

Nachhaltige Bodennutzung – Bodenqualität und Ökosystemdienstleistungen verbessern

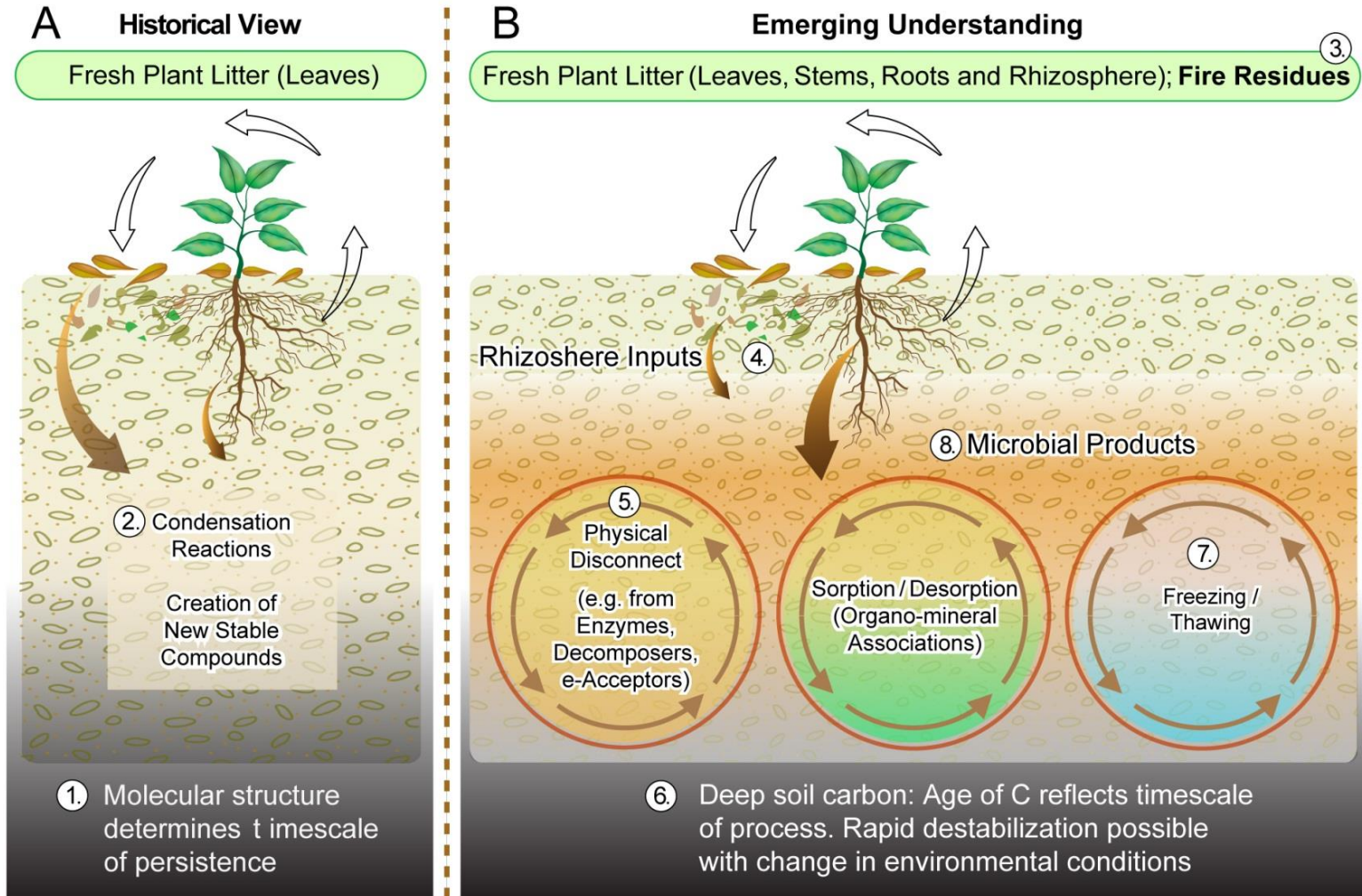
Ingrid Kögel-Knabner

Lehrstuhl für Bodenkunde,
Technische Universität München

Kohlenstoffmanagement von Böden

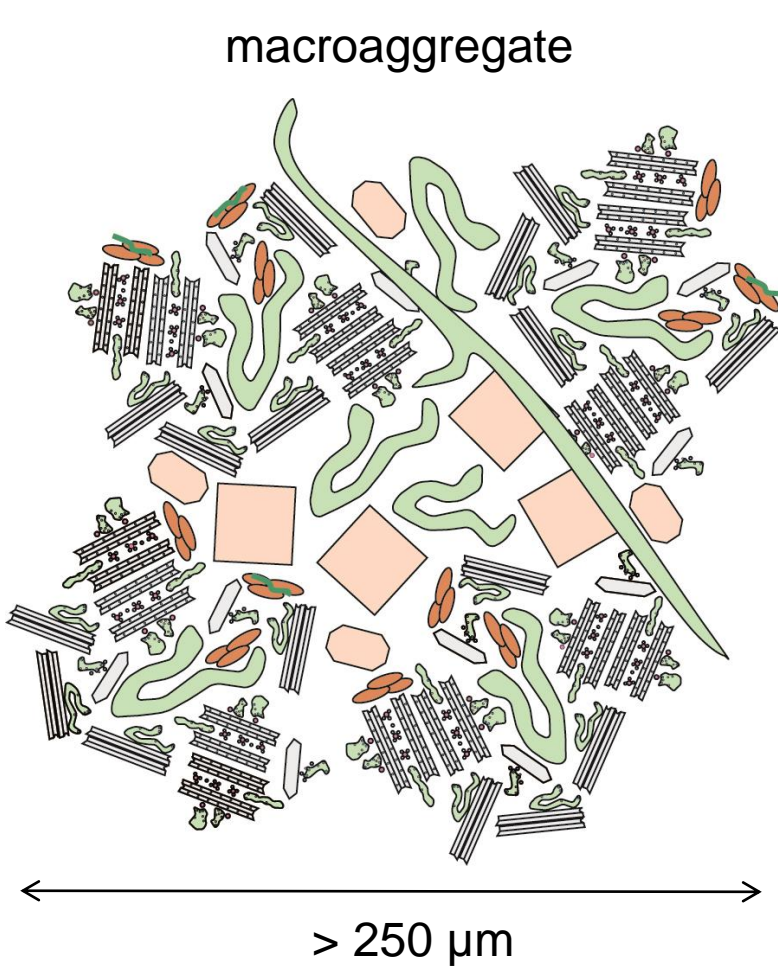
- ❑ Menge der organische Bodensubstanz entscheidender Faktor für die Funktionalität und Produktivität landwirtschaftlich genutzter Böden
- ❑ Humusversorgung ist Schlüssel für eine nachhaltige Bodennutzung; kontinuierlicher Eintrag organischen Materials (OM) notwendig

Concept of OC sequestration



Schmidt, Torn, Abiven, Dittmar, Guggenberger, Janssens, Kleber, Kögel-Knabner, Lehmann, Manning, Nannipieri, Rasse, Weiner, Trumbore, *Nature*, 2011

Soil architecture



POM
plant residues



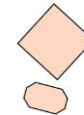
roots



microbes
and fungi



primäry minerals
(quartz, feldspar..)



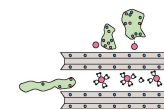
neutral
minerals



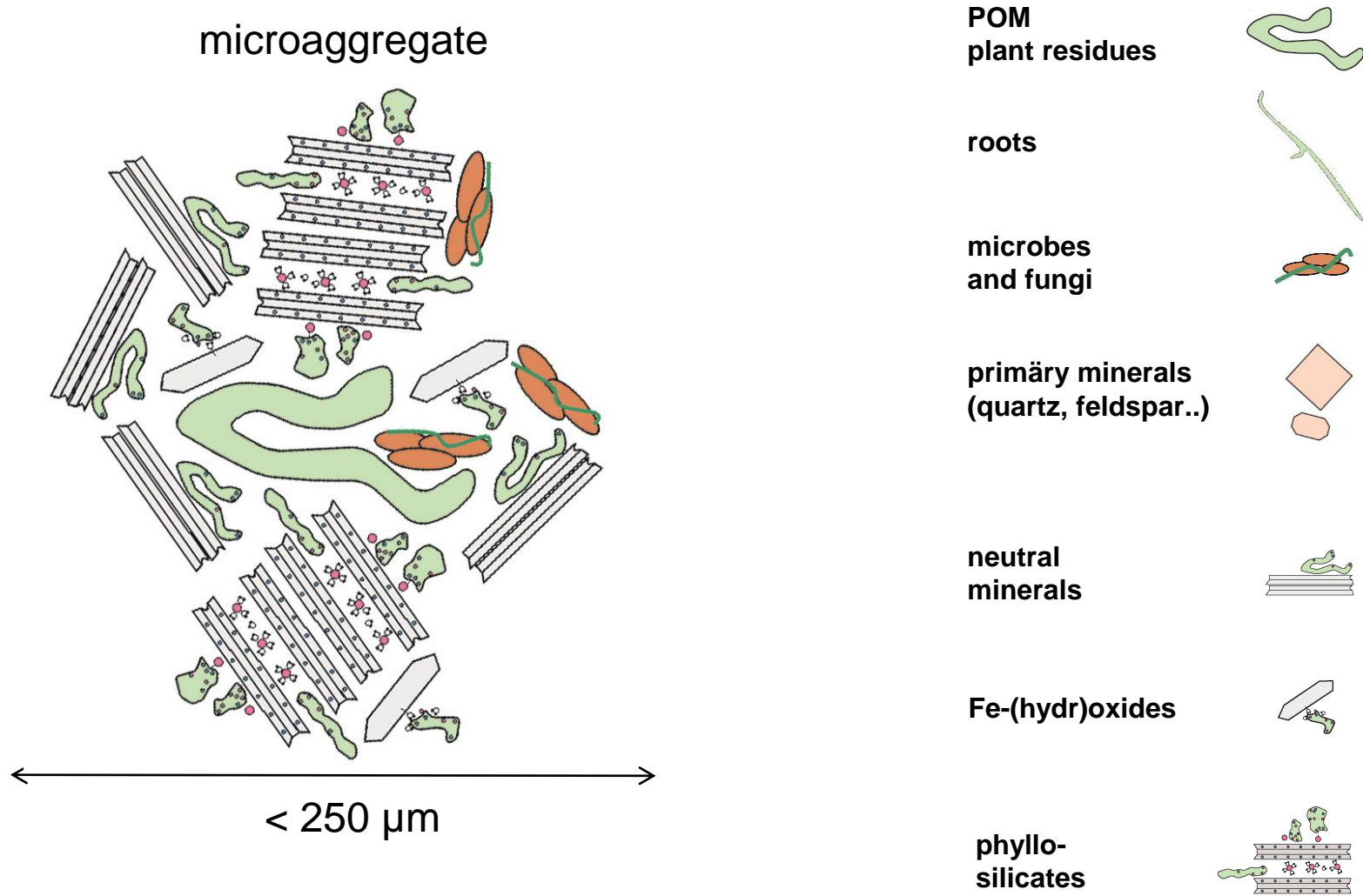
Fe-(hydr)oxides



phyllo-
silicates



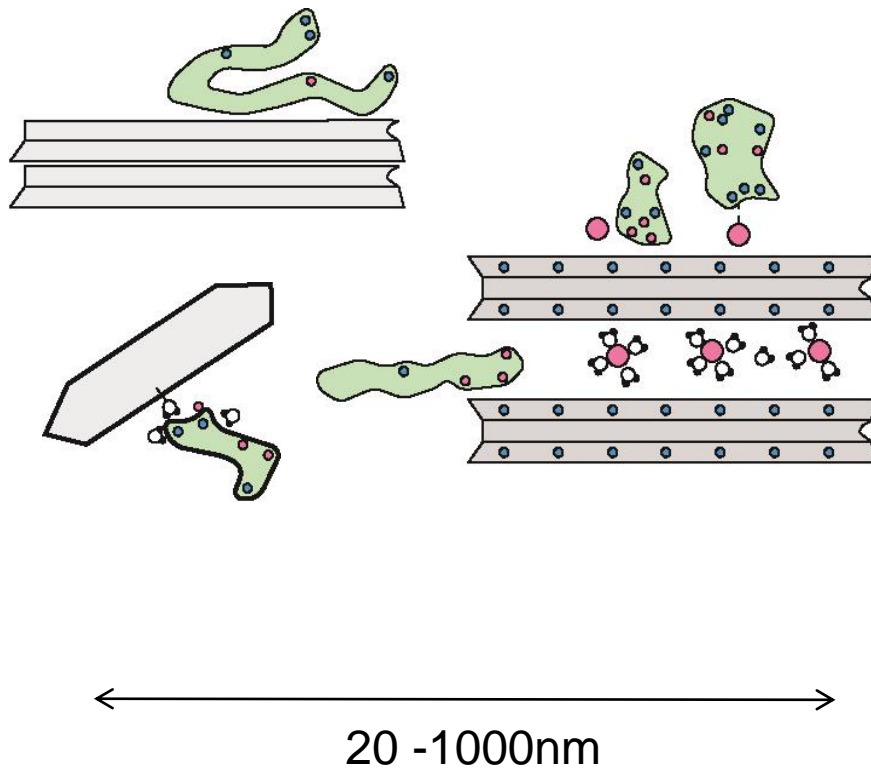
Soil architecture



Kögel-Knabner, 2010

Soil architecture

organo-mineral associations



Kögel-Knabner, 2010

Soil architecture defines

- a complex and heterogeneous interface in soils
 - cation exchange
 - anion exchange
 - hydrophobic surfaces
- porous medium
 - filled with air and water
 - swelling/shrinking
 - controls storage of water
 - controls transport of water and solutes
 - habitat for microorganisms

POM:
plant residues

roots

microbes
and fungi

primary minerals
(quartz, feldspar..)

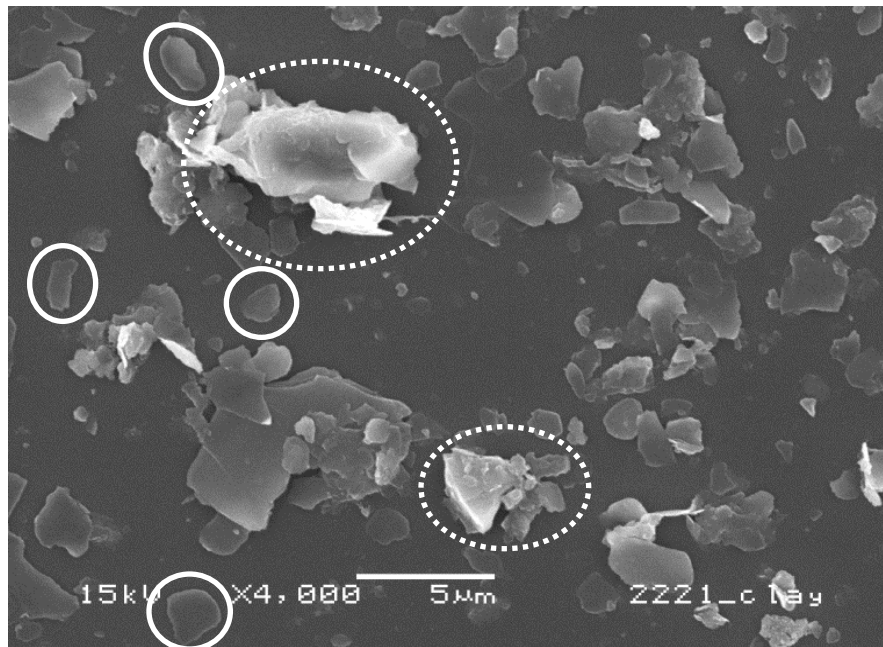
neutral
minerals

Fe (hydr)oxides

phyllo-
silicates

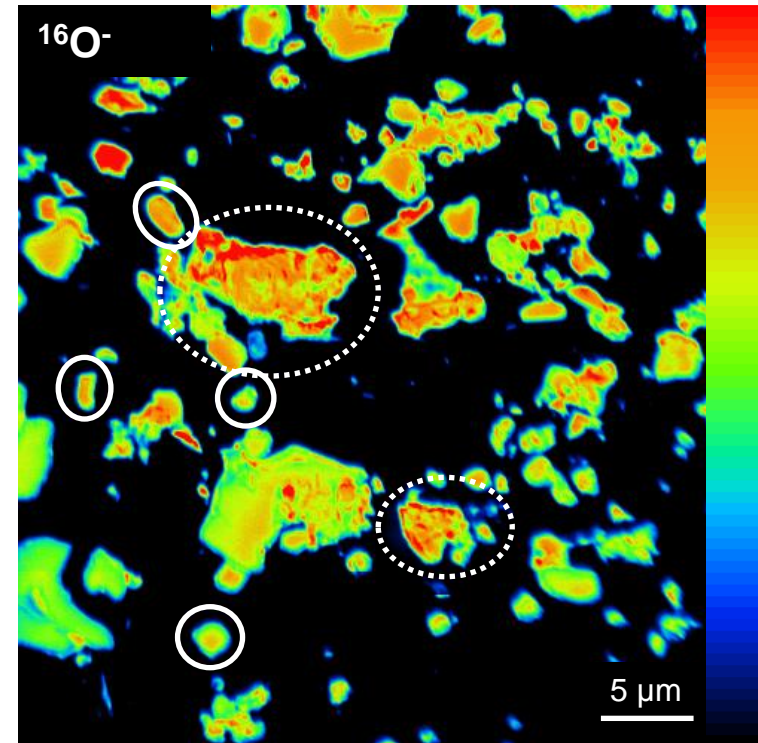
Clay fraction – Scheyern topsoil: NanoSIMS

SEM



- 13-26% single mineral particles
- 74-87% mineral clusters

NanoSIMS

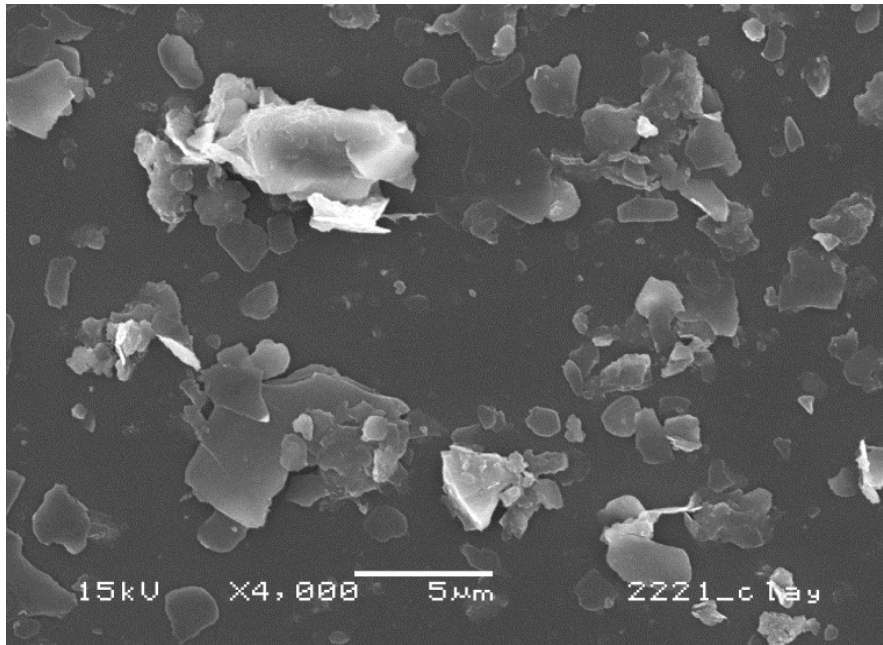


linear [0...5191]

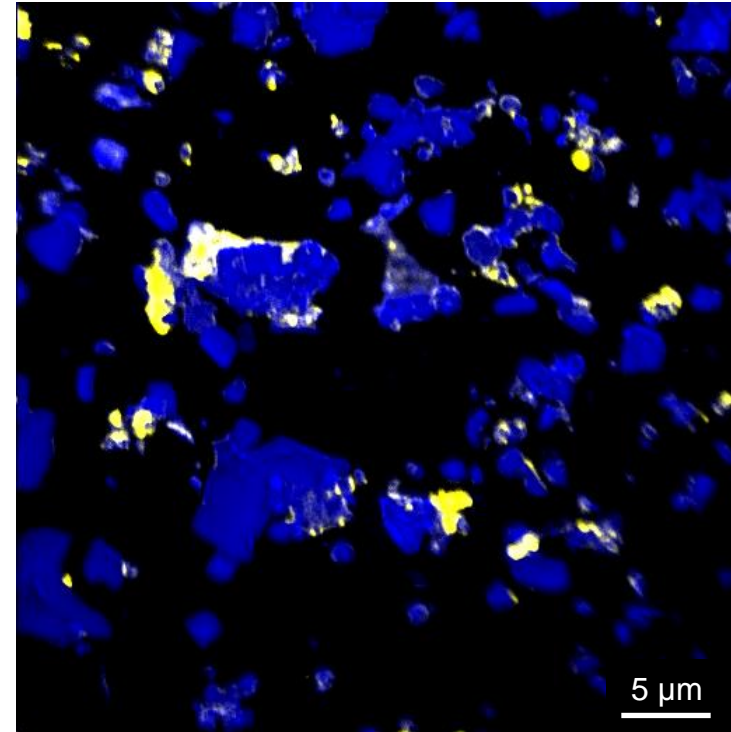
Vogel et al., Nature Comm, 2014

OM on mineral particles

SEM



■ $^{16}\text{O}^-$
■ $^{12}\text{C}^-$ & $^{12}\text{C}^{14}\text{N}^-$

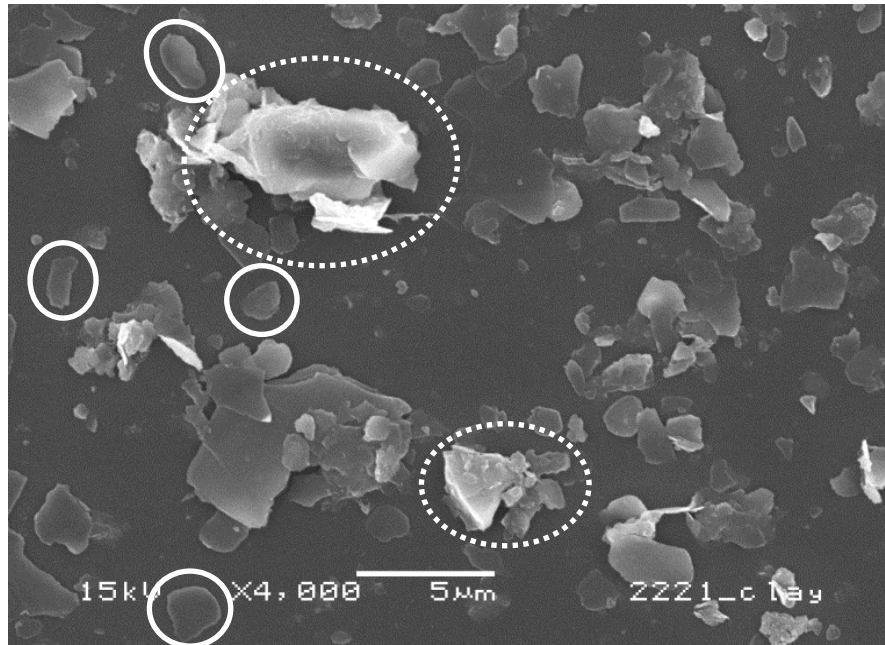


- heterogeneous distribution of OM
- 19% of the visible mineral particles covered by OM

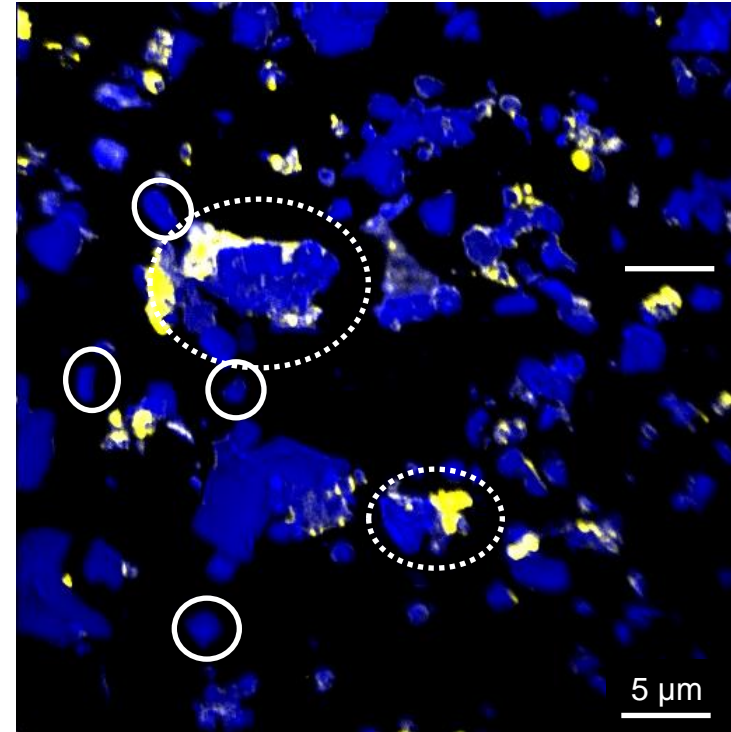
Vogel et al., Nature Comm, 2014

OM on mineral particles

SEM



■ $^{16}\text{O}^-$
■ $^{12}\text{C}^-$ & $^{12}\text{C}^{14}\text{N}^-$



- 15 - 21% of mineral clusters covered by OM
- **mineral clusters with rough surfaces show more OM spots** than single mineral particles

Vogel et al., Nature Comm, 2014

Soil aggregates are transient

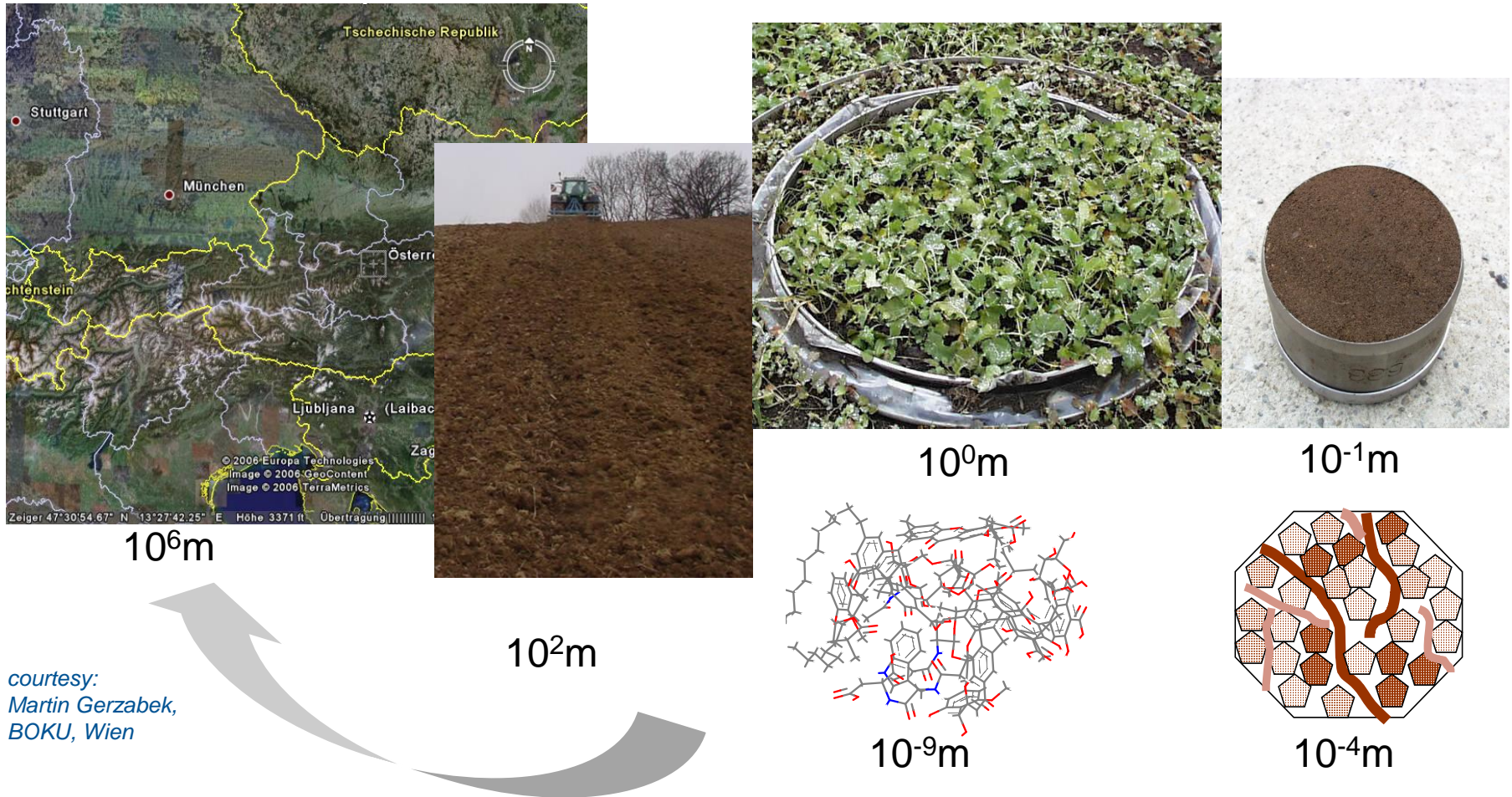
Aggregation is maintained by continuous feeding of the soil heterotrophic community with fixed C (above-ground and below-ground litter, root exudates)



Quelle: www.wikipedia.de

Decomposition is at the lowest trophic level: regulation of decomposition is crucial for all other functions

Understanding the soil system – matter of scales



Phenomena at large scales are controlled by processes at much smaller scales

Measurements: often at pedon scale (with upscaling to plot)

Processes: nm to μm

Kohlenstoffmanagement von Böden

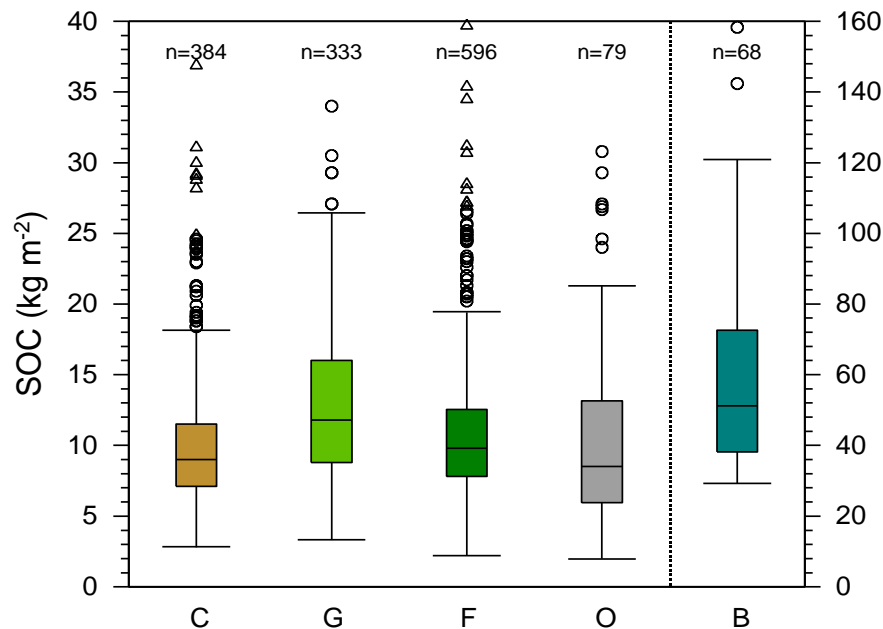
- ❑ Menge der organische Bodensubstanz entscheidender Faktor für die Funktionalität und Produktivität landwirtschaftlich genutzter Böden
- ❑ Humusversorgung ist Schlüssel für eine nachhaltige Bodennutzung; kontinuierlicher Eintrag organischen Materials (OM) notwendig
- ❑ Bislang unzureichende Erkenntnisse über Humusvorräte in landwirtschaftlich genutzten Böden:
 1. hohe räumliche Variabilität
 2. Untersuchung von C-Gehalten anstelle von Vorräten
 3. Beschränkung auf Oberböden, Vernachlässigung von Humusvorräten in Unterböden
- ❑ Keine aktuellen Daten bezüglich des OM-Eintrags in landwirtschaftlich genutzten Böden verfügbar

Studie: Humuszustand der Böden Bayerns

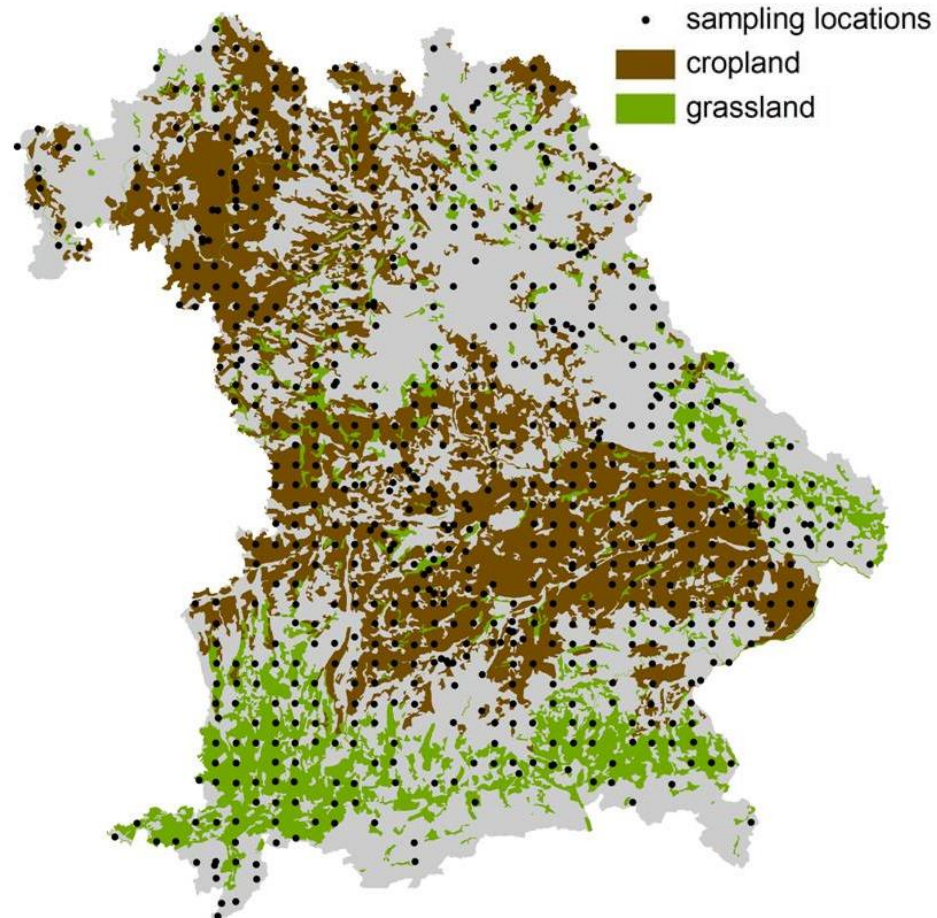
1. Status quo der SOM-Vorräte landwirtschaftlich genutzter Böden in Bayern
2. Qualität der SOM: Quantifizierung funktioneller Kohlenstoff-Fraktionen
3. Abschätzung des OM-Eintrags der wichtigsten Kulturen in Bayern
4. Abschätzung der C-Sättigung und des C-Sequestrierungspotentials landwirtschaftlicher Böden
5. Maßnahmen zur Steigerung der SOM-Vorräte

Status quo OC-Vorräte Bayern

- Untersuchung von 1460 Bodenprofilen in Bayern bis 1 m Tiefe
- Hohe OC-Vorräte unter Grünland, insbesondere in Unterböden (C-reiche Gleye)
- In Ackerböden relativ hohe Vorräte, kein signifikanter Unterschied zu Waldböden!



C = cropland, G = grassland, F = Forest, O = other land uses, B = bogs



(Wiesmeier et al. 2012, *Global Change Biology*)

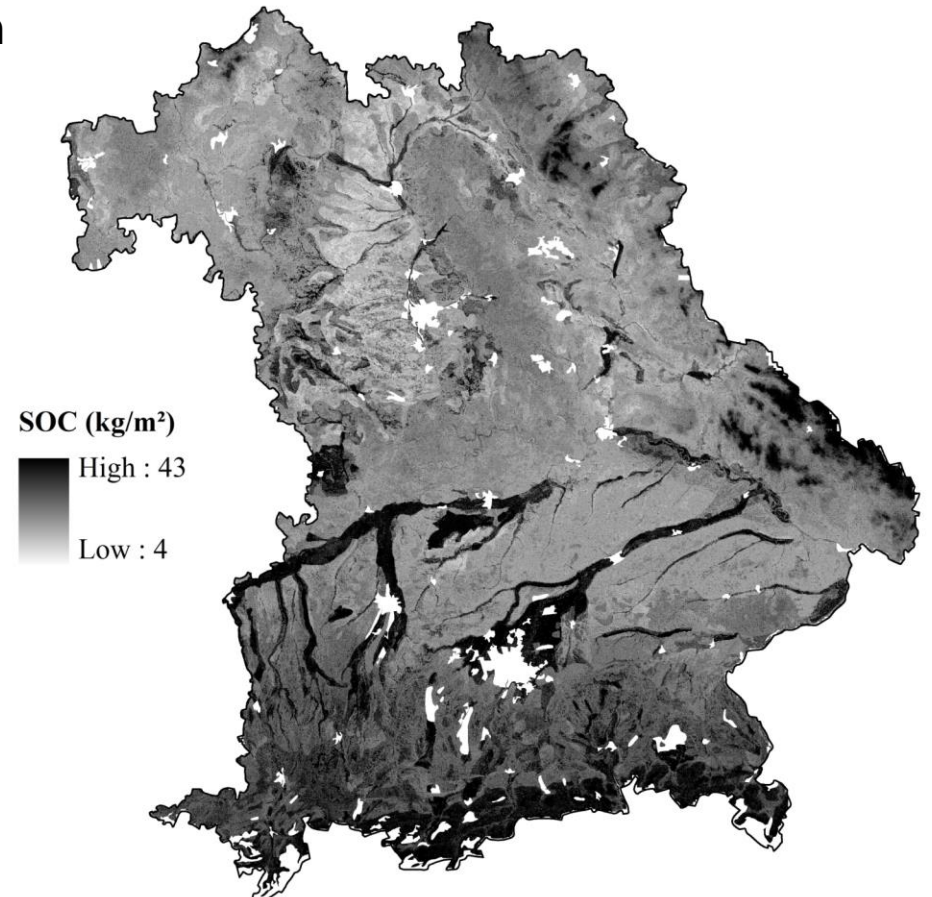
Status quo OC-Vorräte Bayern

- Überschätzung nutzungsbedingter Kohlenstoffverluste in Ackerböden in der Literatur:
 1. Durch Krumenvertiefung in den 60er und 70er Jahren Verlagerung der organischen Substanz in die Tiefe, nicht erkannt in oberflächennahen Studien (Nieder & Richter 1986)
 2. Vernachlässigung des Wurzelinputs in Unterböden, hier bedeutende Kohlenstoffvorräte
 3. Durch Bodenbearbeitung Förderung der Stabilisierung von organischer Substanz an Mineraloberflächen (Wiesmeier et al. 2014)
 4. Veringerter Abbau der organischen Substanz durch Krumenvertiefung (Verdünnungseffekt: veringertes Kontakt mikrobielle Biomasse-organische Substanz) (Don et al. 2013)

Status quo OC-Vorräte Bayern

- Regionalisierung der Ergebnisse mittels Klassifikations- und Regressionsbäumen
- Hohe OC-Vorräte in feuchten (Moore, Flussauen) und kühlen (Alpen, Mittelgebirge) Regionen; niedrige Vorräte in warmen Regionen

	SOC (Mt)	%
Acker	223	29
Grünland	125	16
Wald	257	33
Moor	7	1
Sonstiges	159	21
Gesamt	771	100

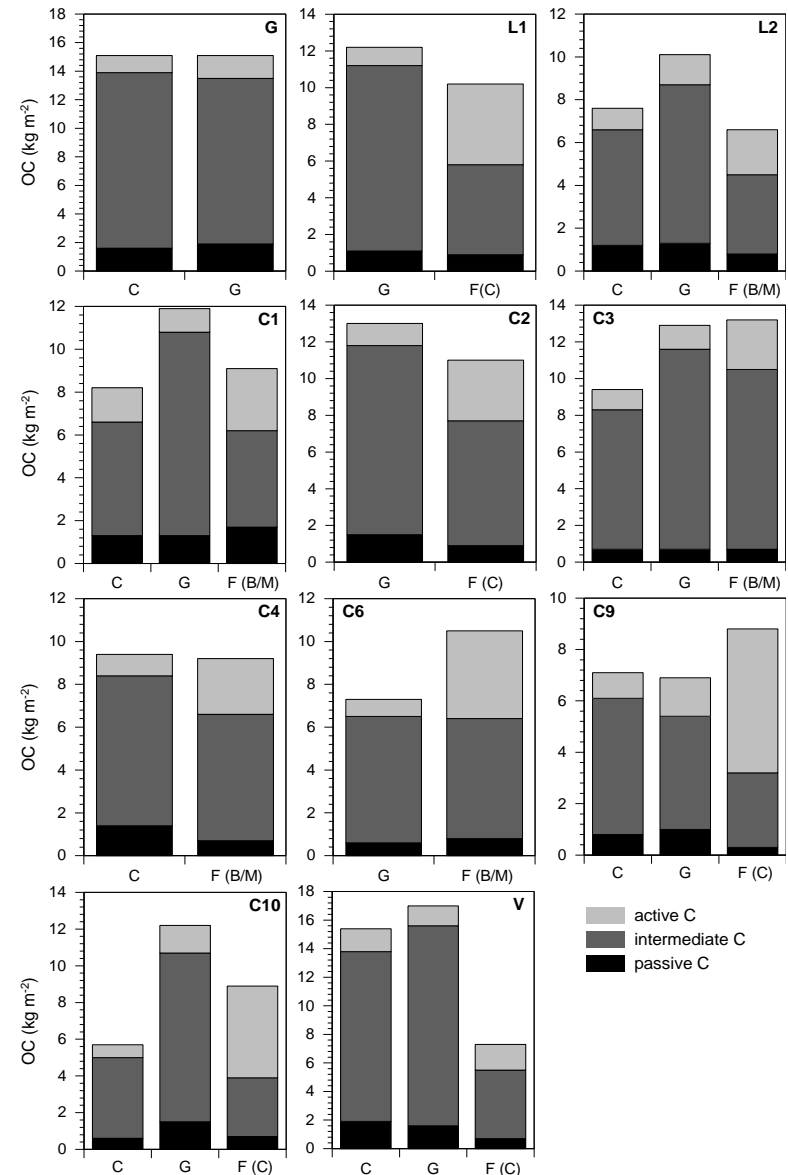


Status quo OC-Vorräte Bayern

- ❑ Hohe OC-Vorräte unter Grünland, da Grünland besonders auf Gleyen mit hohem OC-Gehalt im Unterboden: Landnutzungswechsel zu Grünland sinnvoll?
- ❑ Geringfügige OC-Unterschiede zwischen Acker- und Waldböden: Landnutzungswechsel zu Wald sinnvoll?
- ❑ Überschätzung des Humusverlusts in Ackerböden: Krumenvertiefung führt zu „Verdünnung“ von SOM und zu verstärkter Stabilisierung durch Assoziation mit Mineraloberflächen
- ❑ Acker- und Grünlandböden speichern insgesamt 223 und 125 Mt OC (45% der Gesamtmenge der Böden Bayerns), hohe Akkumulation in Flussauen/Mooren sowie in Hochlagen: Gefahr von Verlusten durch Klimawandel, Nutzungsänderungen usw.

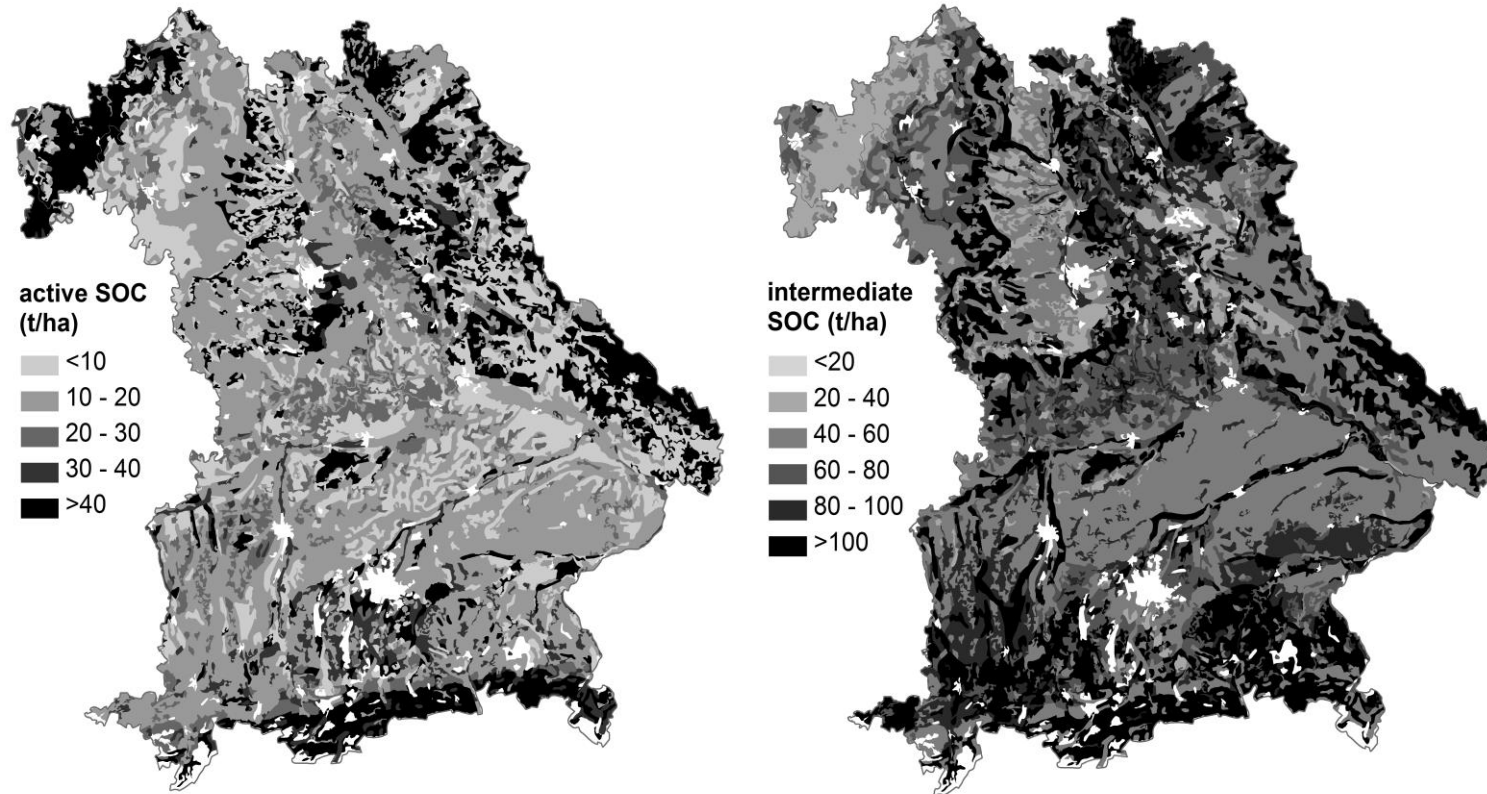
Quantifizierung funktioneller OC-Fractionen

- ☐ Aufteilung der SOM in funktionelle Fraktionen (aktiv, intermediär, passiv)
- ☐ hohe Vorräte an intermediären und stabilen OF-FRaktionen in landwirtschaftlich genutzten Böden
- ☐ In Waldböden weitaus höhere Vorräte an aktivem SOM, höheres Potential für Verluste durch Klimawandel, Eingriffe usw.



(Wiesmeier et al. 2014, Agriculture, Ecosystems and Environment)

Quantifizierung funktioneller OC-Fractionen



- Große aktive OC-Vorräte in höheren Lagen (Alpen/Mittelgebirge) sowie in Mooren/grundwasserbeeinflussten Böden
- In diesen Bereichen große potentielle OC-Verluste infolge des Klimawandels

Quantifizierung funktioneller OC-Fraktionen

- ❑ 90% der gesamten OC-Vorräte landwirtschaftlicher Böden befinden sich in intermediären und stabilen SOM-Pools
- ❑ In Waldböden 40% der gesamten SOM-Vorräte im labilen OC-Pool, nur 60% befinden sich in intermediären und stabilen OC-Pools
- ❑ Acker- und Grünlandböden vorteilhaft bezüglich einer langfristigen OC-Speicherung und –Sequestrierung, hohe potentielle C-Verluste in Waldböden in Folge von Temperaturanstieg, Waldbränden, anthropogenen Störungen
- ❑ Hohe labile OC-Vorräte in den Alpen und Mittelgebirgen sowie in Flussauen und Mooren: Unterbindung von Störungen wie Landnutzungswechsel etc.

Abschätzung des OM-Eintrags

- Berechnung des OM-Eintrags seit 1951 aufgrund der C-Allokation in der Pflanze (Bolinder et al. 2007)

- Aufteilung der NPP in vier Pflanzenfraktionen:

C_P = Ernteprodukt (Korn, Wurzelknolle)

C_S = nach Ernte verbleibende oberirdische Biomasse (Stroh, Kraut)

C_R = Wurzeln

C_E = Rhizodeposition

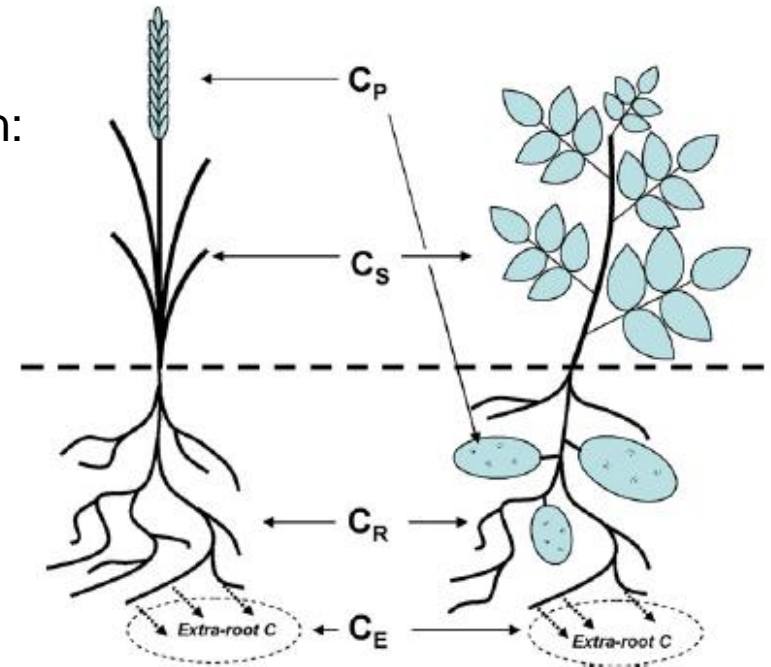
- Ermittlungsgrundlagen:

Wurzel/Spross-Verhältnisse,

Ernteindex aus Agrarstatistiken (Verhältnis C_P/C_P+C_S),

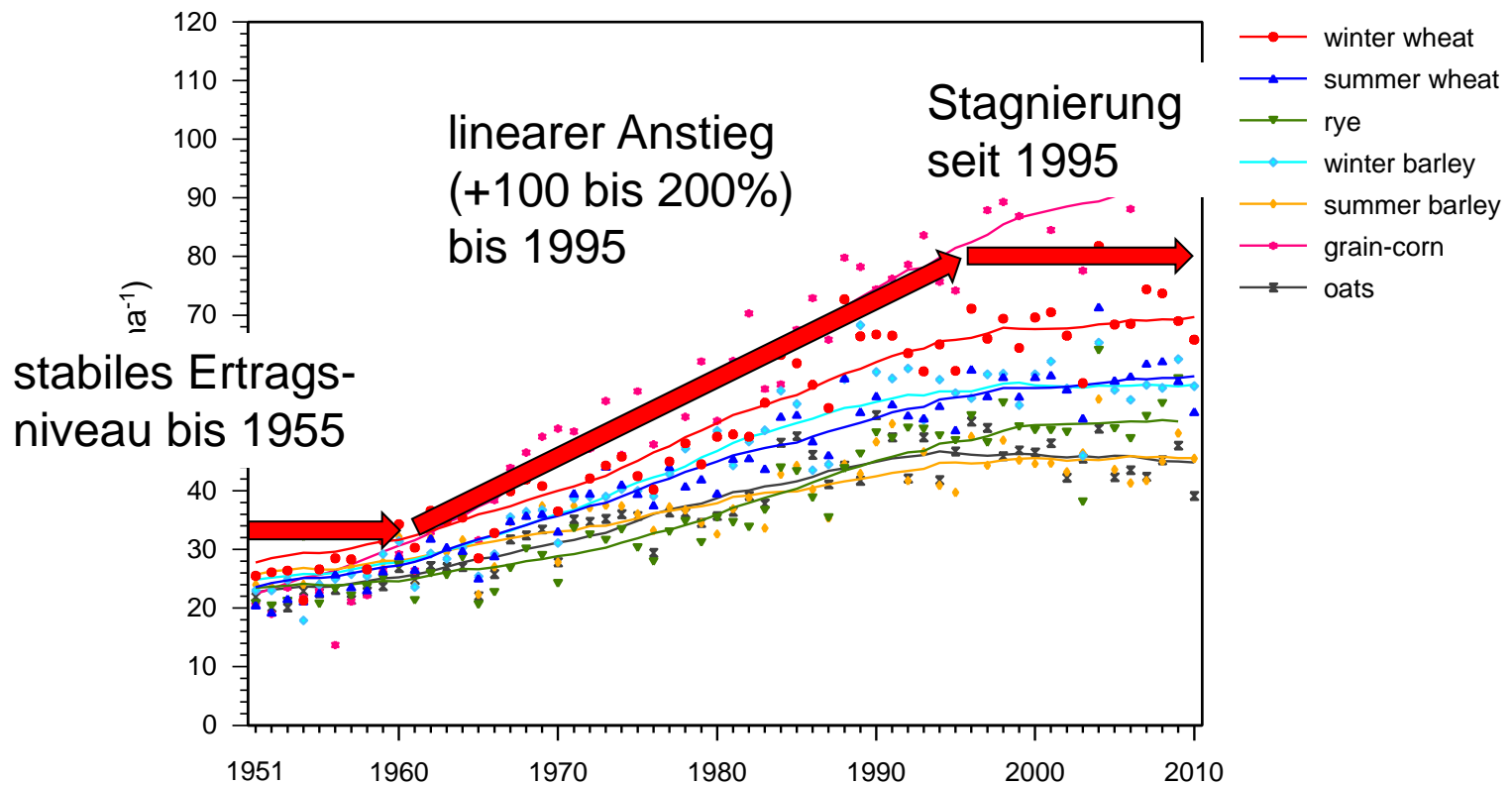
Biomasseangaben Literatur;

Rhizodeposition = $C_R \times 0,67$ (Kuzyakov et al. 2000)



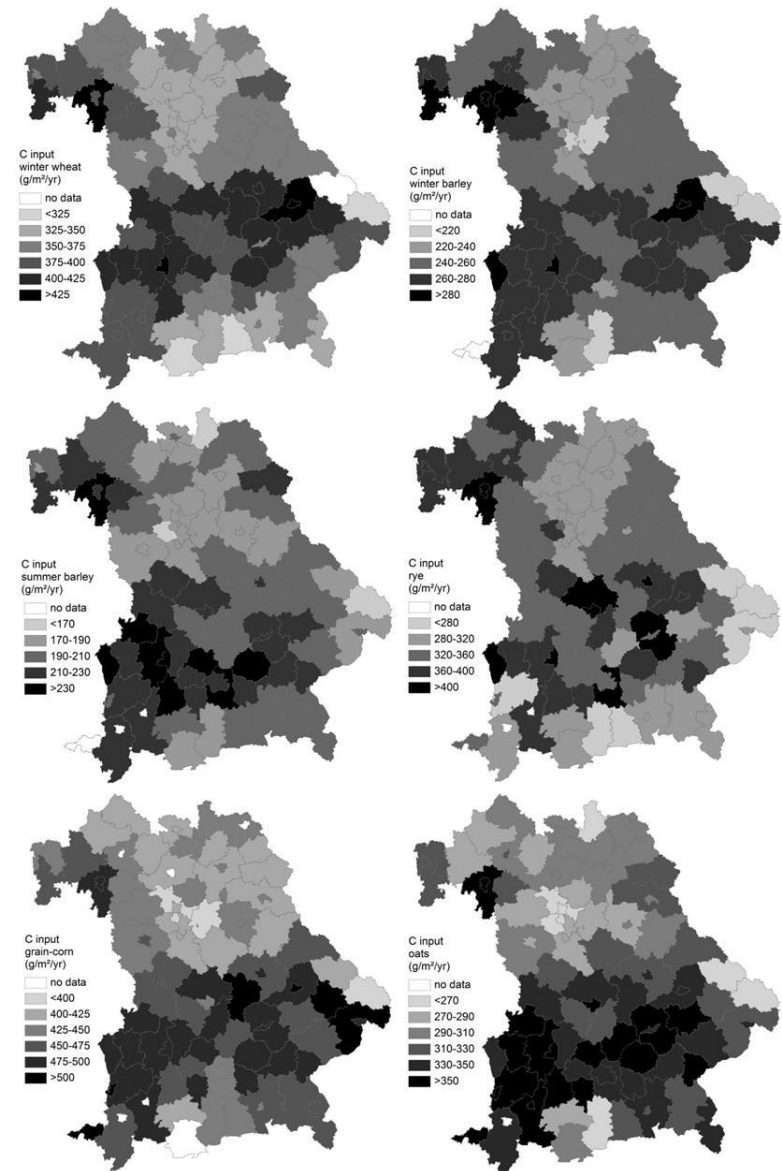
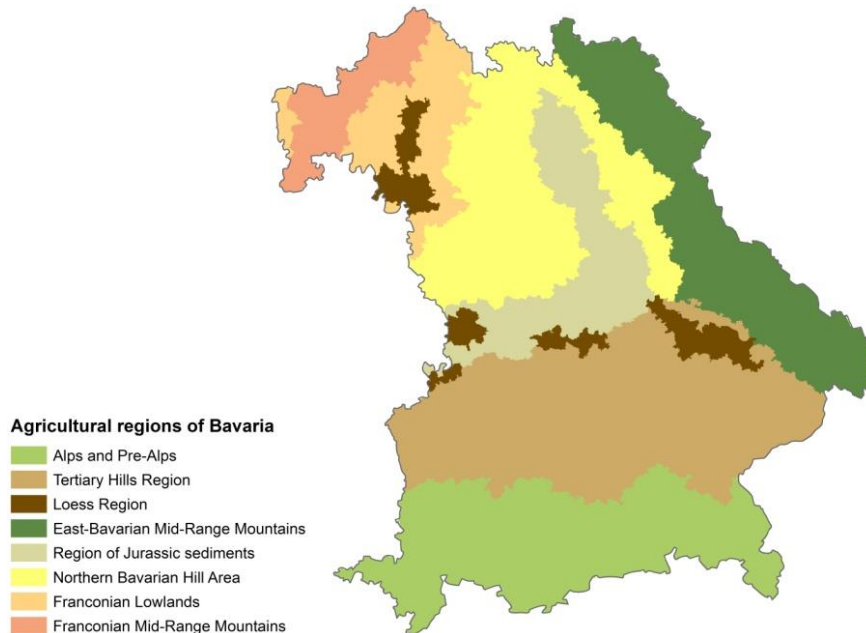
Abschätzung des OM-Eintrags

- OM-Eintrag in erster Linie von der Ertragsentwicklung gesteuert, veränderte C-Allokation spielt untergeordnete Rolle



Abschätzung des OM-Eintrags

- Räumliche Verteilung des OM-Eintrags auf Landkreisebene
- C-Input sehr variabel, hohe Werte für Tertiärhügelland und Lössregionen → OM-Input regional nur teilweise gesteuert von Temp./Niederschlag, Abhängigkeit vom Bodentyp/Ausgangsgestein

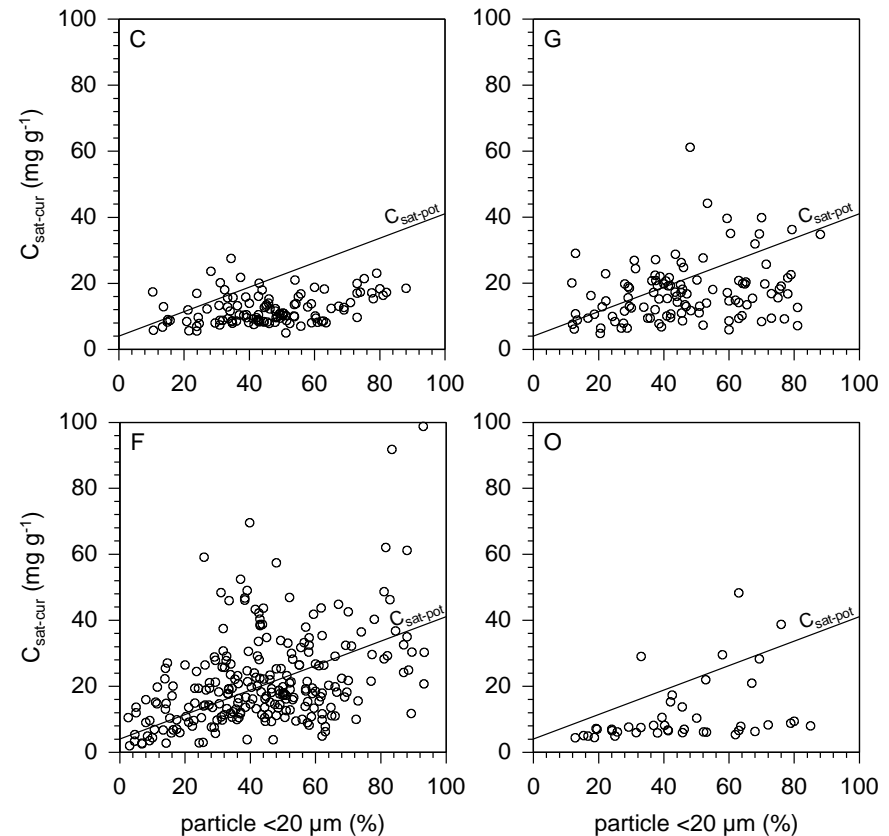
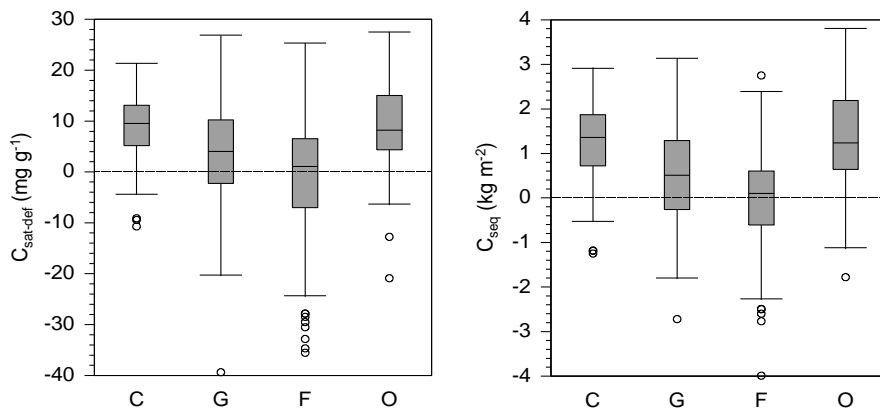


Abschätzung des OM-Inputs

- ❑ Ermittelte Werte deutlicher höher als Literaturangaben: Erklärung für hohe Humusvorräte
- ❑ Große regionale Variabilität des OM-Inputs, große Unterschiede zwischen verschiedenen Kulturen, Abhängigkeit vom Ertragsniveau → Verwendung von allgemeinen „Faustwerten“ für OM-Input nicht sinnvoll
- ❑ Optimierung von Fruchtfolgen bzgl. OM-Input durch verstärkte Einbindung von Kulturen mit hohen OM-Input-Werten → Beitrag zu Humusaufbau und C-Sequestrierung?
- ❑ Annahme weiterer zukünftiger Stagnation bzw. geringfügiger Veränderung des OM-Inputs bei kontinuierlichem Temperaturanstieg → Rückgang der SOM-Vorräte?

Abschätzung des C-Sequestrierungspotentials

- OC-Speichervermögen landwirtschaftlicher Böden hängt vom Feinbodenanteil (Schluff, Ton) ab (Hassink 1997)
- Ermittlung des potentiellen und aktuellen SOM-Speichervermögens von 516 Standorten in Bayern; Differenz = Sequestrierungspotential
- Acker- und Grünlandböden nur zu 50% gesättigt, großes Sequestrierungspotential



(Wiesmeier et al. 2014, Global Change Biology)

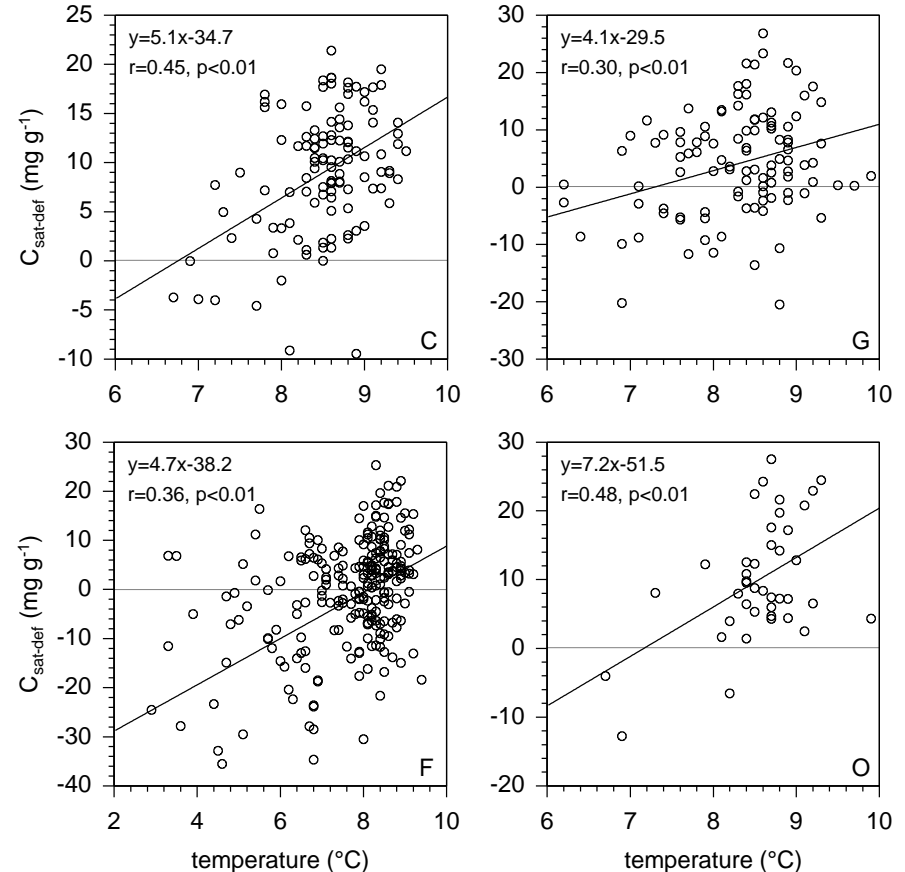
$C_{\text{sat-def}}$ = C saturation deficit, $C_{\text{sat-cur}}$ = current C saturation, $C_{\text{sat-pot}}$ = potential C saturation according to Hassink

Abschätzung des C-Sequestrierungspotentials

- C-Sättigungsdefizit abhängig von der Temperatur (geringere Vorräte in warmen Regionen): Ableitung von Regionen mit gesättigten und ungesättigten Böden
- In landwirtschaftlichen Böden können theoretisch 395 Mt CO₂-Äquivalente sequestriert werden (GHG-Emissionen Bayern 94 Mt pro Jahr)

	area _{sat} (ha)	area _{unsat} (ha)	C _{seq} (t ha ⁻¹)	C _{seq} (Mt)
Acker	105	22817	13.9	96
Grünland	458	9267	6.7	12
Wald	11561	11699	3.1	4
Sonstiges	3104	11312	7.9	22
Gesamt	15228	55095		134

C_{seq} = C sequestration potential



Wiesmeier et al. 2014, Global Change Biology)

Maßnahmen zur Steigerung der OC-Vorräte

- ❑ Minimale/Pfluglose Bodenbearbeitung: Hinweise auf minimale Effekte bei Betrachtung von Ober- und Unterböden
- ❑ Maximale Rückführung von Ernterückständen, Gärreste usw.: Konflikt Bioenergieerzeugung, Nitratproblematik bei Gärresten
- ❑ Landnutzungswechsel zu Grünland/Wald: Verlust landwirtschaftlichen Produktionspotentials, fraglicher Effekt bezüglich C-Akkumulation
- ❑ Einbringung von Biokohle: Wirtschaftlichkeit, Umsetzbarkeit, Vorhandensein von Ausgangsmaterial
- ❑ Optimierte Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau

Danksagung

Deutsche Forschungsgemeinschaft

Schwerpunktprogramm 1315 “Biogeochemical interfaces in soil”

“NanoSIMS core facility”

Bayerisches Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

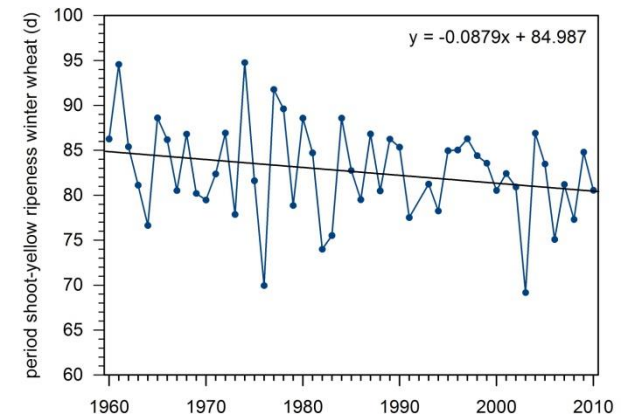
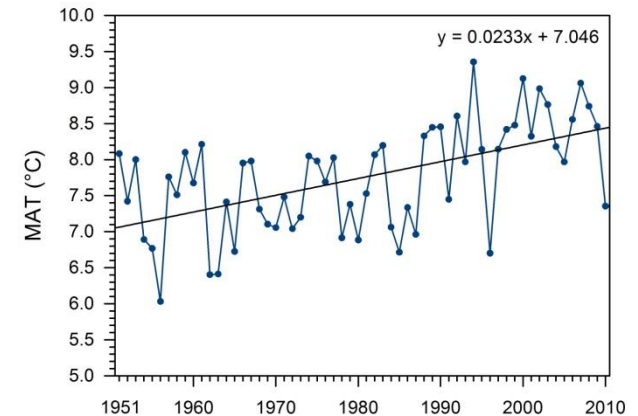
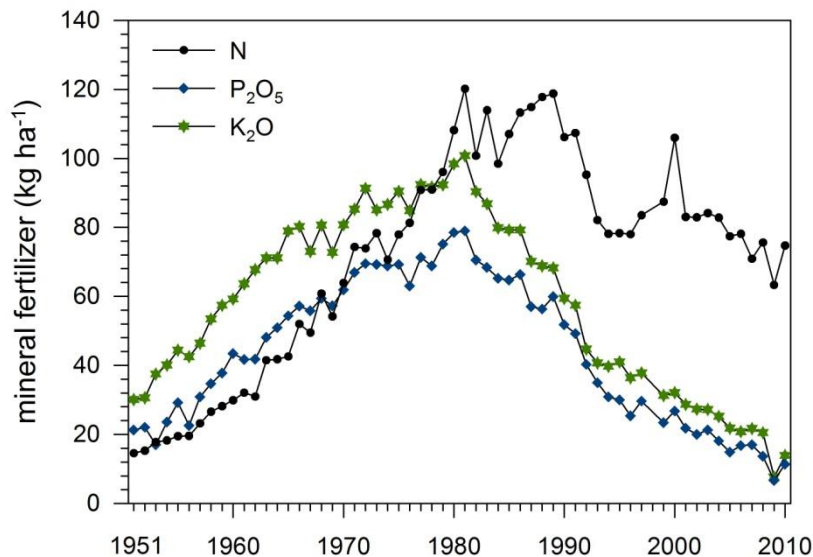
Projekt “Der Humuskörper bayerischer Böden im Klimawandel –
Auswirkungen und Potentiale”

Peter Spörlein, Uwe Geuß, Edzard Hangen, Arthur Reischl und
Bernd Schilling (LfU) für die gute Zusammenarbeit

Abschätzung des OM-Eintrags

□ Ursachen der Stagnierung seit Mitte der 90er Jahre bislang unbekannt, Erklärungsversuche:

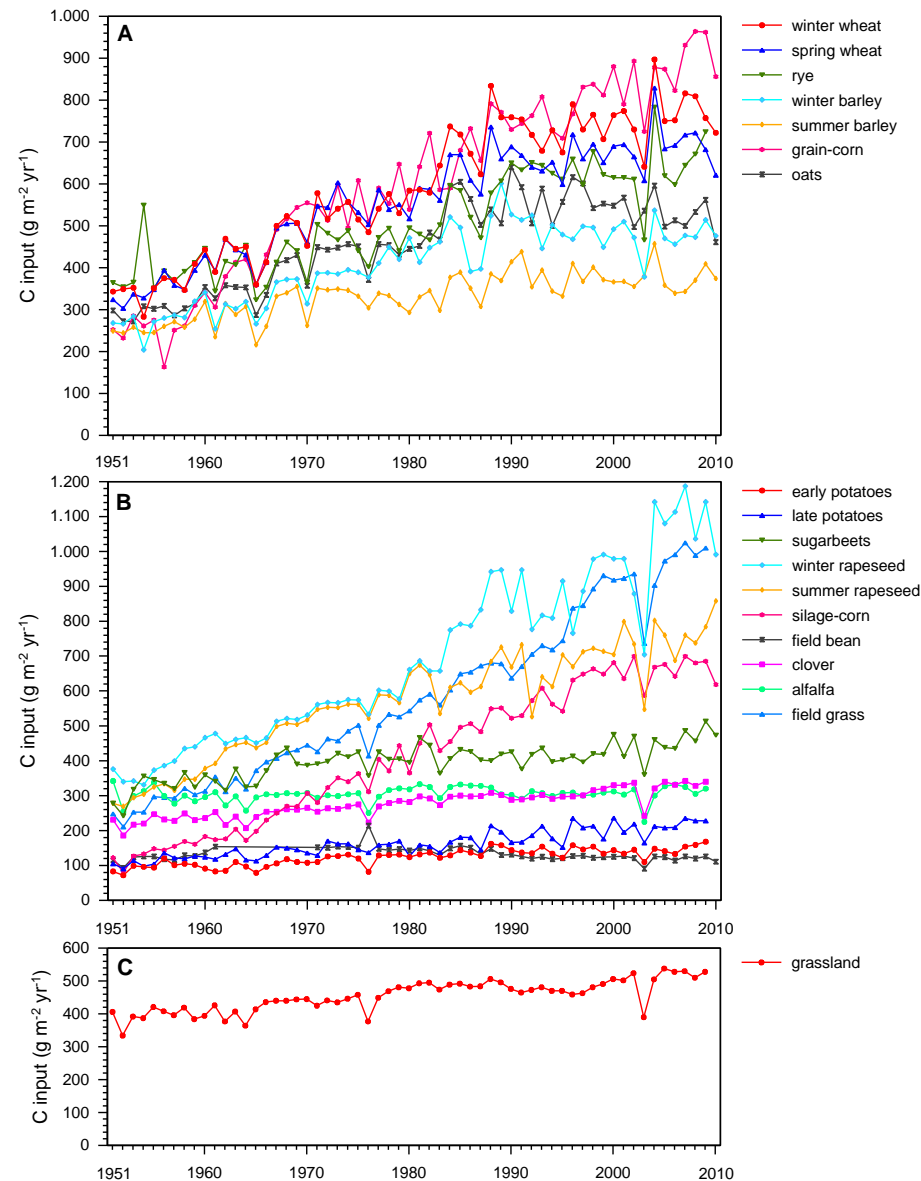
1. sozioökonomische Gründe, Agrarpolitik: EU-Beitritt → sinkender Düngereinput, rückgehender Leguminosenanbau, sinkende Marktpreise
2. Erreichen potentieller Ertragsgrenzen



3. Klimawandel: Dürren, kürzere Vegetationsperiode, Überschreitung des Temperaturoptimums vieler Kulturen → kein Rückgang für Mais, C4-Pflanze mit höherem Temperaturoptimum!

Abschätzung des OM-Eintrags

- Linearer Anstieg bis 1995:
- Getreide: +100 bis 150%
Sonstiges: +130 bis 150%
Grünland: +30%
- Ursachen des Ertragsanstiegs:
50% Züchtungsfortschritt,
50% verbessertes Management
(erhöhte Düngung, Bestandsdichte,
Pestizideinsatz, Technologieinnovationen)
- Beitrag Klimawandel
vernachlässigbar?



(Wiesmeier et al., European Journal of Agronomy, submitted)