Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft

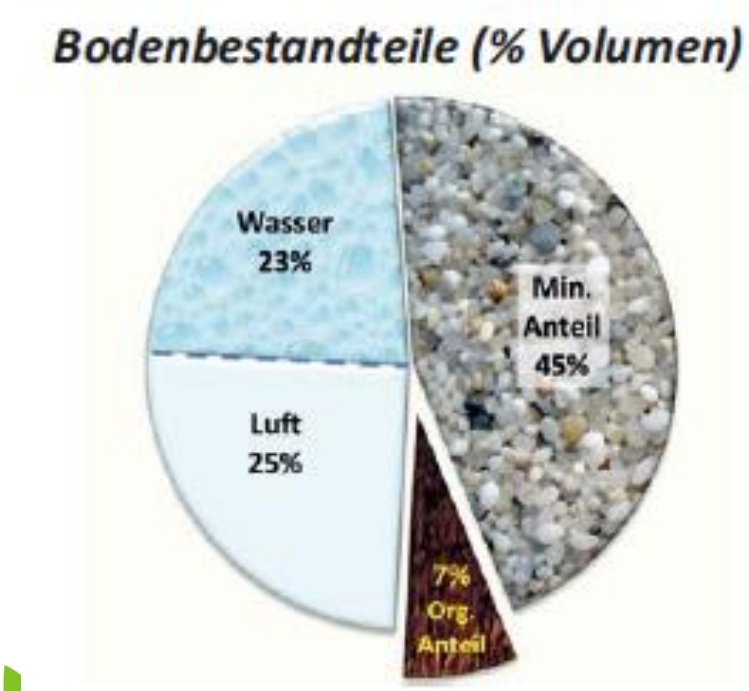
# Klimaschutz durch Humusaufbau - Wie lässt es sich umsetzen? Wo sind die Grenzen?

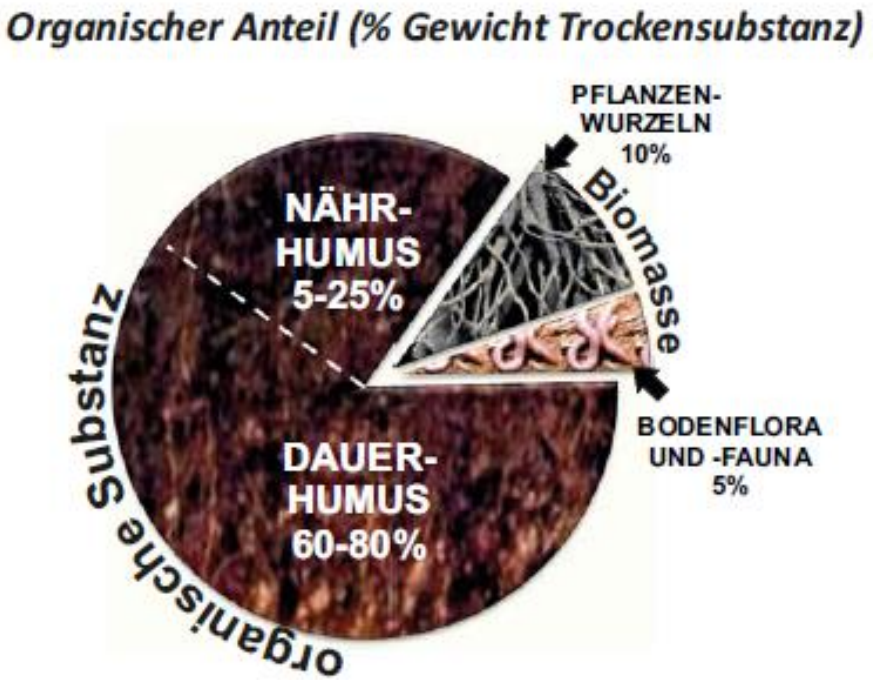
PD Dr. Martin Wiesmeier

Institut für Ökologischen Landbau,
Bodenkultur und Ressourcenschutz
Arbeitsgruppe Humushaushalt und Umwelt-Mikrobiologie

# Was ist Humus?

- **Humus:** unbelebte organische Substanz des Bodens
- **Entstehung:** Zersetzung von Pflanzenresten und Bodenorganismen, Unterteilung in leicht abbaubaren Nährhumus und stabileren Dauerhumus



# Humushaushalt

**Eintrag organischer Substanz** ⟷ **Fließgleich-gewicht** ⟷ **Abbau organischer Substanz**

Bestandsabfall, Ernterückstände, Stroh, Wurzeln, Rhizodeposition

org. Dünger

mikrobieller Abbau

Erosion, Auswaschung

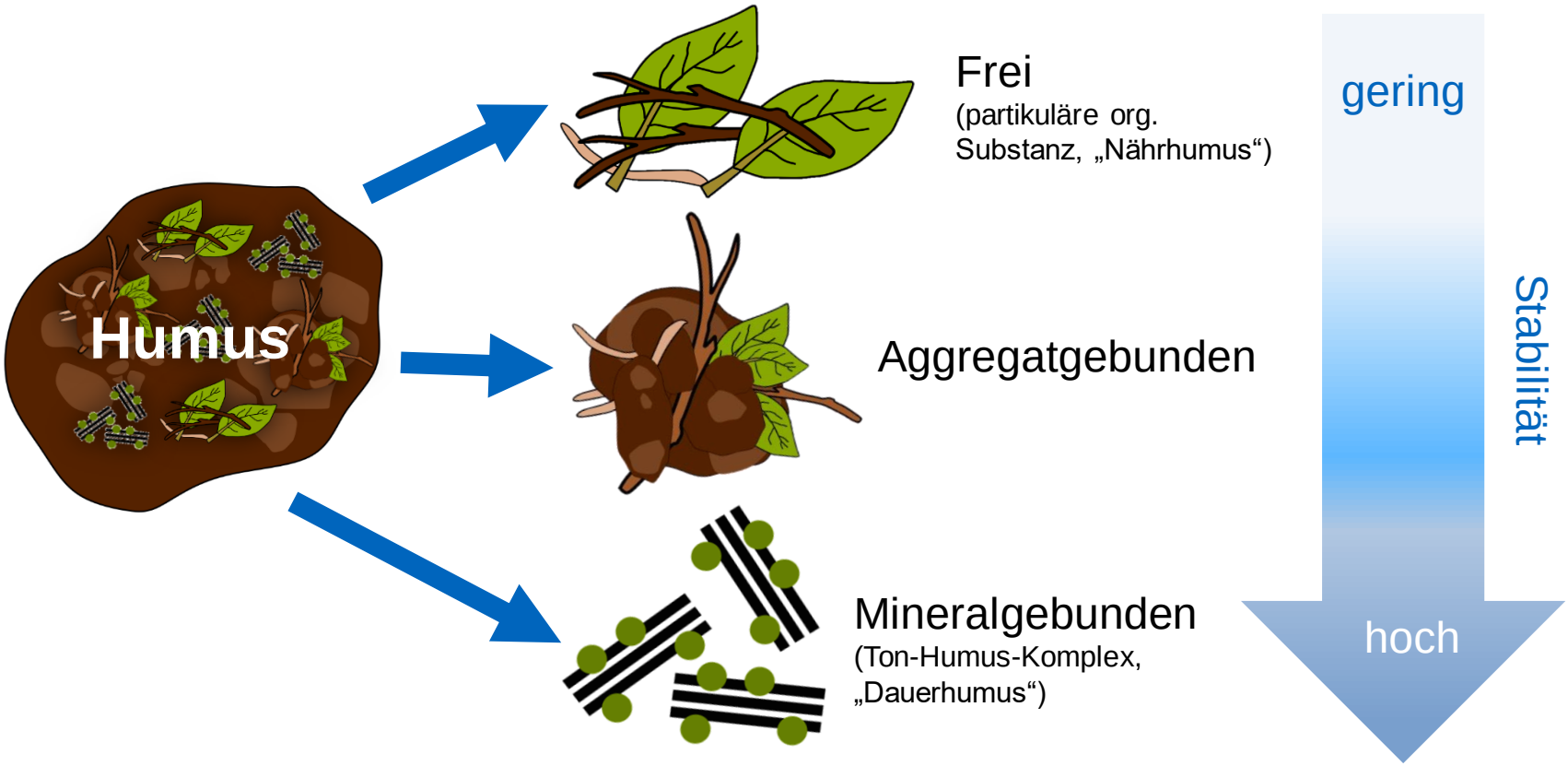


LfL Agrarökologie

Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

# Stabilisierung der organischen Substanz

- Humus wird durch verschiedene Prozesse gegen mikrobiellen Abbau geschützt:

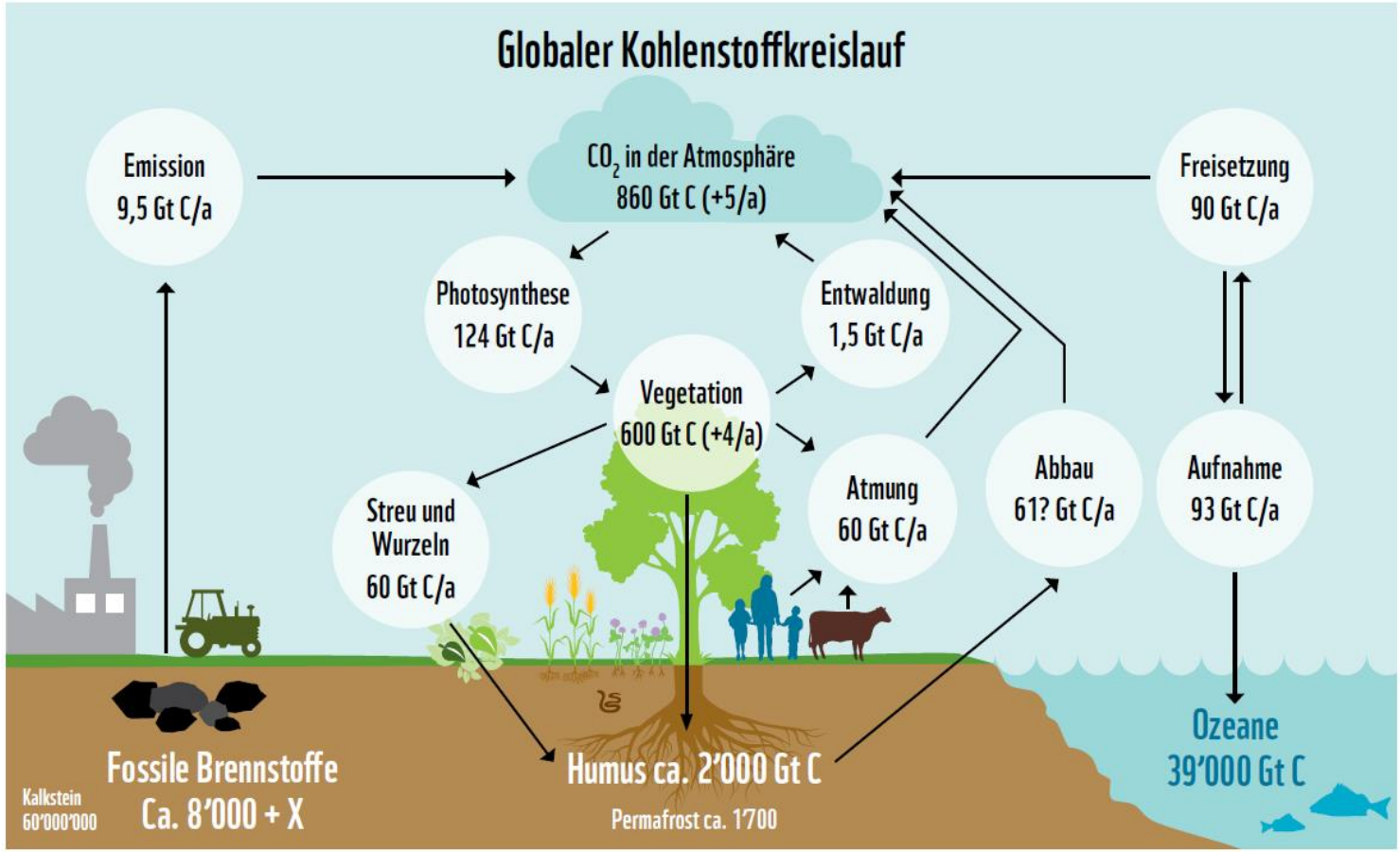


# Humus als Schlüsselkomponente für Bodenfunktionen

- Lebensraum und Nahrungsquelle für Pflanzen, Bodentiere und Mikroorganismen
- Reinigung und Speicherung von Wasser
- Regulierung des Wärmehaushalts
- Stabilisierung der Bodenstruktur, Erosionsschutz
- Nährstoffspeicherung und -nachlieferung

# Humus als Schlüsselkomponente für Bodenfunktionen

- Speicherung von Kohlenstoff (C) und Klimaregulierung: Humus besteht zu 58% aus Kohlenstoff, größter terrestrischer C-Speicher der Erde!

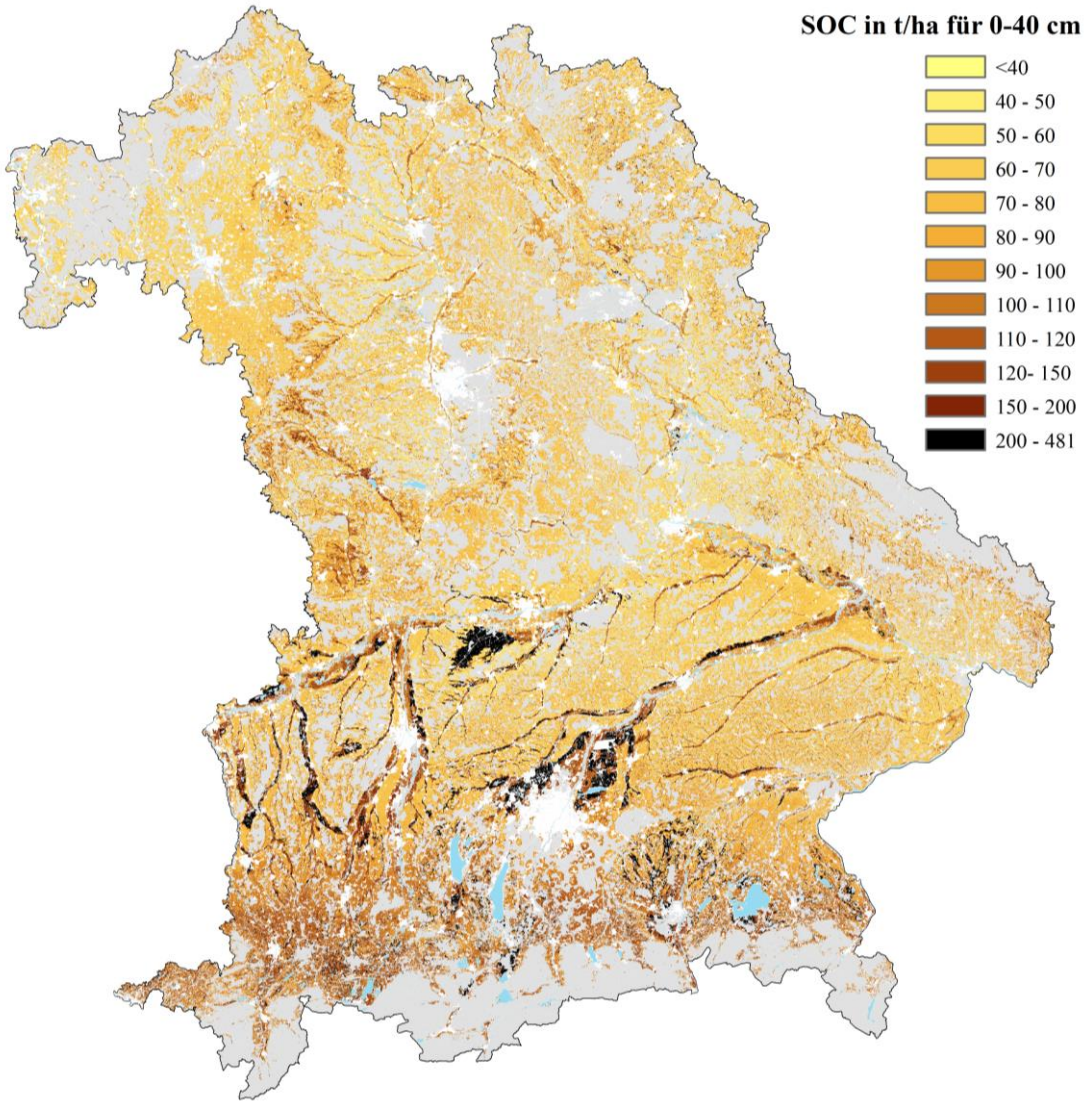



Quelle: WWF, 2019

# Humuskarte Bayern

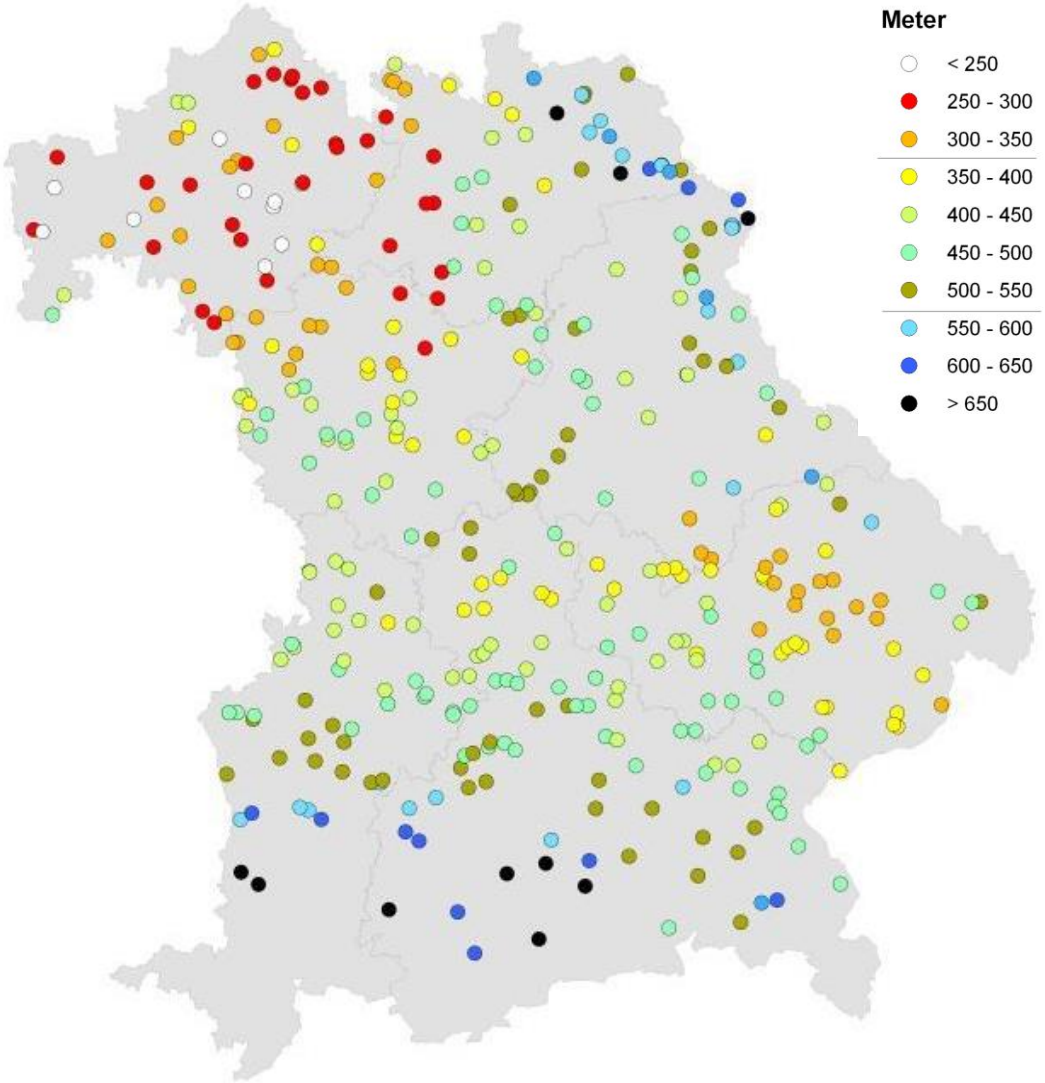
- Erstellung einer Corg-Vorratskarte (0-40 cm, 786 Bodenprofile)
- Erklärende Faktoren: Bodeneigenschaften, Klima, Topographie, Landnutzung (historisch+aktuell)

| | Corg (kg/m²) | Corg (Mt) |
|---|---|---|
| Acker | 7,8 | 158 |
| Grünland | 11,1 | 117 |
| **Gesamt** | | **275** |



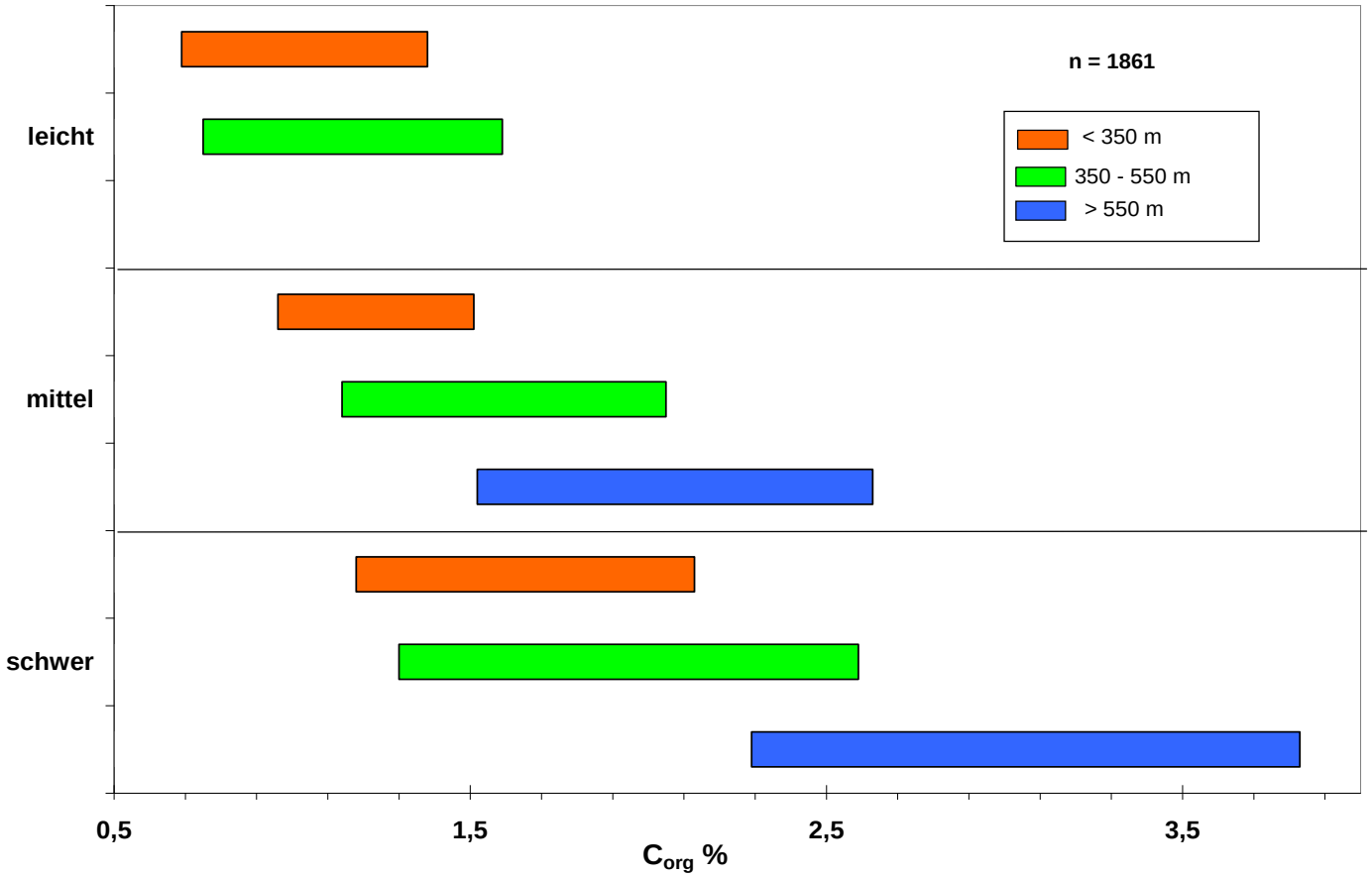
# Standorttypische Humusgehalte: Humusdatenbank

- Aufbau HDB ab 2001 zusammen mit AELF zur Umsetzung des §17 BBodSchG (standorttypische Humusgehalte)
- Schläge: Bewirtschaftung nach der guten fachlichen Praxis (keine extreme hinsichtlich Fruchtfolge, org. Düngung etc.)
- 347 Schläge (266 konventionell, 81 ökologisch), Beprobung alle 10 Jahre (2001/08, 2011/18)



# Humusdatenbank Corg-Gehalte

- Die Corg-Gehalte werden vor allem durch die Bodenart und das Klima (Meereshöhe) bestimmt

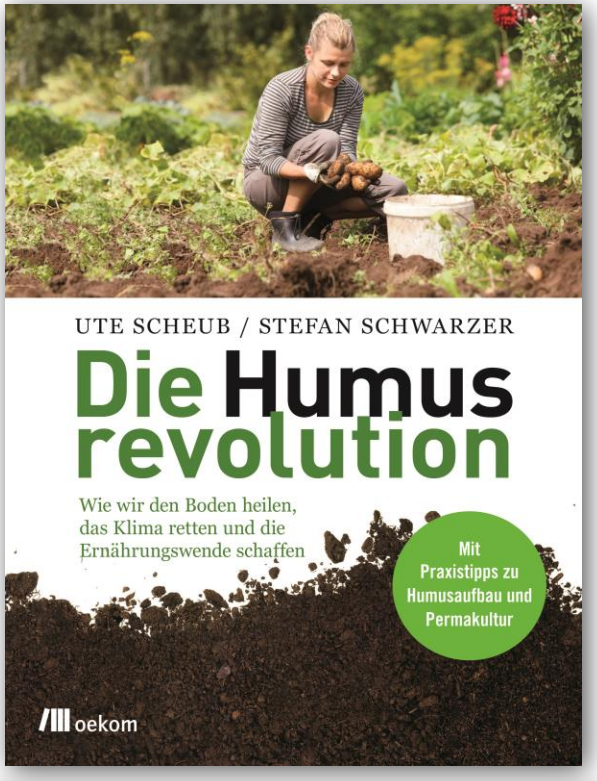


# Standorttypische Humusgehalte

- Ableitung standorttypischer Spannweiten von Corg-Gehalten in Abhängigkeit von der Bodenart und dem Klima (Höhenlage)

| Bodenart | Höhe m | $C_{org}$ % | $N_t$ % | $C_{org}$ / $N_t$ |
|---|---|---|---|---|
| **leicht** | < 350 | 0,7 - 1,4 | 0,06 - 0,12 | 10,4 - 12,6 |
| | 350-550 | 0,8 - 1,6 | 0,07 - 0,14 | |
| **mittel** | < 350 | 1,0 - 1,5 | 0,09 - 0,15 | 9,6 - 11,3 |
| | 350-550 | 1,1 - 2,1 | 0,11 - 0,19 | |
| | >550 | 1,5 - 2,6 | 0,15 - 0,24 | |
| **schwer** | < 350 | 1,2 - 2,1 | 0,12 - 0,22 | 9,2 - 10,8 |
| | 350-550 | 1,3 - 2,6 | 0,13 - 0,25 | |
| | >550 | 2,3 - 3,8 | 0,23 - 0,40 | |

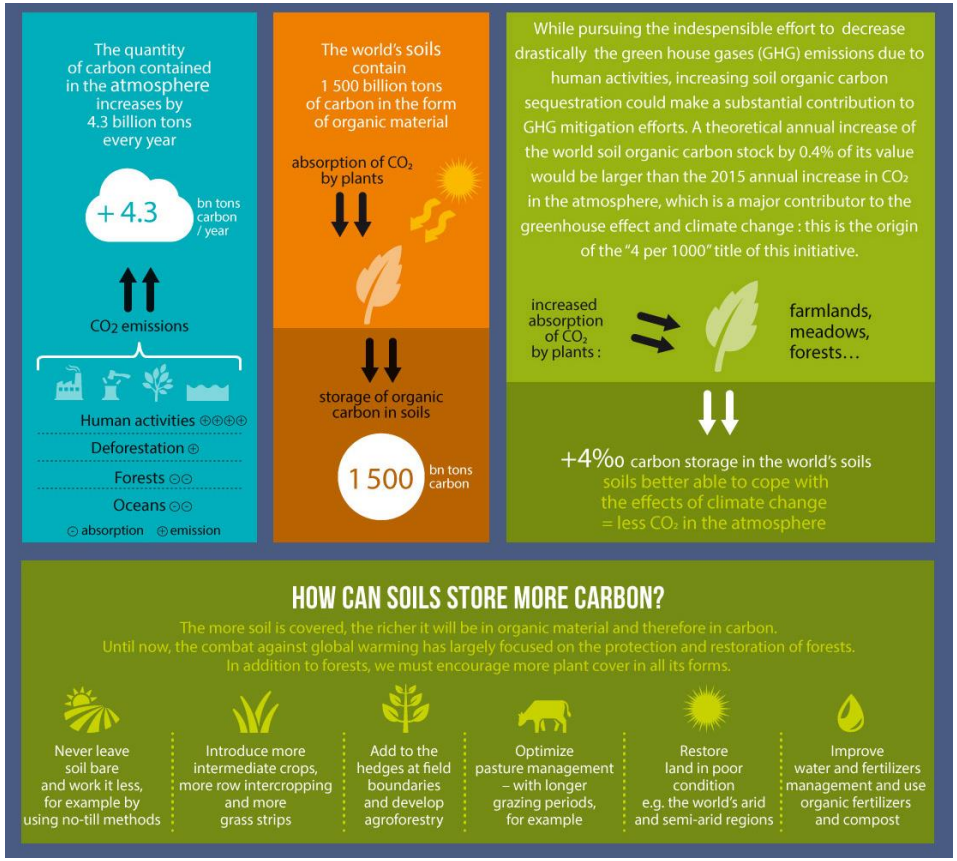
# Humusaufbau im Brennpunkt



LfL Agrarökologie

# 4-Promille-Initiative

- 4-Promille-Initiative: Steigerung der globalen SOC-Vorräte um 4‰ pro Jahr würde steigende $CO_2$-Emissionen ausgleichen (www.4p1000.org)

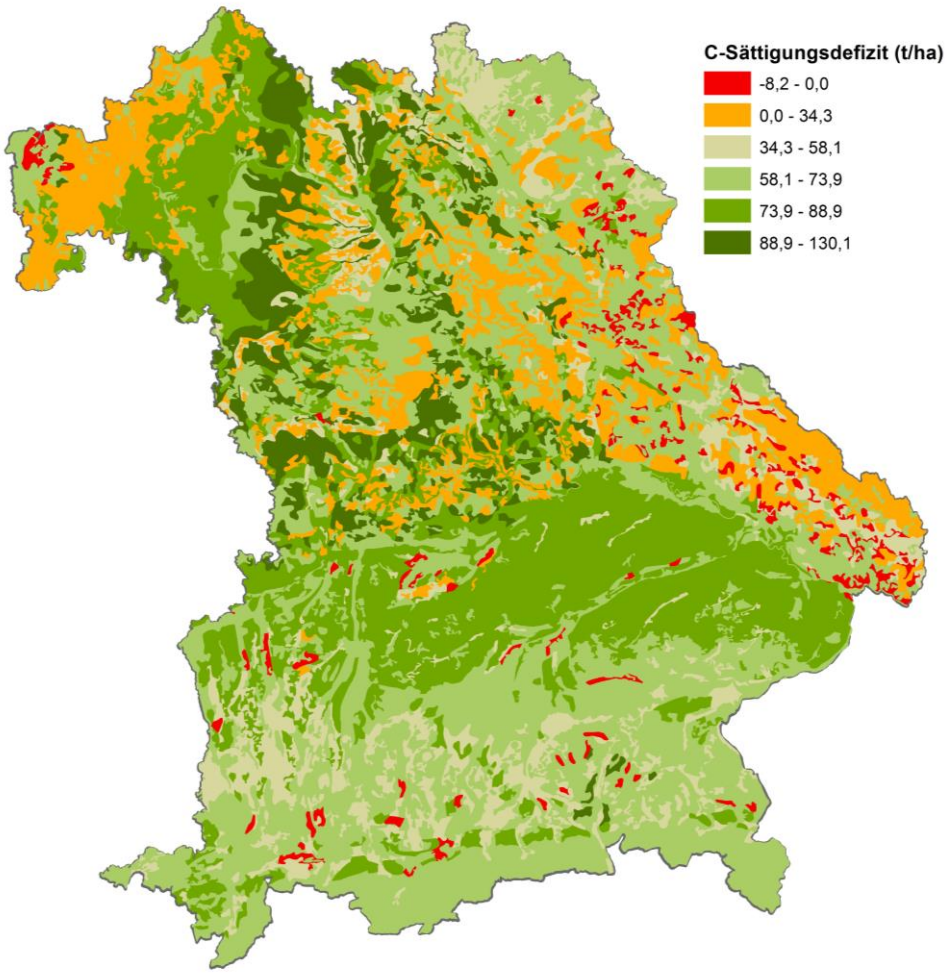



4 PER 1000
SOILS FOR FOOD SECURITY AND CLIMATE

# C-Speicherkapazität bayerischer Böden

- Begrenztes SOC-Speicherpotential, abhängig vom Anteil Mittel- und Feinschluff+Ton <20 µm (Hassink 1997)
- Ackerböden im Mittel nur zu 50% C-gesättigt, Grünland zu 73%
- Insgesamt können zusätzlich 108 Mt C gespeichert werden (35 t $ha^{-1}$)

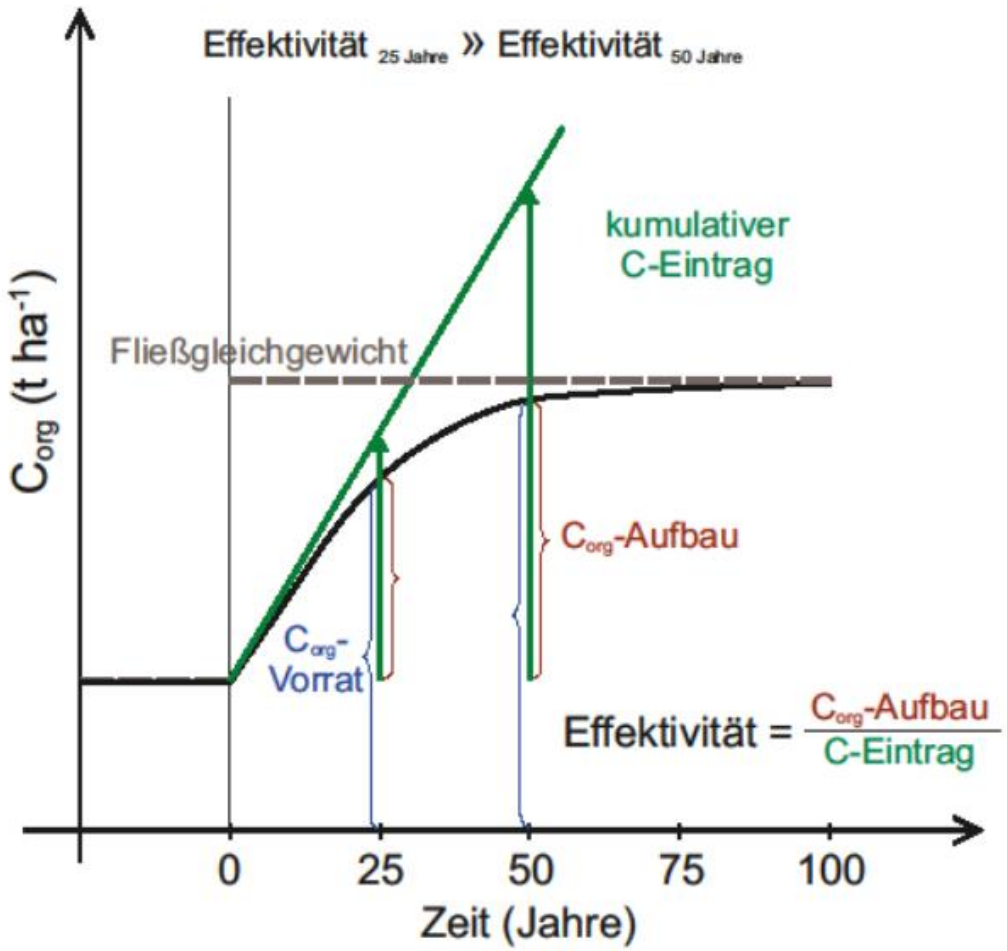
**→ Humusaufbau ist nahezu flächendeckend in Bayern möglich**




Wiesmeier et al., 2017

# Effektivität des Humusaufbaus

- Humusaufbau zeitlich begrenzt, nach gewisser Zeit wird neues Fließgleichgewicht erreicht, Effektivität des Humusaufbaus nimmt mit der Zeit ab




Wiesmeier et al., 2020b

# Maßnahmen zum Humuserhalt und -aufbau

- Ein- oder mehrjähriger Futterleguminosen (Luzerne, Kleegras, etc.)
- Körnerleguminosen
- Zwischenfrüchte (möglichst tiefwurzelnd)
- Mischkultursysteme und Untersaaten
- Dauerkulturen, tiefwurzelnde Kulturen
- Ökolandbau
- Landnutzungswechsel zu Grünland
- Grünlandmanagement
- Agroforst-Systeme, Hecken, Feldgehölze
- Pflanzenkohle
- organische Dünger (Gülle, Mist, Kompost, Gärreste; unter Berücksichtigung der Nährstoffbilanzen)

C-Sequestrierungsrate
0,2-0,7 t C $ha^{-1}$ $a^{-1}$
≙ 0,7-2,6 t $CO_2$ $ha^{-1}$ $a^{-1}$

LfL Agrarökologie

# Szenario Ausweitung Zwischenfruchtanbau Bayern

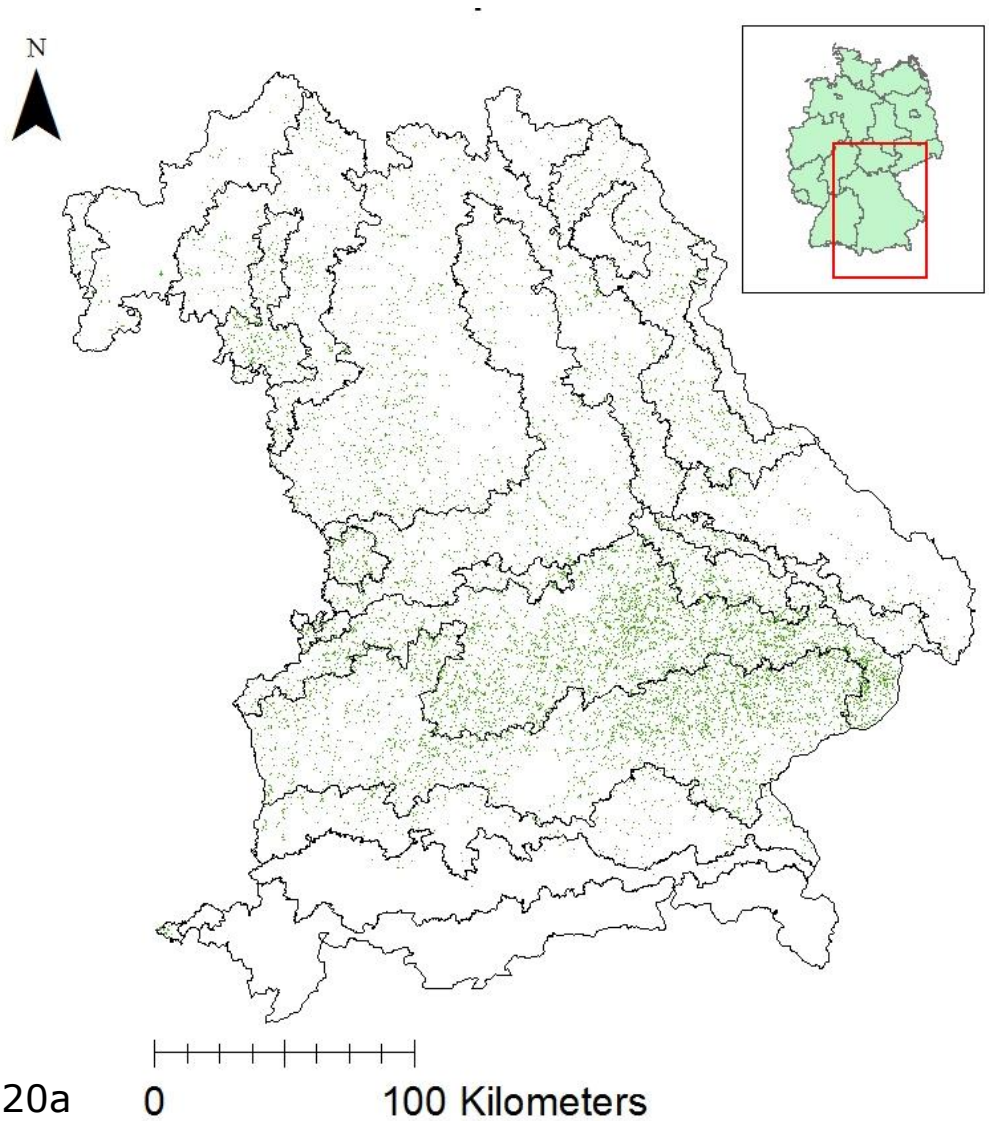
- **Zwischenfruchtanbau**: Ausweitung auf 29% der Ackerfläche Bayerns möglich (559.000 ha):

→ **Cseq = 0,32 t C/ha/Jahr**

→ **ca. 180.000 t C/Jahr**

≙ **660.000 t $CO_2$/Jahr**

≙ **$CO_2$-Emissionen von 83.100 Personen/Jahr**




Wiesmeier et al., 2020a

# Szenario Agroforstwirtschaft Bayern

- **Agroforstsysteme**: Implementierung von Agroforstsystemen auf 5% der landw. genutzten Fläche (159.000 ha)

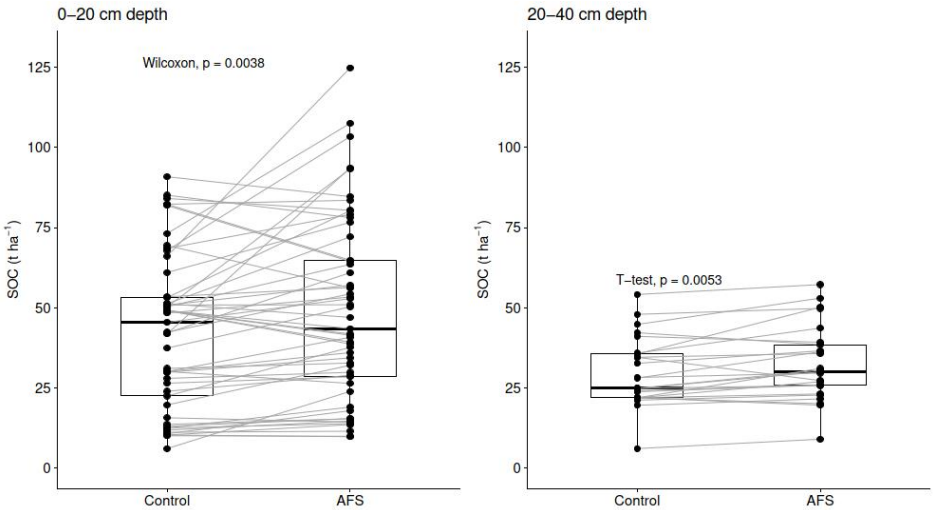
Foto: R. Hübner

→ **Cseq = 0,68 t C/ha/Jahr**

→ **ca. 108.000 t C/Jahr**

≙ **400.000 t $CO_2$/Jahr**

≙ **$CO_2$-Emissionen von 50.000 Personen/Jahr**



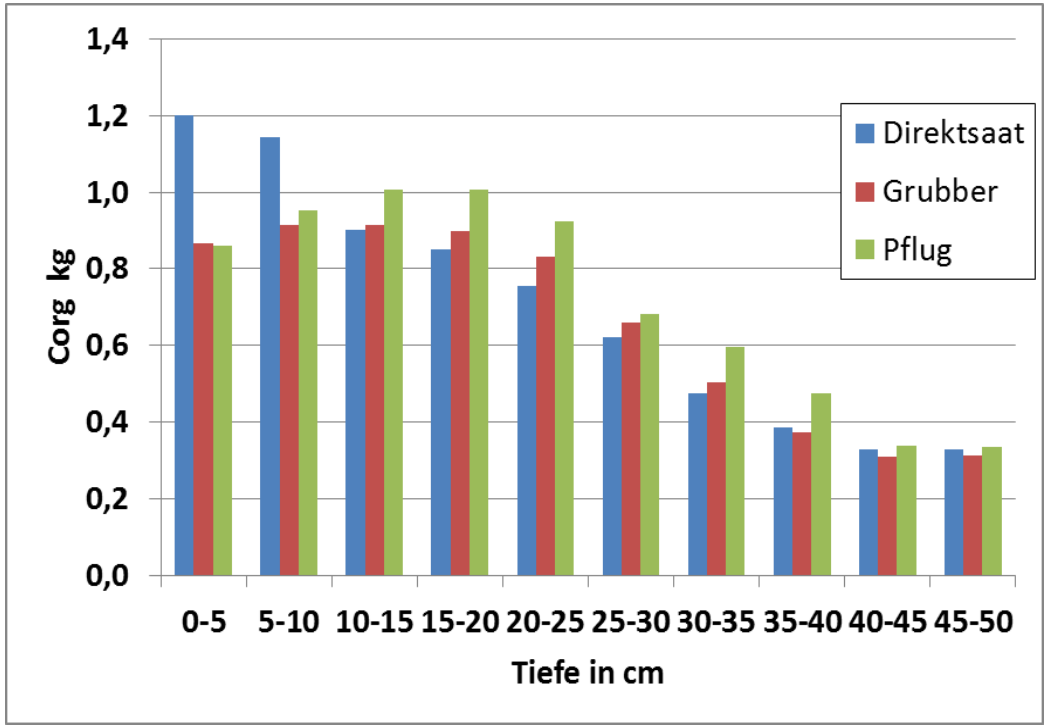

Mayer et al., 2022

# Humusaufbau durch verminderte Bodenbearbeitung?

- Auswirkung der Bodenbearbeitung auf Humus: 25-jähriger Versuch (1992-2017) in Puch, Vergleich Direktsaat, Grubber, Pflug

- Direktsaat vs. Pflug: erhöhte SOC-Vorräte in den obersten 10 cm, verringerte SOC-Vorräte in tieferen Bereichen

- Verminderte Bodenbearbeitung führt lediglich zu einer Umverteilung von Humus im Boden, Pflugeinsatz wirkt nicht humuszehrend

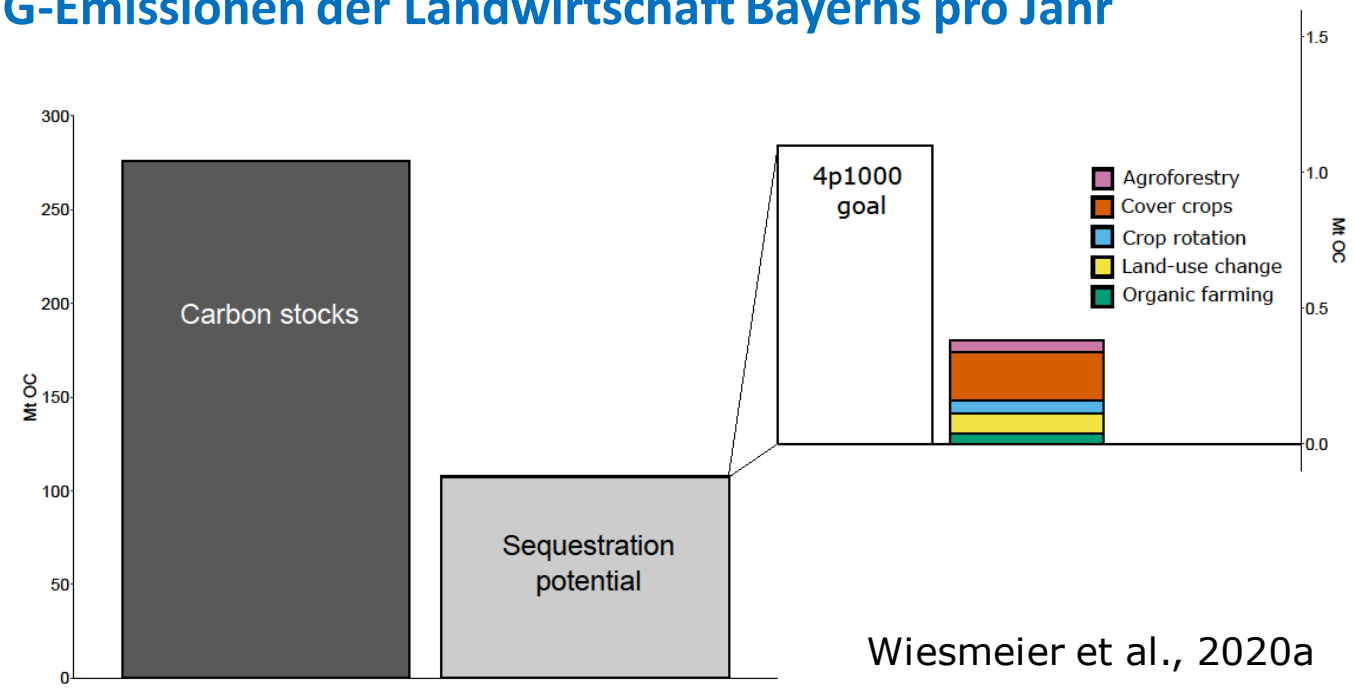



LfL Agrarökologie

# Humusaufbaupotential Bayern

→ Insgesamt Humusaufbau von ca. 300.000-400.000 t C/Jahr möglich

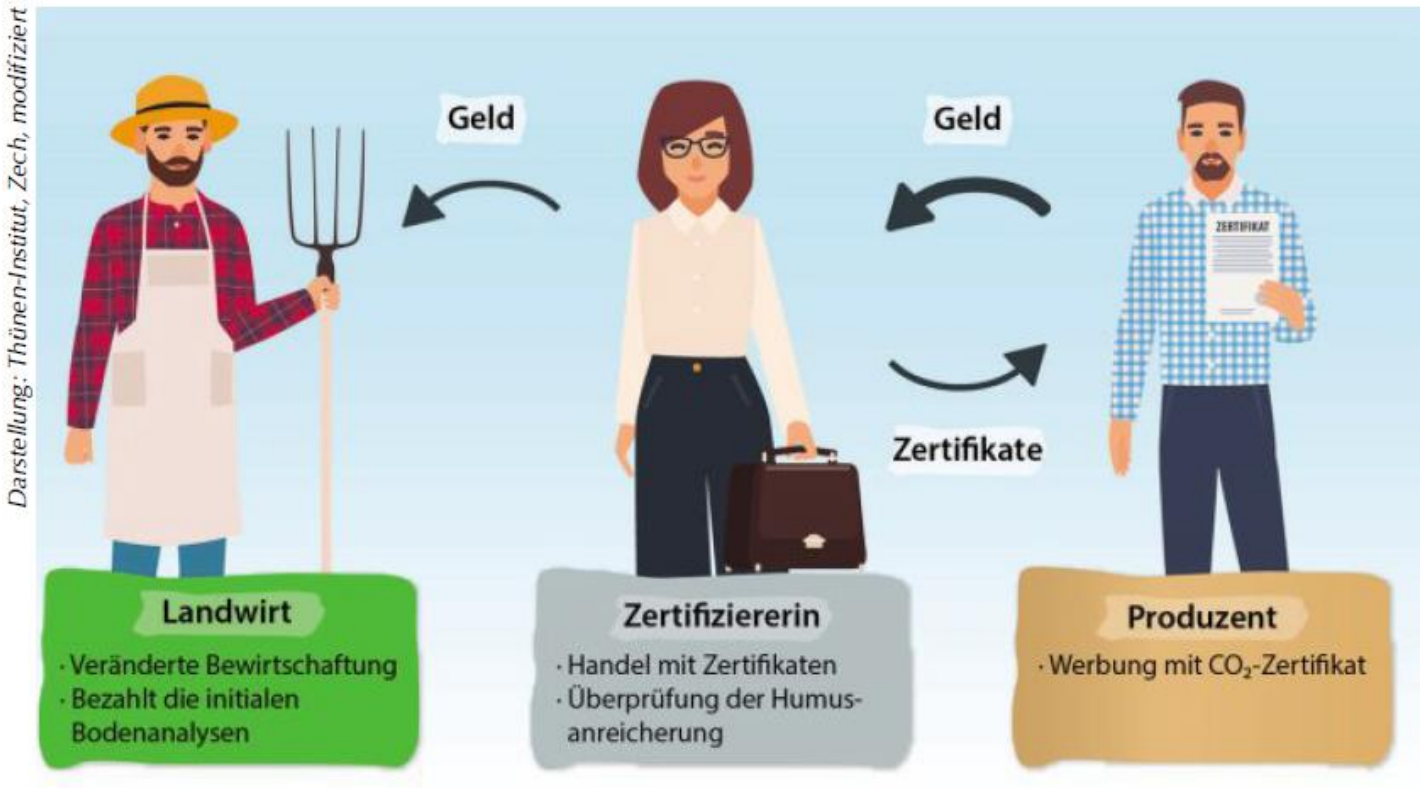
≙ ca. 1‰ der Humusvorräte
≙ 1,1-1,5 Millionen t $CO_2$
≙ ca. 1,5% der Gesamt-THG-Emissionen Bayerns pro Jahr
≙ $CO_2$-Emissionen von ca. 140.000-190.000 Personen pro Jahr
≙ ca. 7% der THG-Emissionen der Landwirtschaft Bayerns pro Jahr




Wiesmeier et al., 2020a

# Humuszertifikate

- Humuszertifikate als privates Förderinstrument für Humusaufbau und Klimaschutz




Don & Flessa, 2021

# Humuszertifikate

Quelle: www.oekoregion-kaindorf.at

# Humuszertifikate

CarboCert
für lebendige Böden

Aktuelle Dürre
Pro Prozent mehr Humus pro ha. werden ca. 400 m³ mehr Wasser gespeichert.

START | HUMUSZERTIFIKATE | BODENUNTERSUCHUNG | INFOS | NEWS | SHOP | KONTAKT | SCHWEIZ

## Bier wird über CarboCert CO2 neutral gestellt

*Abendzeitung München | 16.09.2019*

### Jetzt gibt's klimafreundliches Wiesn-Bier

München - In Berlin wird ja derzeit hart um ein Maßnahmenpaket für den Klimawandel gerungen, bis zum Freitag will die Große Koalition ihre Vorschläge beisammen haben. In München beginnt einen Tag später das Oktoberfest – und hier ist Klimaschutz heuer auf ganz unpolitische Art und Weise möglich: Beim Biertrinken. Klimaschutz im Bierzelt quasi.
Oktoberfest mit CO2-neutralem Wiesnbier

Denn erstmals wird es auf der Wiesn klimaneutral hergestelltes Bier geben: Und zwar im Hofbräu-Festzelt und allen Festbetrieben, die HB-Bier ausschenken (Schönheitskönigin, Weißbierkarussell Fahrenschon und die Weißbieralm). "Hofbräu hat bereits 2010 angefangen, seinen C02-Fußabdruck wissenschaftlich komplett zu messen, und zwar vom Acker bis zum Glas", erklärte Brauereichef Michael Möller am Montag bei der Vorstellung des Konzepts.

Quelle: www.carbocert.de

# Humuszertifikate

- **Kriterien für die Bewertung von Humuszertifikaten:**

1. Methodische Anforderungen (Probenahme, Analytik, Corg-Vorratsberechnung)
2. Zusätzlichkeit
3. Verschiebungseffekte
4. THG-Emissionen
5. Reversibilität/Permanenz

Wiesmeier et al., 2020b & 2021

# Humuszertifikate: methodische Anforderungen

- **Probenahme:**
- repräsentativ
- identische Standorte bei Wiederbeprobung
- Beprobungstiefe = Bodenbearbeitungstiefe
- zeitlicher Abstand zu Bodenbearbeitung und Düngung (mind. 6 Wochen, optimal im Frühjahr)

- **Analytik**
- Bestimmung von Corg-Vorräten: (wiederholte) Bestimmung von Corg-Gehalten und Lagerungsdichte (Abschätzungen zu ungenau!)

Foto: J. Zimmer

# Humuszertifikate: Zusätzlichkeit

- **Berücksichtigung des Kriteriums der Zusätzlichkeit:**

- Humusaufbau sollte über Maßnahmen erfolgen, die allein über die Zertifikate motiviert sind (keine Doppelförderungen)

- Keine Honorierung von Maßnahmen, die im Rahmen der guten fachlichen Praxis ohnehin erfolgen

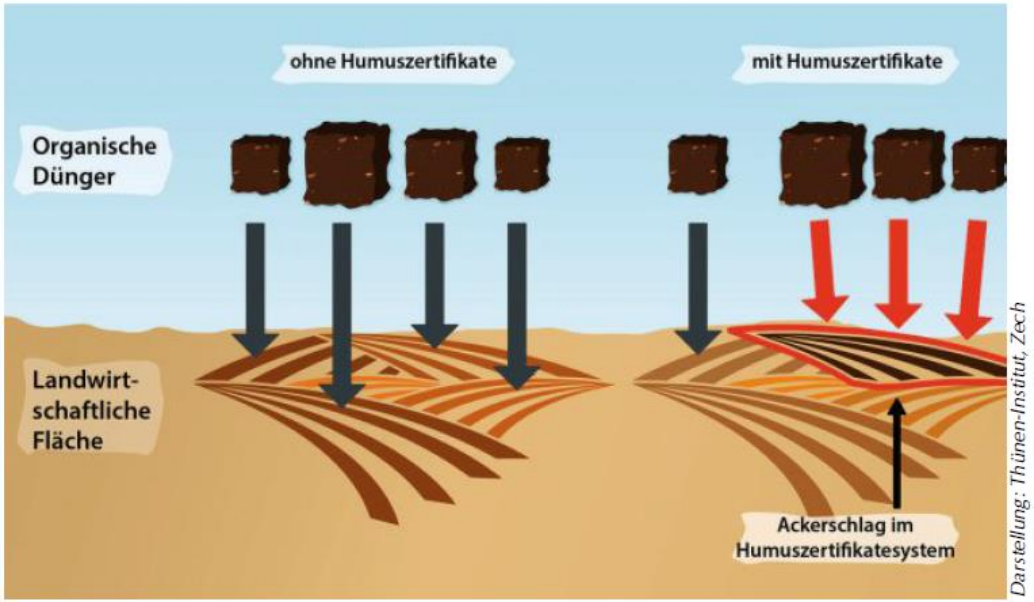
# Humuszertifikate: Verschiebungseffekte

❒ **Vermeidung von Verschiebungseffekten:**

- Humusaufbauende Maßnahmen, die die Produktivität senken, können zu indirekten Landnutzungsänderungen/-intensivierungen in anderen Regionen führen

- Konzentration humusaufbauender Maßnahmen auf einzelnen Flächen auf Kosten anderer Flächen

- Keine C-Sequestrierung durch organische Düngung/ Kompost, lediglich räumliche Umverteilung!




Don & Flessa, 2021

# Humuszertifikate: Reversibilität/Permanenz

- **Reversibilität des Corg-Aufbaus/Sicherstellung der Permanenz der C-Bindung:**

- Humusaufbau als Klimaschutzmaßnahme nur wirksam, wenn CO2 dauerhaft der Atmosphäre entzogen wird

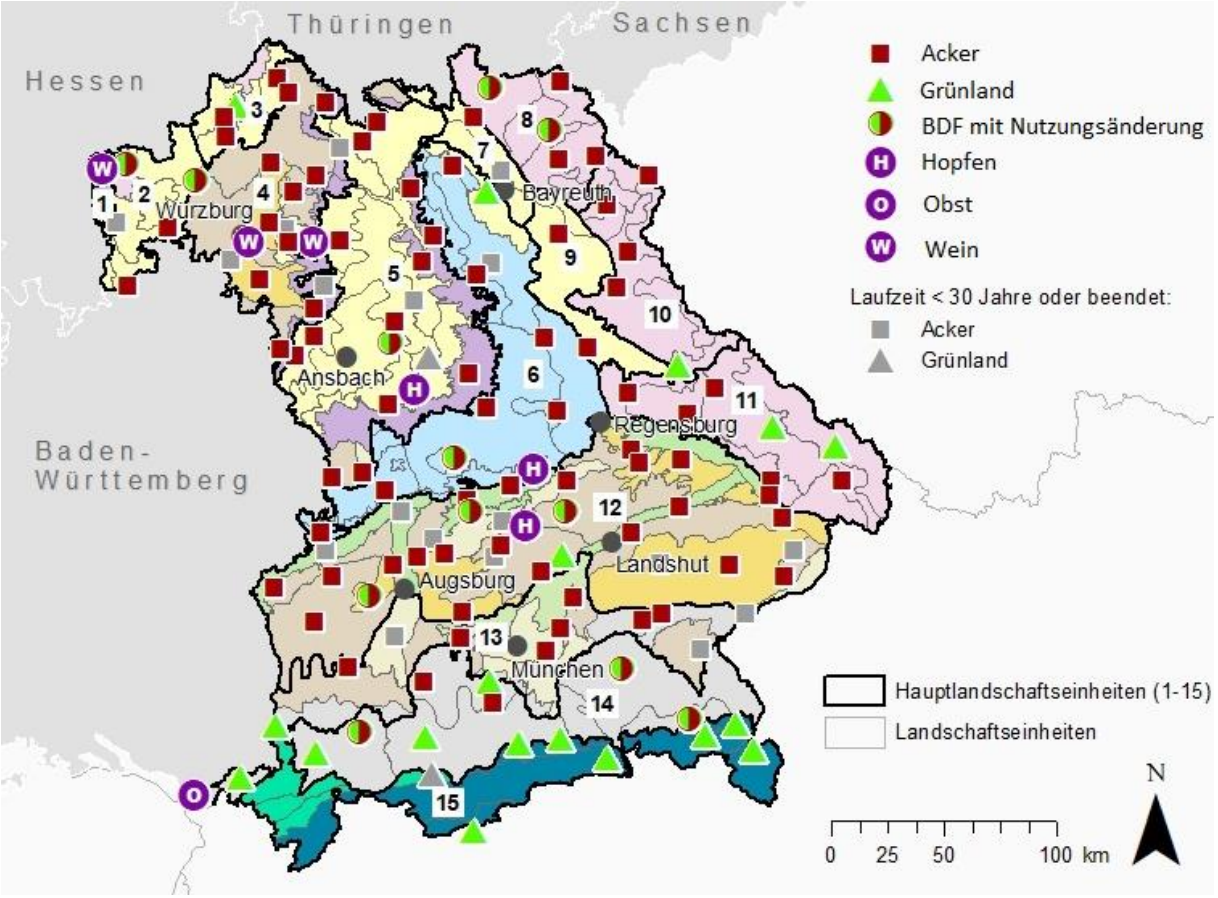
- Dauerhafte Verpflichtung, humusaufbauende Maßnahmen beizubehalten

- Aber auch Corg-Verluste durch externe Faktoren, insbesondere Klimawandel

# BDF Landwirtschaft Bayern

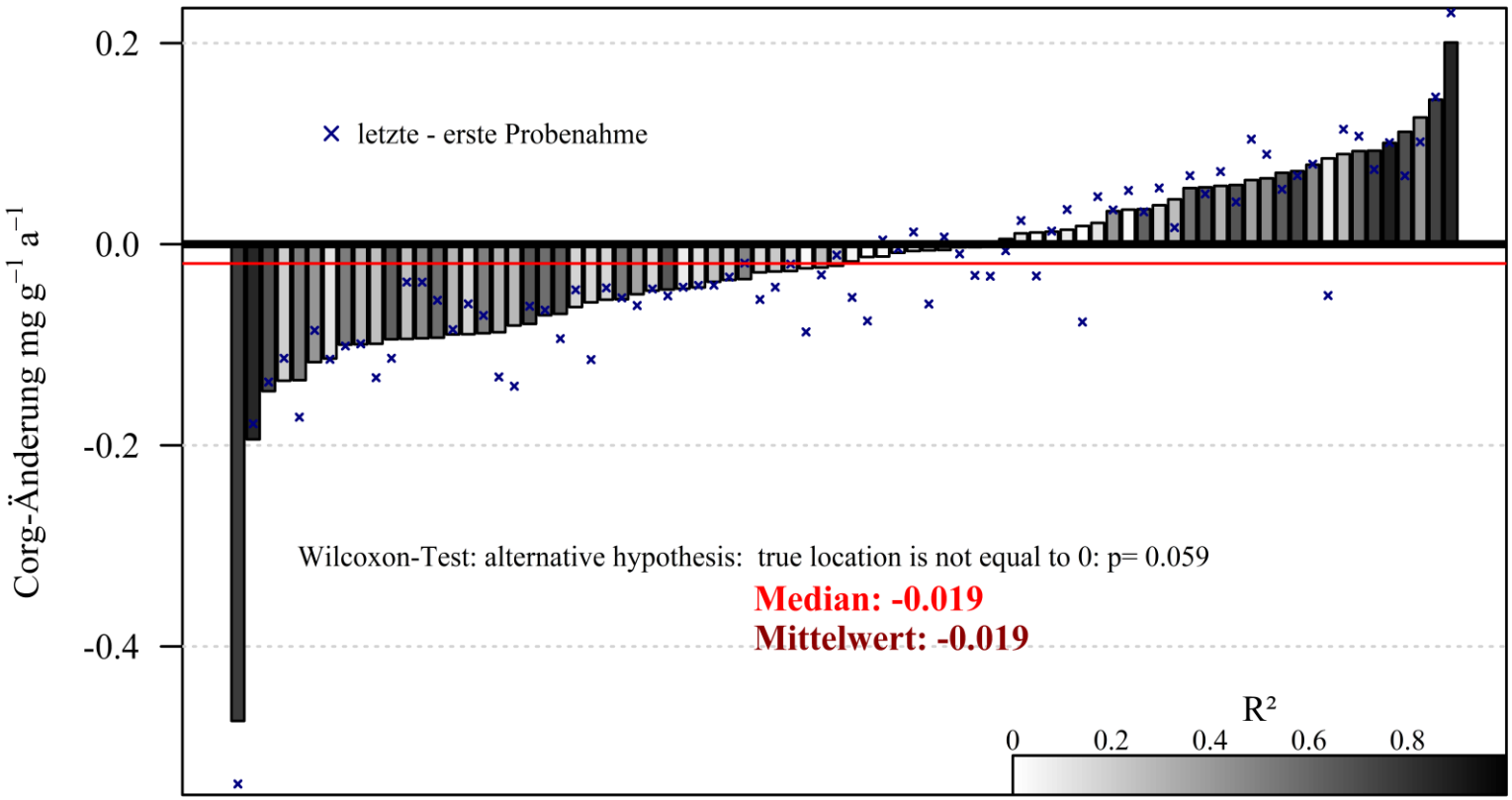
- Initiierung des BDF-Programms Mitte der 1980er-Jahre, bislang sieben Serien: 1986/88, 1989/93, 1996/99, 2005/07, 2012, 2015/16, 2020/21

- Auswertung Humusveränderungen 1986-2016:
  80 Acker
  18 Grünland
  7 Dauerkulturen
  12 Umsteller (Acker/Grünland)



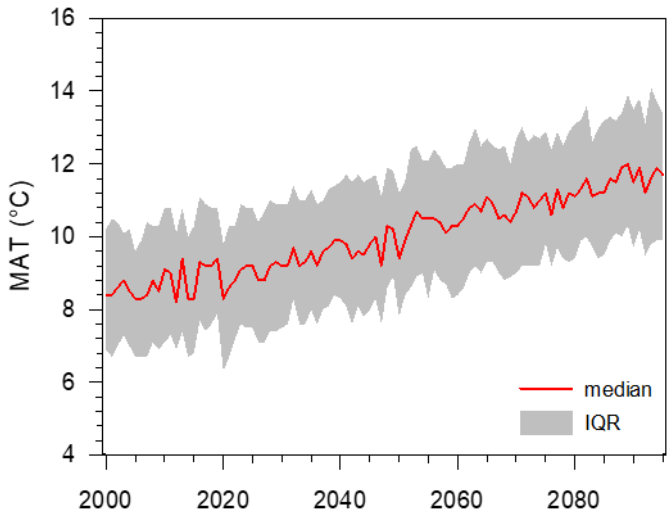
# Corg-Veränderungen Acker 1986-2016

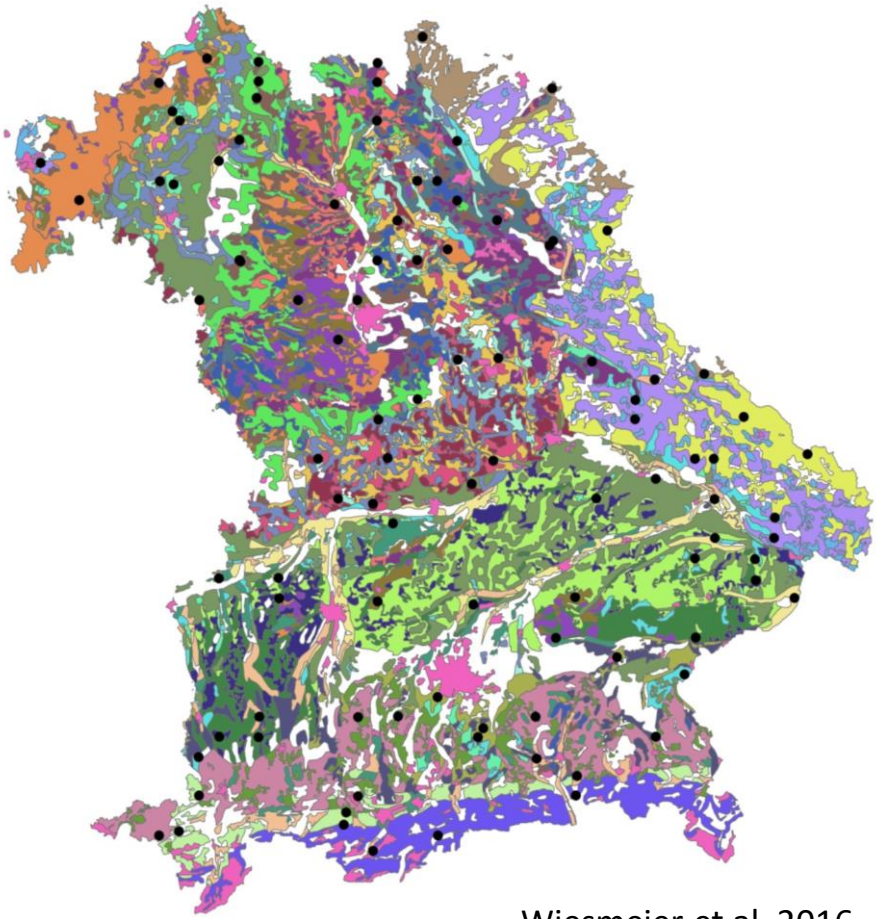
- 20% der Ackerstandorte mit Corg-Abnahmen, 16% mit Zunahmen, im Mittel Corg-Abnahme von 3% im Beobachtungszeitraum



# Modellierung der Humusentwicklung in Bayern

- Modellierung der Humusentwicklung in Bayern im Zeitraum 2000-2095 mit C-Modell RothC für 52 Standorte
- Klimaprojektionen: „mittleres“ Szenario (A1B) mittlerer Temperaturanstieg 3,3°C
- Drei C-Eintragsszenarien (Status quo, -20%, +20%)



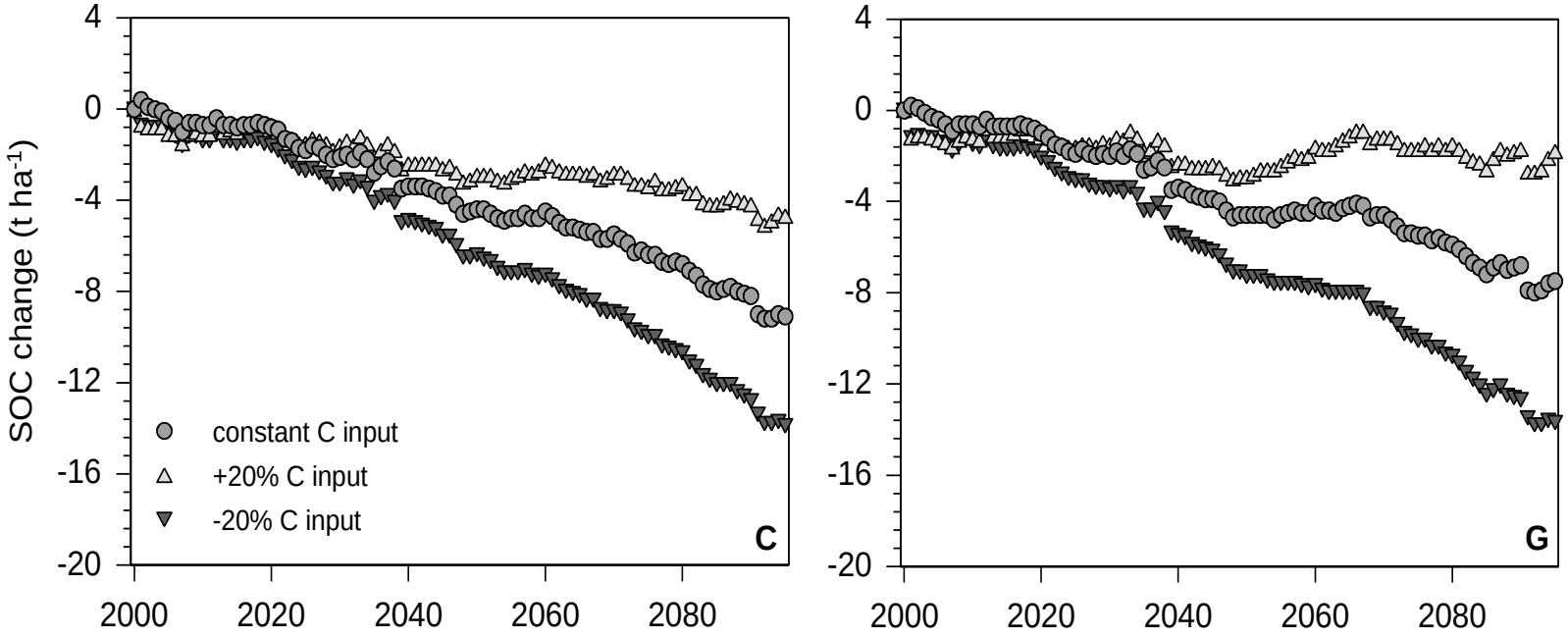



Wiesmeier et al. 2016

# Modellierung der Humusentwicklung in Bayern

- Rückgang der Corg-Vorräte in Ackerböden um 7% (+20% C-Eintrag) bis 24% (-20% C-Eintrag), in Grünlandböden um 3 bis 19%

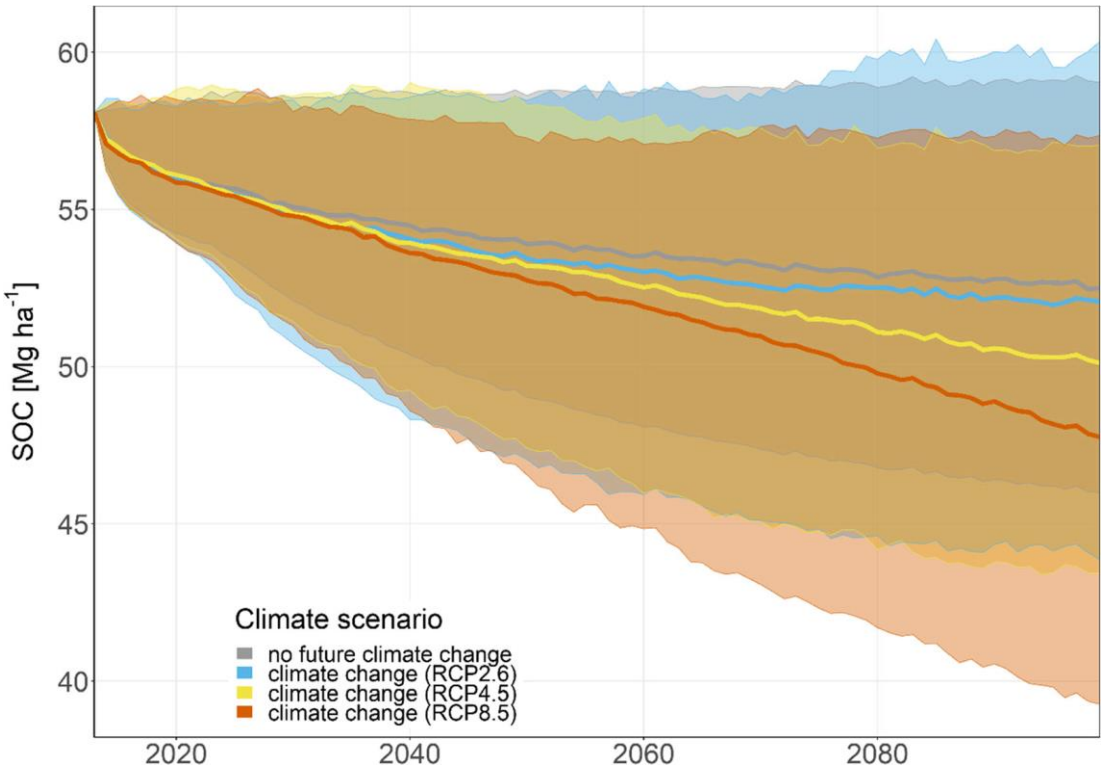
- C-Eintrag müsste um 30% bis Ende 21. Jahrhundert ansteigen, um aktuelle Corg-Vorräte zu halten




Wiesmeier et al. 2016

# Modellierung der Humusentwicklung in Deutschland

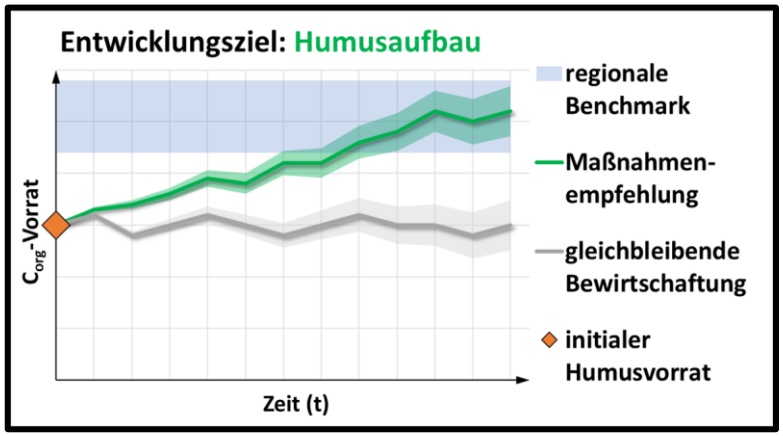
- Modellierung der Corg-Entwicklung (Acker) in Deutschland 2000-2095 unter Annahme verschiedener Klimaszenarien und unverändertem C-Eintrag
- Rückgang der Corg-Vorräte um 10-18%,
- C-Eintrag müsste um 50-90% bis Ende 21. Jahrhundert ansteigen, um aktuelle Corg-Vorräte zu halten



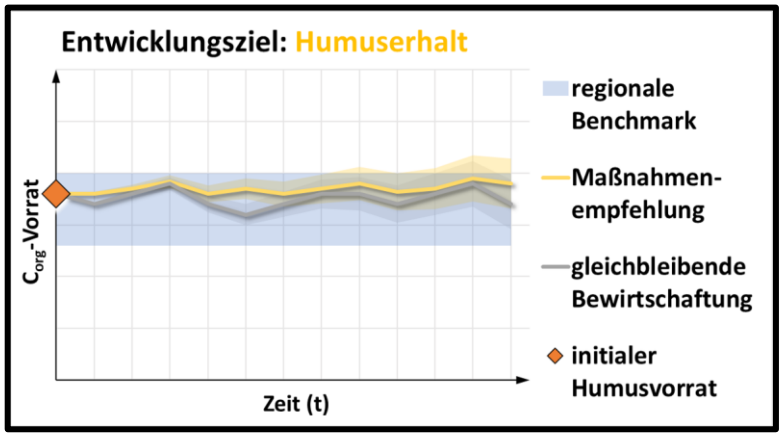

Riggers et al., 2021

# Online-Tool Humuserhalt und –aufbau Bayern

- Entwicklung eines praxistauglichen Planungs- und Beratungswerkzeug zur Optimierung des schlagspezifischen Humusmanagements
- Modellbasiert (Kooperation Thünen-Institut), vorerst nur Ackerbau
- Funktionen: schlagspezifische Prognose der Humusentwicklung, Maßnahmenwirkung, standorttypische Corg-Vorräte (regionale Benchmark) als Zielgröße für Humusentwicklung, dabei differenzierte Entwicklungsziele:




vs.



# Staatliches Förderprogramm für Humuserhalt und -aufbau

**Messung $C_{org}$-Gehalt**
initial

**Nutzung des Online-Tools**

Definition eines Entwicklungsziels anhand regionaler Benchmarks: **Humuserhalt** vs. **Humusaufbau**

Prognose der Humusentwicklung:
**Abnahme** / **Gleichgewicht** / **Zunahme**

Empfehlung standortspezifischer Maßnahmen zur Humusförderung

**Maßnahmenbasierte Förderung?**

z.B. reine Mitmachprämie / Förderung einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen

**Messung $C_{org}$-Gehalt?**
erneut

**Effektbasierte Förderung?**

Bei Einhalten oder Übertreffen der modellierten Prognose zur Humusentwicklung

**Kombinierte Förderung?**

z.B. maßnahmenbasierte Basiszahlung + Erfolgsprämie bei langfristigem Nachweis

# Zusammenfassung

- Humusaufbau in begrenztem Umfang möglich, vielversprechende Maßnahmen: Integration humusmehrender Kulturen, Zwischenfrüchte, Agroforstsysteme etc.
- Humuszertifikate können Humusaufbau stimulieren und dessen gesellschaftliche Wahrnehmung als Beitrag der Landwirtschaft zum Klimaschutz fördern
- Bislang kaum Beachtung von Mindeststandards (methodische Anforderungen, Verschiebungseffekte, Zusätzlichkeit, Permanenz) bestehender Geschäftsmodelle
- Modellbasierte Prognosen der Humusentwicklung deuten auf langfristige Humusverluste bedingt durch den Klimawandel
- Umsetzung humusfördernder Maßnahmen notwendig, nur um aktuelle Corg-Vorräte zu erhalten: Humuserhalt statt Humusaufbau