, Geoderma 433



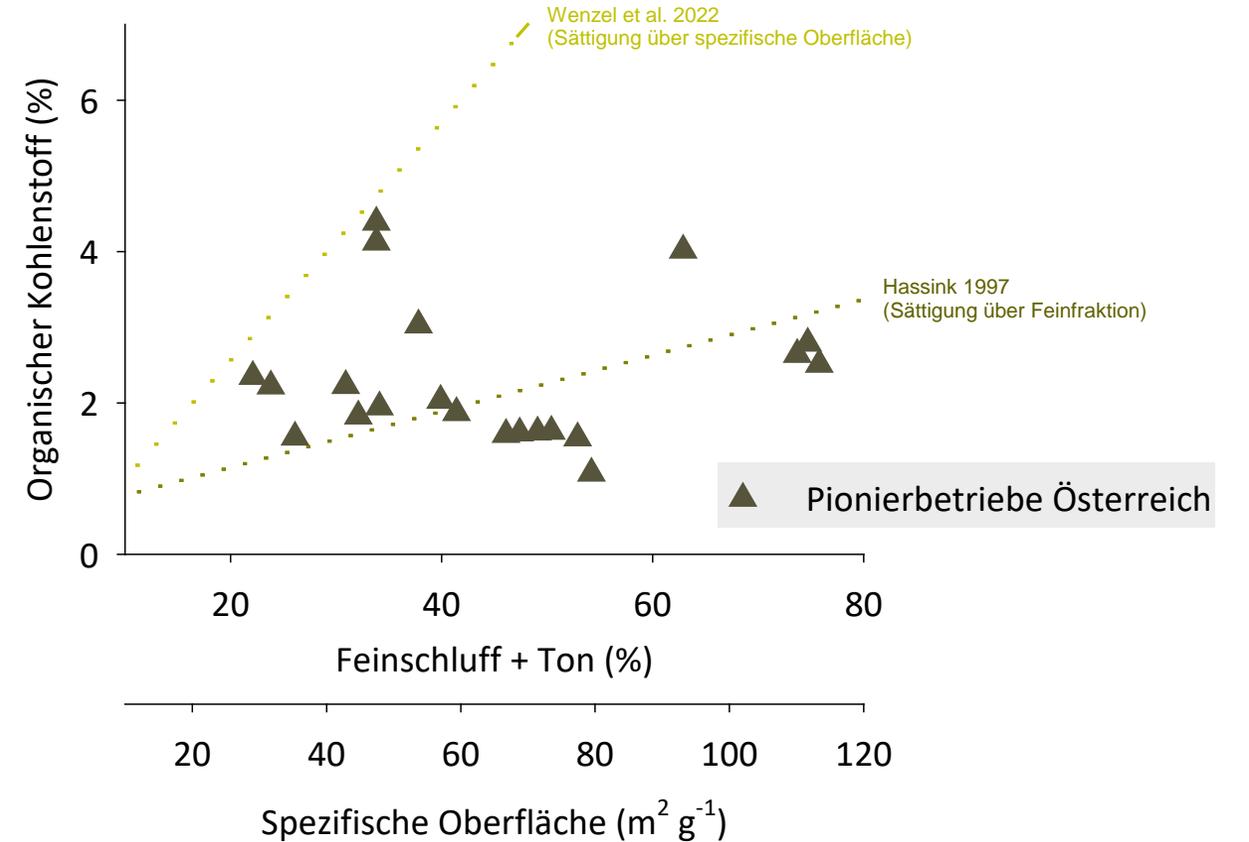
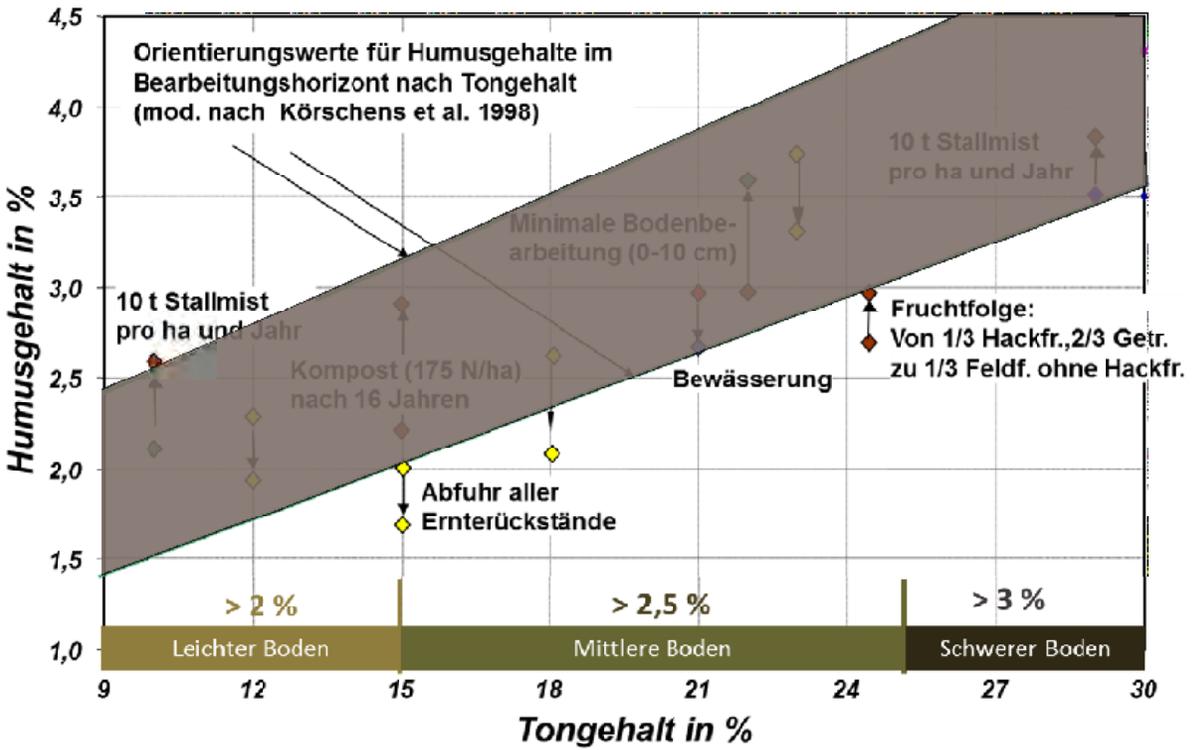
Limitierungen des Humusaufbaus

Grundlage der derzeit unterstellten **Zielhumusgehalte** ist die **Bodenschwere** (Tongehalt).

Damit einher geht die Annahme: Jenseits der Bodenschwere ist der **Managementeffekt gering**.



Bilder aus: Schweizer, et al. (2021) Biogeochemistry, 1-20.



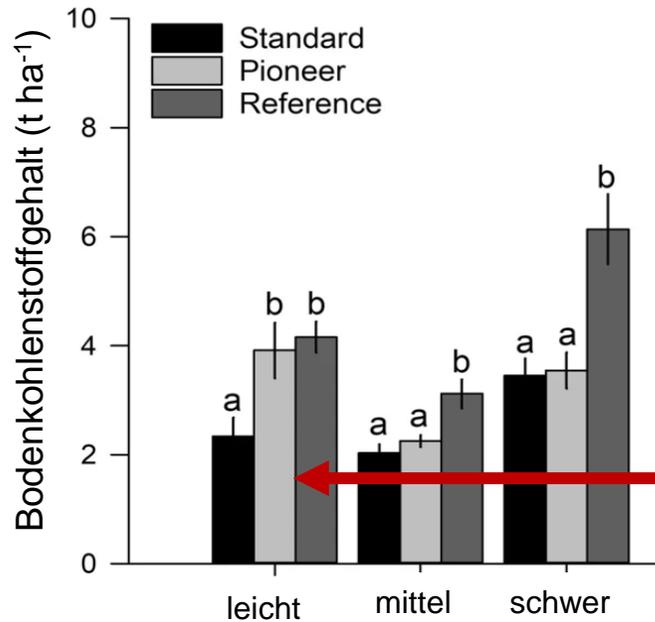
Humussättigung anhand eines praktischen Beispiels



Mittlere „Sättigung“
der Oberflächen 10-
40 % (keine
Vollsättigung!)

- **Abnehmendes Aufbau-/Stabilisierungspotenzial** mit zunehmendem Humusgehalt
- **Sättigungsprozesse komplex und als Zielpotenziale** (z.B: Hessink-Gleichung, natürliche Referenzen) im Ackerbau tendenziell **wenig sinnvoll**.

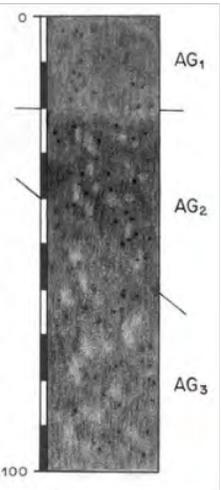
Limitierungen des Humusaufbaus



Aber: auf sandigen Böden nähern sich Pionierbetriebe den natürlichen Referenzen an!

Mehr Humus in Aggregaten gebunden!!

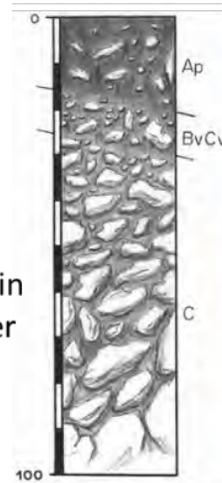
„Schlechte“ Böden reagieren besser. Bodenaufbau folgt bei vielen Parametern einer Sättigungskurve. **Problemböden haben Regenerationspotenzial, gute Böden brauchen Erhaltung und Pflege.**



KONSERVATIVER BODEN

Schwere humusreiche Böden reagieren auf Management-Änderungen nur sehr zögerlich.

In der natürlichen Referenz war ein hoher Anteil wenig/unverwitterter organischer Reste zu beobachten.



REAKTIVER BODEN

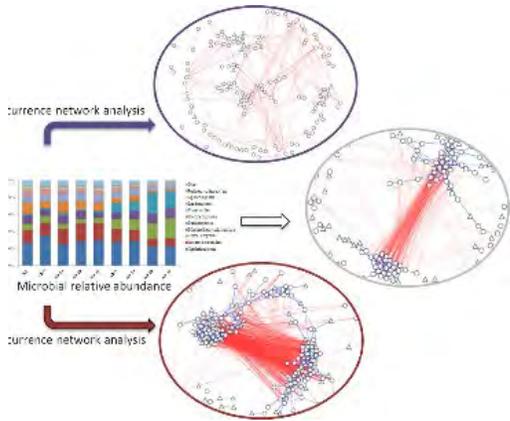
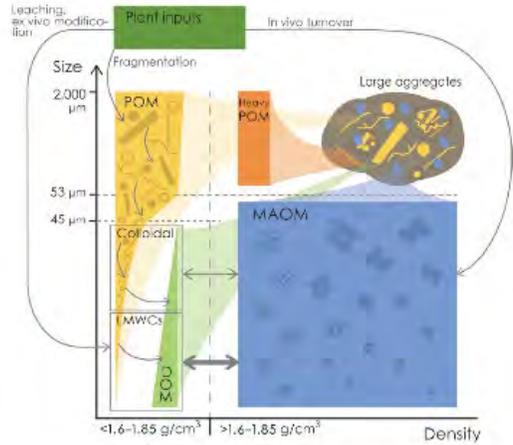
Leichte Böden reagieren schnell auf Management-Änderung (in beide Richtungen).

Wichtig wird der Blick auf die Stabilität der Humusgehalte aufgrund des geringen Tonanteils (u.u. große Rolle der Eisenoxide).

Bodenpioniere 2.0

Wissenschaft

Der Drang alles zu verstehen



Boden.Pioniere

Landwirtschaft

Der Drang alles zu verändern

A group photo of the Boden.Pioniere team standing in front of a building. The photo is overlaid with several logos and text:

- BODEN LEBEN** logo with a leaf and heartbeat symbol.
- b w BODEN.WASSER.SCHUTZ BERATUNG** logo, with the text 'Im Auftrag des Landes OÖ'.
- BOKU UNIVERSITY** logo.
- KOMPETENZZENTRUM MYHUMUS** logo.
- Synergien erkennen** text in a white box.
- Bundesamt für Wasserwirtschaft** logo.
- lk** logo.
- Bio AUSTRIA** logo.
- HUMUS BEWEGUNG** logo.



Fotos: © K. Keiblinger (oben), G. Bodner (unten)

Bilder aus: Price et al. 2021, Sci Tot Env 751; Lavallee et al. 2020, GCB 26

Theorie komplexer Agrarökosystem

Evidenzbasierte Praxisinnovation

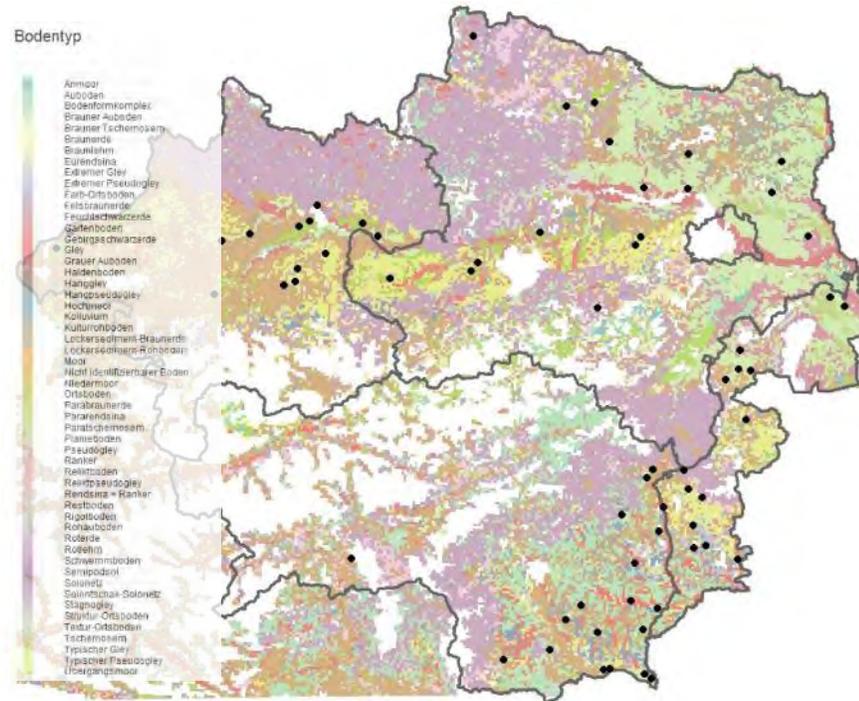
Österreichisches Netzwerk Leuchtturmbetriebe

Innovationsvielfalt



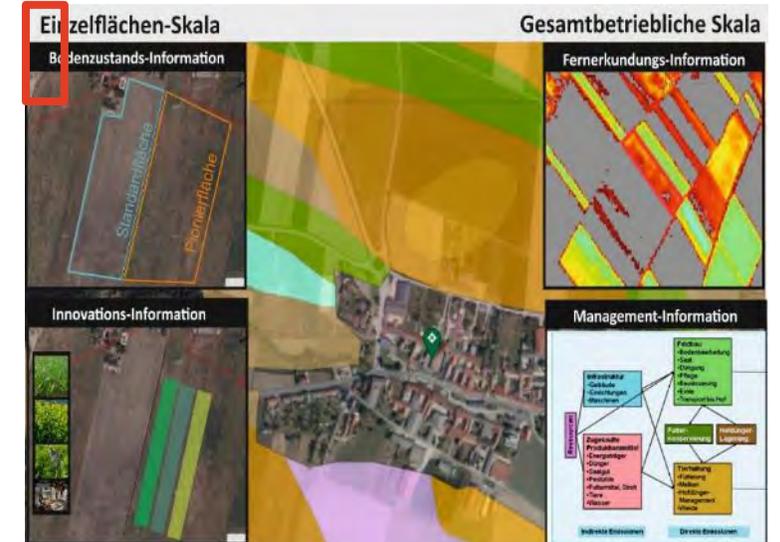
Direktsaat, Immergrün, biodiverse Pflanzengesellschaften, konservierende Landwirtschaft, Dammkultur, Agroforst, Untersaaten, regenerativer Ackerbau, Flächenrotte, Mobgrazing, Planting green,...

Standortvielfalt



80-100 Standorte in verschiedenen pedoklimatischen Zonen und unterschiedlichen Betriebstypen.

Forschungsvielfalt



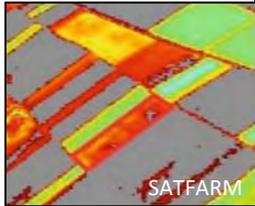
Interdisziplinäre Ansätze um Fortschritte und Wege zu Bodengesundheit und Klimawandelanpassung zu ergründen.

Was wir in den nächsten vier Jahren erreichen wollen



Bodengesundheitspotenziale

Wie weit kommen wir worin mit Pionierackerbausystemen?



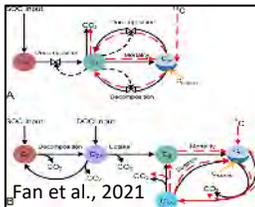
Klimawandelanpassungspotenziale

Befreit ein gesunder Boden vom Witterungsschicksal?



Managementoptimierungspotenziale

Wie lassen sich biologische Funktionen steuern?



Prognosepotenziale

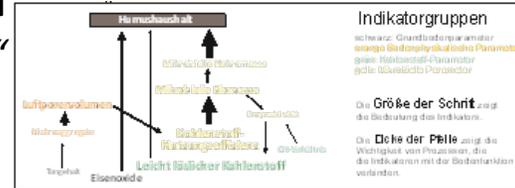
Pioniersysteme als „game changer“?

Wir starten nicht von Null...

Instrument 1

Bodengesundheits-Modell

Bewertung des „Multifunktionalitäts-Erfolges“



Indikatorgruppen
 schwarze: Grundbedingungsparameter
 orange: Bodenphysikalische Parameter
 grün: Nährstoff-Parameter
 gelbe: Mikrobielle Parameter

Die Größe der Schrift zeigt die Bedeutung der Indikatoren.
 Die Dicke der Pfeile zeigt die Wichtigkeit der Parameter, die die Indikatoren mit den Bodenfunktionen verbinden.

BOQU
Bodenqualitätsmodell

Boden.Pioniere2050

Standort

Filter

- Klimaraum:
 - NS < 500 mm
 - NS 500 - 650 mm
 - NS 650 - 800 mm
 - NS > 800 mm
- Bodentyp:
 - Tiefenosem
 - Rechtsschwarze
 - Lössleite mit 10-60 cm Tiefe
 - ...
- Bodentextur:
 - Sand
 - leimige r/Sand
 - Sandiger Lehm
 - ...
- Betriebstyp:
 - Maisfrucht-Mehrkorn
 - Maisfrucht-Organisch
 - Gemischter Betrieb
 - ...

BOQU
Bodenqualitätsmodell

Boden.Pioniere2050

Bodenfunktionen

Mein Standort
 Vergleichswirtschaft

Klimawandelanpassung
 Indikatoren, die diese Funktion steuern.

Humushaushalt
 Indikatoren, die diese Funktion steuern.

Resourceneffizienz
 Indikatoren, die diese Funktion steuern.

Bodenstruktur
 Indikatoren, die diese Funktion steuern.

Biodiversität
 Indikatoren, die diese Funktion steuern.

Splatter
 Satellite-Plattform zur Evaluierung der Resilienz von Pflanzenbeständen

Link zu Sensibel-Appkation für Klimawandelanpassung



BOQU
Bodenqualitätsmodell

Boden.Pioniere2050

Indikatoren für die Bodenfunktion Humusgehalt

Die Reihenfolge entspricht der Bedeutung der einzelnen Indikatoren für die Bodenfunktion

Kohlenstoff-Nutzungseffizienz
 Indikatoren für die Bodenfunktion Humusgehalt

Luftporenvolumen
 Indikatoren für die Bodenfunktion Humusgehalt

Leicht löslicher Kohlenstoff
 Indikatoren für die Bodenfunktion Humusgehalt

BOQU
Bodenqualitätsmodell

Boden.Pioniere2050

Betriebssysteme

Kohlenstoff-Nutzungseffizienz
 Durch Nützlichkeits-Indikatoren ist eine Befreiung von dieser Befreiung möglich.

Betriebsbeschreibung

Bodeneigenschaften: xxx
 Klima: xxx
 Betriebstyp: xxx
 Fruchtfolge: xxx
 Zwischenfrüchte: Arten, Mischungspartner
 Bodenbearbeitungssystem: xxx
 Düngform: xxx



Instrument 2

Fernerkundungs-Modell

Der Link zur Produktionsfunktion

Splatter Boden.Pioniere2050
SatellitenPLATForm zur Evaluierung der Resilienz von Pflanzenbeständen

Standort

Auswahl Feldstück über Karte



Splatter Boden.Pioniere2050
SatellitenPLATForm zur Evaluierung der Resilienz von Pflanzenbeständen

Auswahl des Index mit Erklärung

Auswahl des Zeitraums (ein oder mehrere Jahre)

Indikatoren

- NDVI
Erklärung: xxx
- NDMI
Erklärung: xxx
- RE
Erklärung: xxx
- XXX
Erklärung: xxx

Zeitraum



Splatter Boden.Pioniere2050
SatellitenPLATForm zur Evaluierung der Resilienz von Pflanzenbeständen

Feldstück-Vergleich

Filter

- Bodentyp
- Bodentextur
- Nutzbare Feldkapazität

Mein Feld

Vergleichsfelder



Splatter Boden.Pioniere2050
SatellitenPLATForm zur Evaluierung der Resilienz von Pflanzenbeständen

Feldstück-Vergleich

Mein Feld

Bewertungskriterien

NDVI

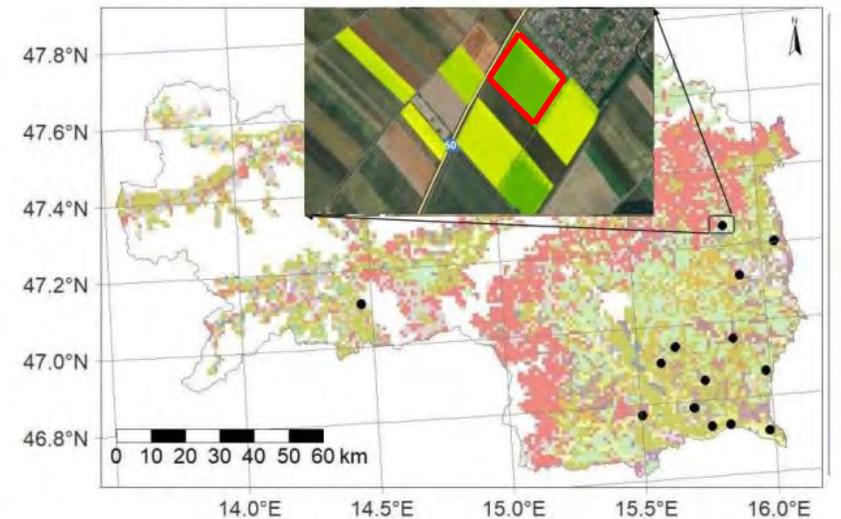
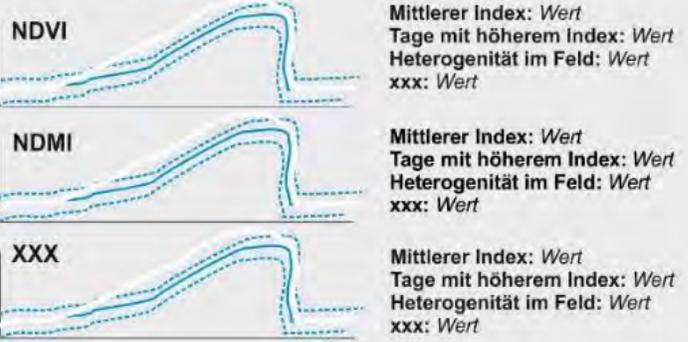
Mittlerer Index: Wert
Tage mit höherem Index: Wert
Heterogenität im Feld: Wert
xxx: Wert

NDMI

Mittlerer Index: Wert
Tage mit höherem Index: Wert
Heterogenität im Feld: Wert
xxx: Wert

XXX

Mittlerer Index: Wert
Tage mit höherem Index: Wert
Heterogenität im Feld: Wert
xxx: Wert



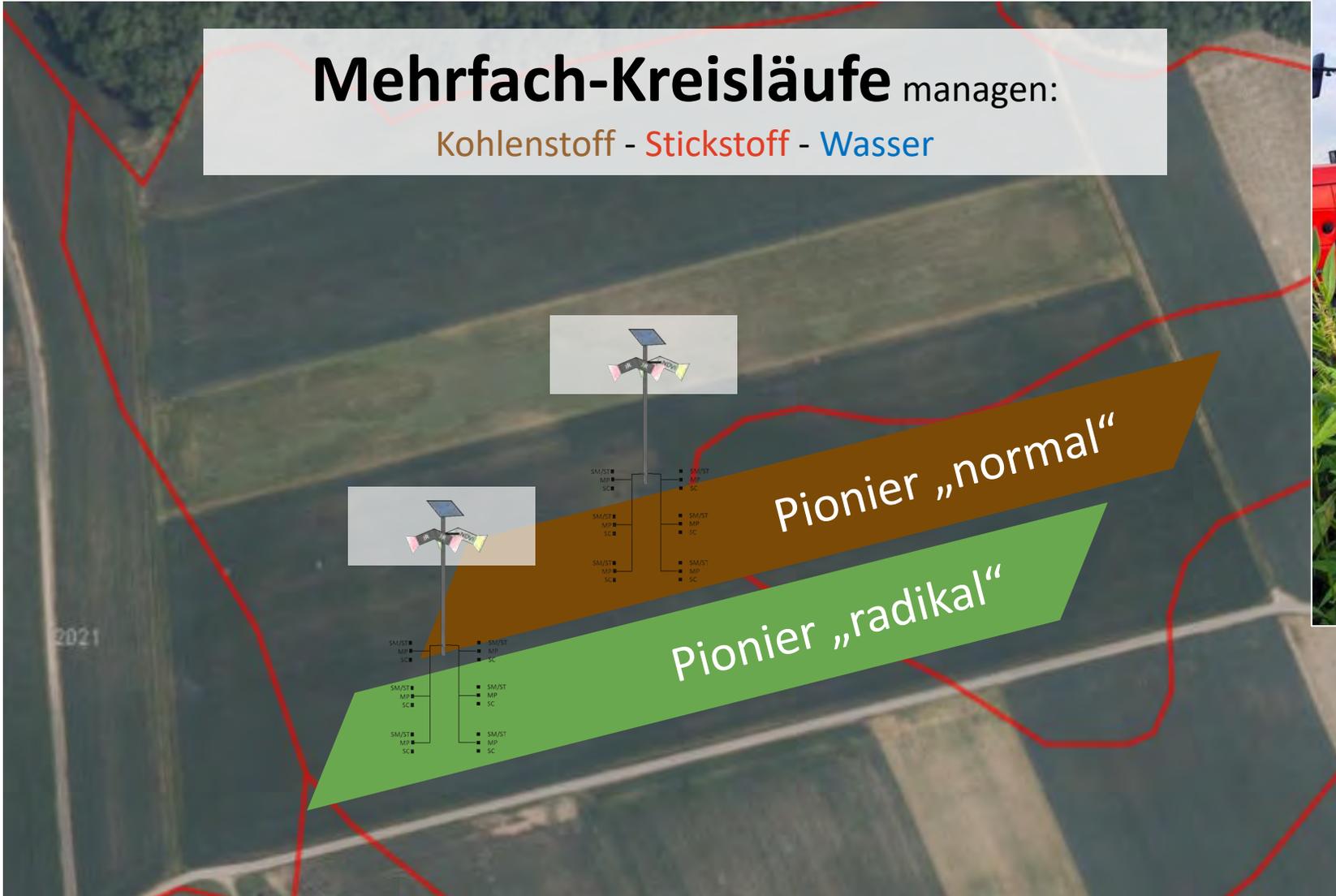
Spezialfragen

Immergrün [im Trockengebiet]

Mehrfach-Kreisläufe managen:
Kohlenstoff - Stickstoff - Wasser

Pionier „normal“

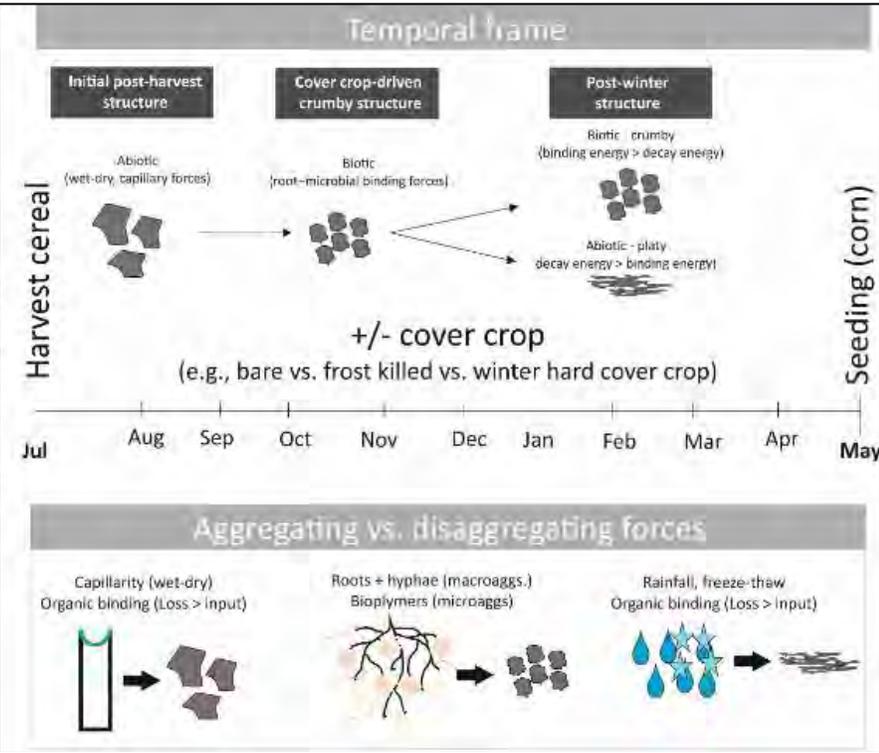
Pionier „radikal“



Spezialfragen *Aufbaustruktur-Management*



Site-specific structural drivers
Texture, Ca (ions), pH



Reicht das „Photosynthese-Investment“, um Krümelstruktur für minimierte Bearbeitung und maximale Regenverdaulichkeit zu schaffen ?

Spezialfragen Spezialsysteme



Flächenrotte

Freiland-Mikrobiologie-Labore
zur Steuerung von Stoffflüssen



Dammkultur



Agroforst

Synergie und Konkurrenz in
Pflanzengesellschaften

Forschungsraum *Leuchtturmbetrieb*



- Für Praktiker*innen
- Für Forscher*innen
- Für Studierende

VIELEN DANK FÜR EURE AUFMERKSAMKEIT!



Christoph Rosinger

Institut für Pflanzenbau

Universität für Bodenkultur Wien

+43 1 47654-91142 oder -95116

christoph.rosinger@boku.ac.at

Disclaimer: Diese Präsentation beinhaltet sekundäre Literatur und darf nicht über den privaten Gebrauch hinaus vervielfältigt werden

