

Böden als Quelle und Senke für CO₂

Hilft die Natur beim CO₂-Problem?

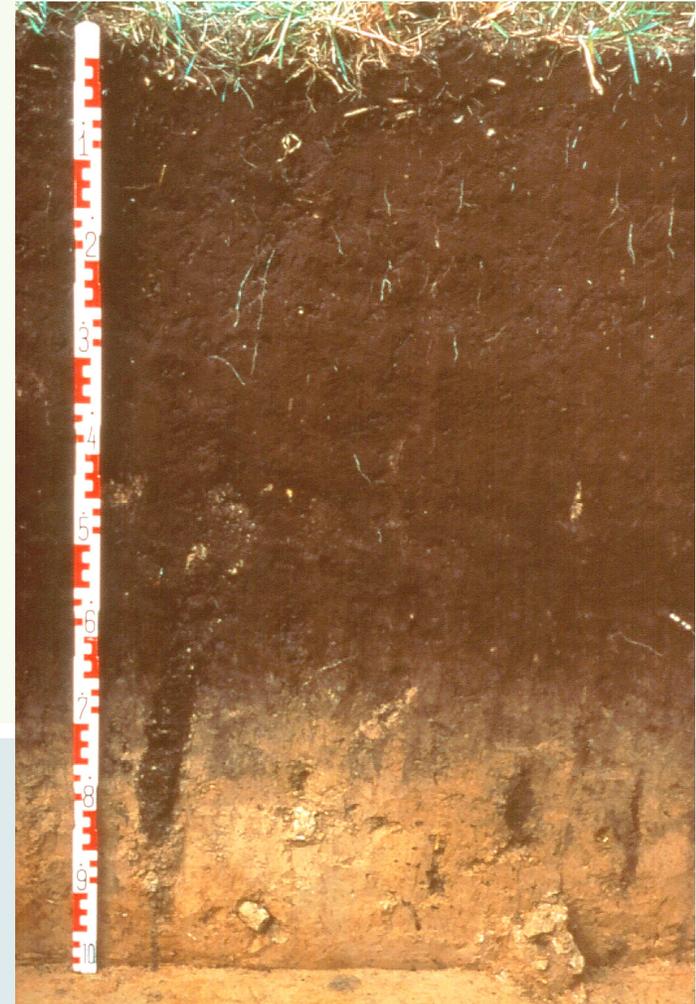


Ingrid Kögel-Knabner

Lehrstuhl für Bodenkunde

Wissenschaftszentrum Weihenstephan für
Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Freising-Weihenstephan



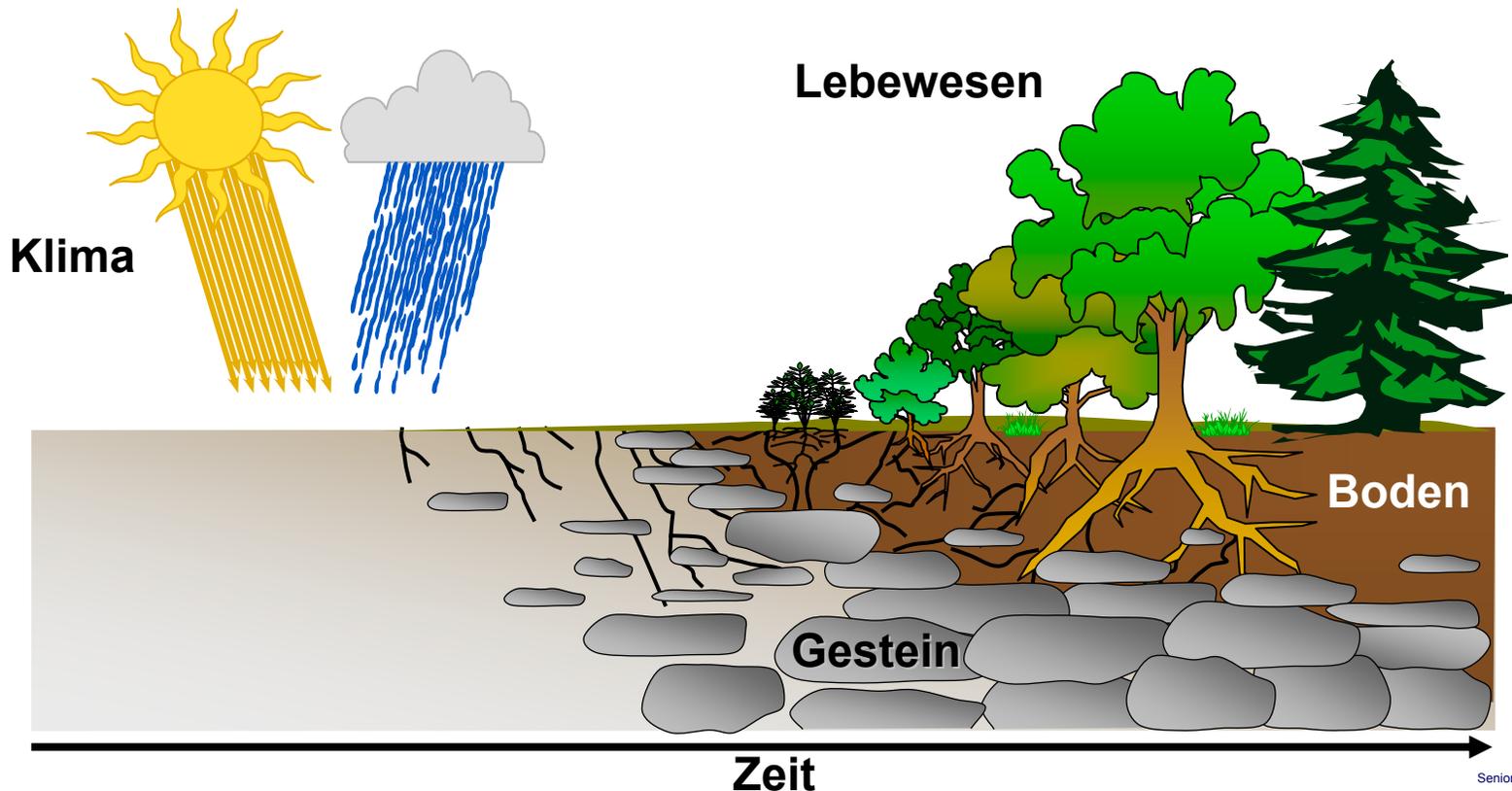
Schwarzerde aus Löß Quelle: AID

Böden – Humus – CO₂

- ❑ Was sind Böden und wie entstehen sie?
- ❑ Böden als C-Speicher
- ❑ Wo findet sich die stabile organische Bodensubstanz?
- ❑ Alter der stabilen organischen Bodensubstanz
- ❑ Welche Verbindungen sind stabil? Lignin ⇔ Polysaccharide
- ❑ Organo-mineralische Verbindungen: Welche Minerale sind relevant für die Stabilisierung? Eisenoxide ⇔ Tonminerale
- ❑ Wie reagieren Böden auf Klimaänderung?

Wie entsteht Boden und woraus besteht er?

- **Bodenbildung**
- **Verwitterung des Ausgangsgesteins**
 - Zerkleinerung und chemische Umwandlung
- **Ansiedlung von Pflanzen → Humusbildung**



Bodenbildungsfaktor Zeit

Alter der heutigen Böden in Mitteleuropa: etwa 12.000 Jahre
Beginn der Bodenentwicklung nach der letzten Eiszeit

Braunerde **Rendzina GIB** **Braunerde Podsol** **Podsol**
aus Geschiebe und Schotter abank des Westerkalks über Geschiebe

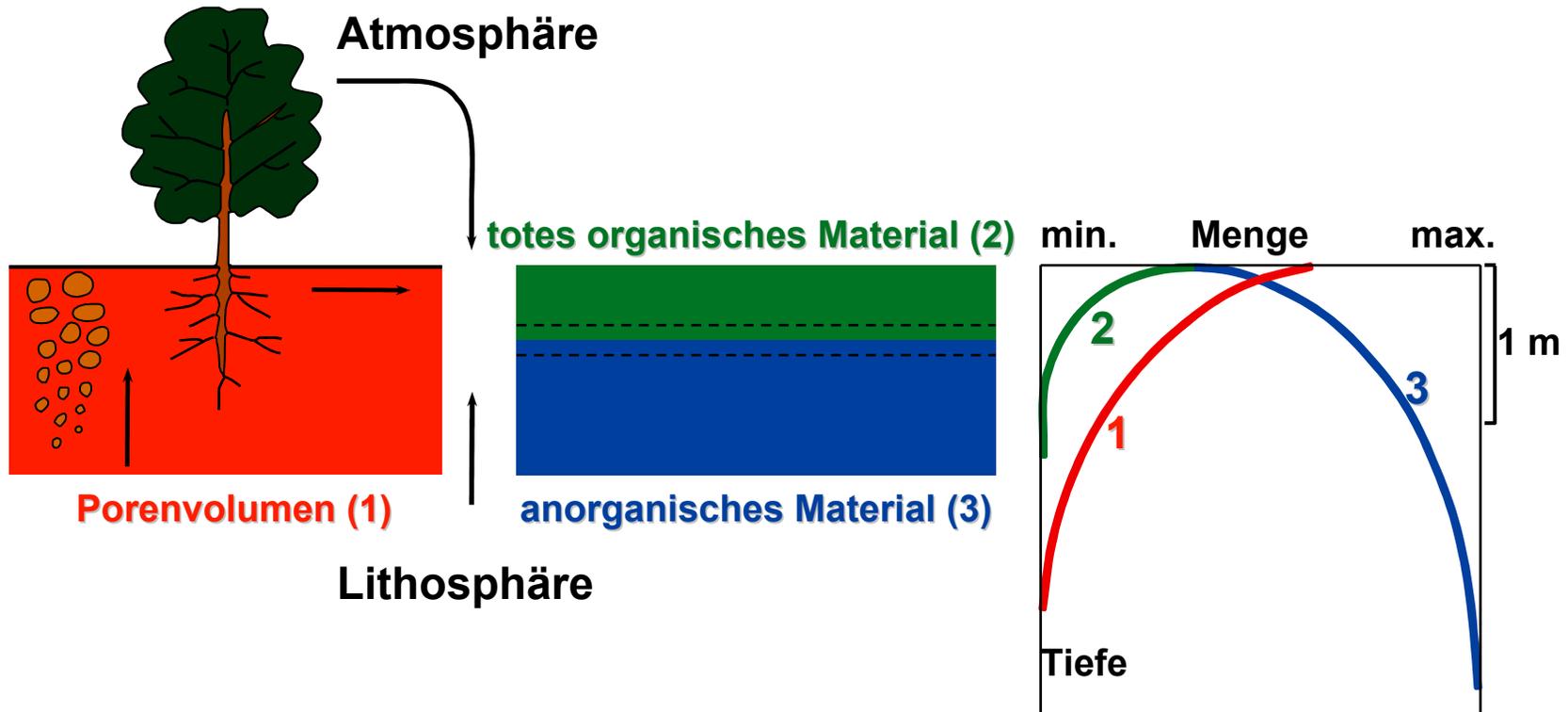


Zoochemie, 4/1971
Gardowitz, Rostock



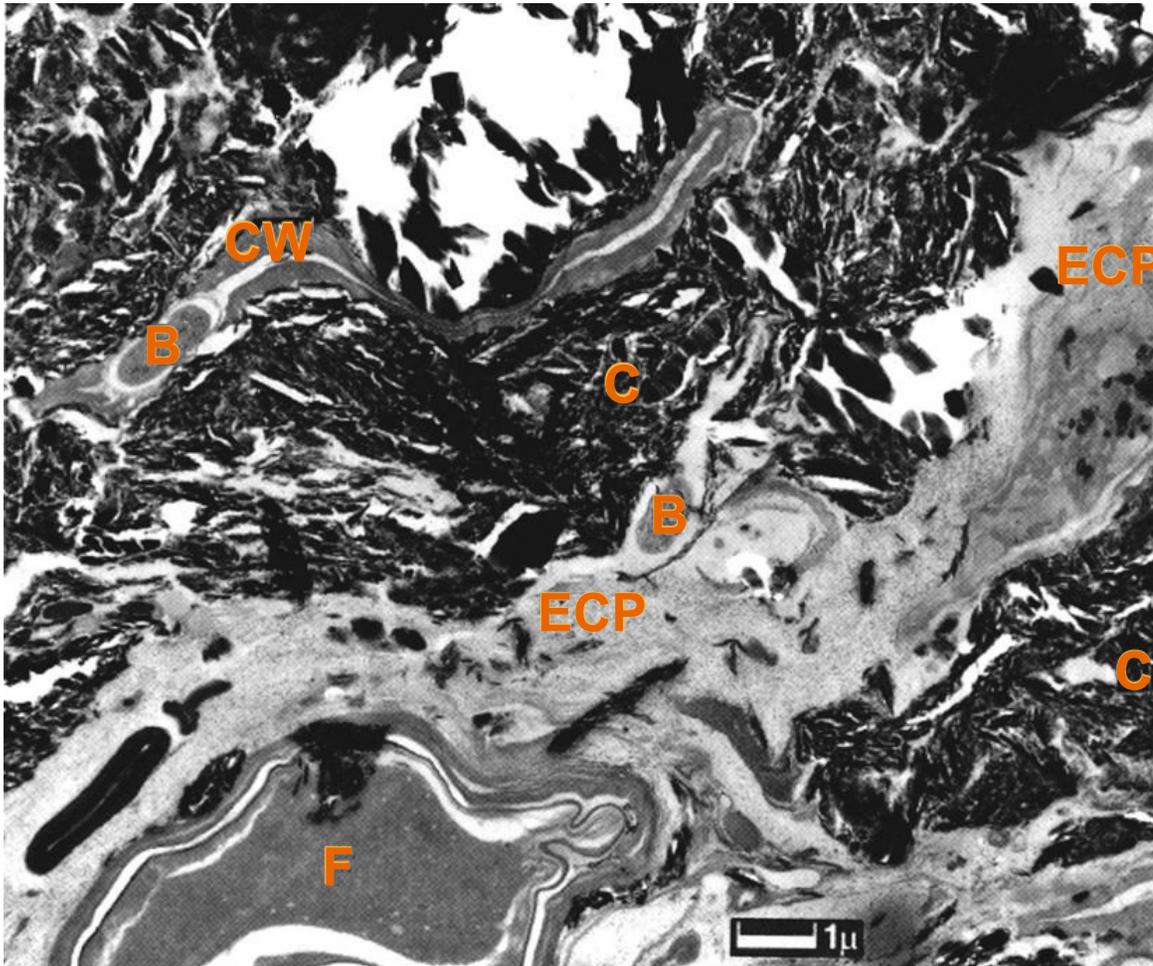
Tachering bei Trostberg

Bodenbildung and der Grenzfläche Atmosphäre-Lithosphäre



→ poröser Körper mit spezifischer Verteilung von
Luft / Wasser / Festphase

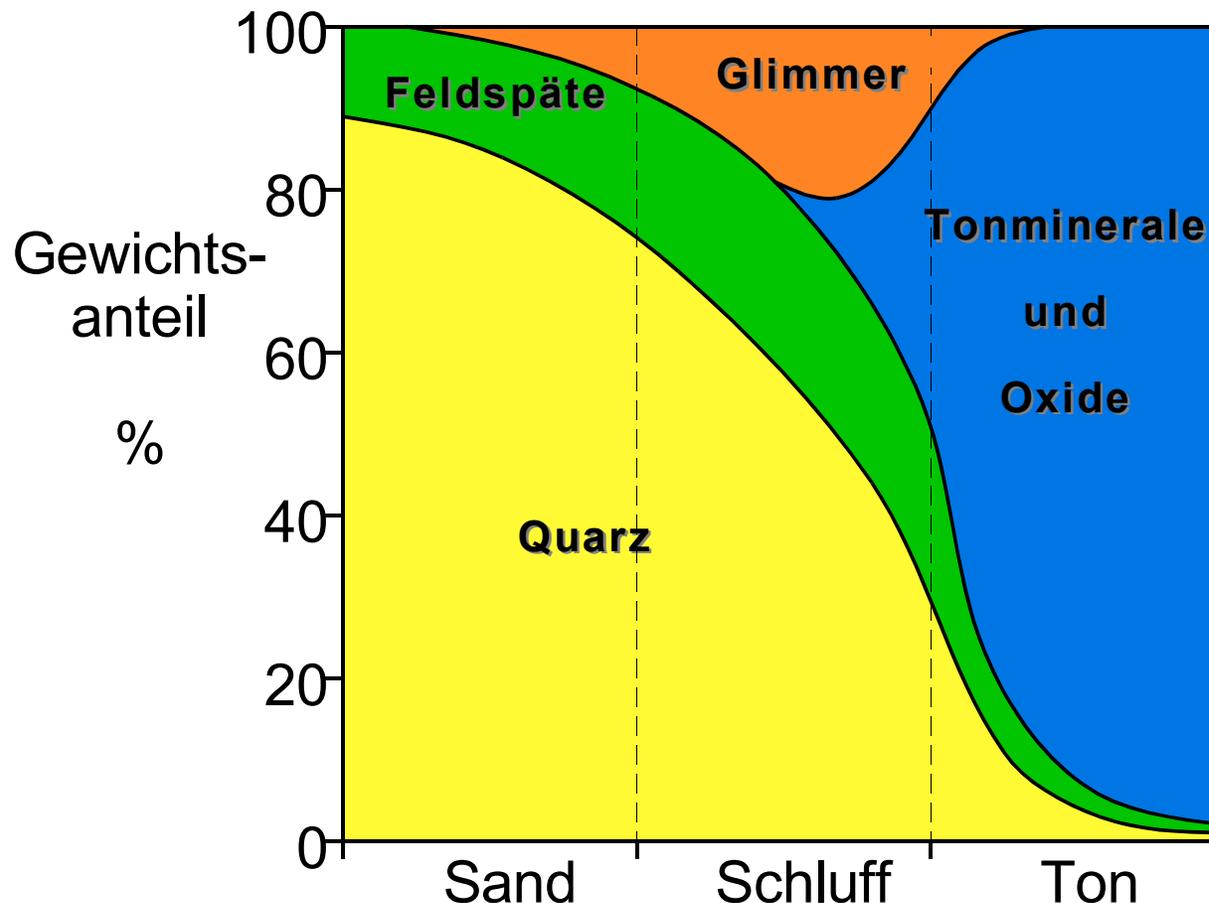
SEM: thin section of soil aggregate



- C** clay microaggregates
- ECP** extracellular polysaccharide
- F** fungal hyphae
- CW** collapsed cell wall
- B** bacterium

Transmission electron micrograph of an ultrathin section of a soil aggregate showing clay microaggregates (**C**) linked by ruthenium/osmium-stained, extracellular polysaccharide (**ECP**) of fungal hyphae (**F**). The wall of a collapsed cell (**CW**) is being lysed by a bacterium (**B**). (from Ladd et al., 1996)

Mineralbestand in den Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton



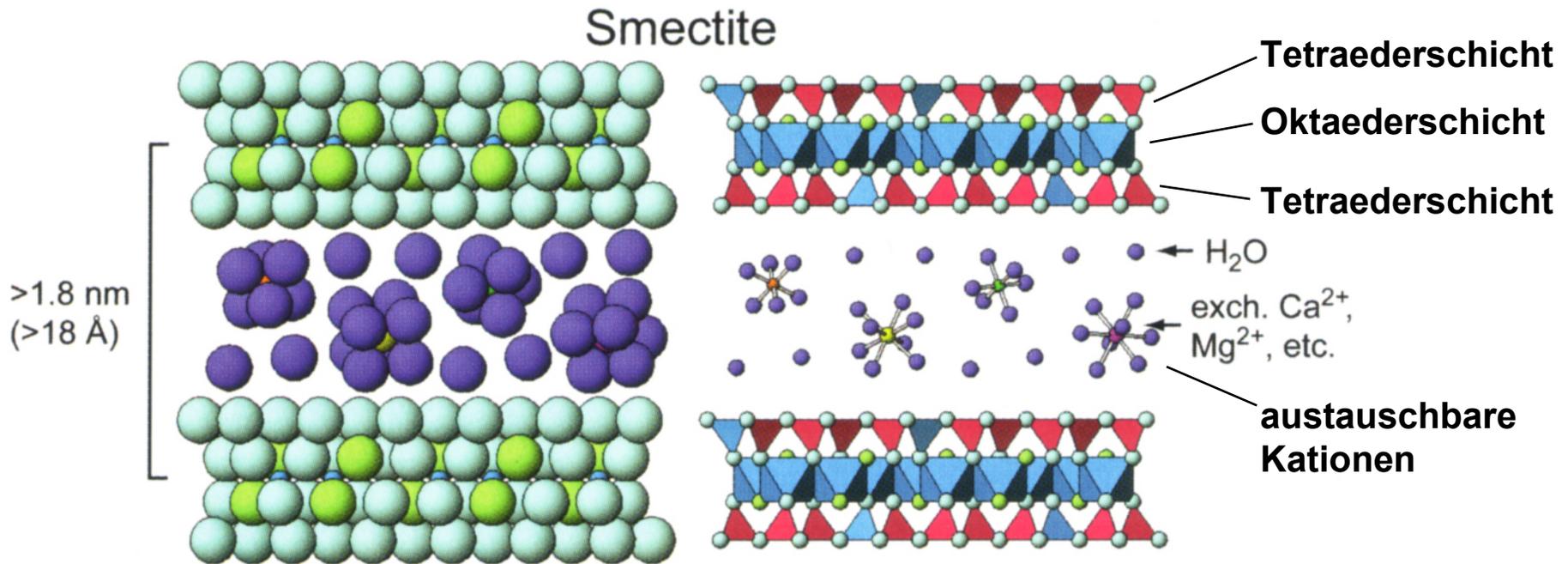
Minerale der Sand- und Schlufffraktion: überwiegend aus dem Gestein ererbt

Minerale der Tonfraktion (< 2 μm): Neubildungen während der Pedogenese

Dreischicht-Mineralerale

Modell eines Smektits

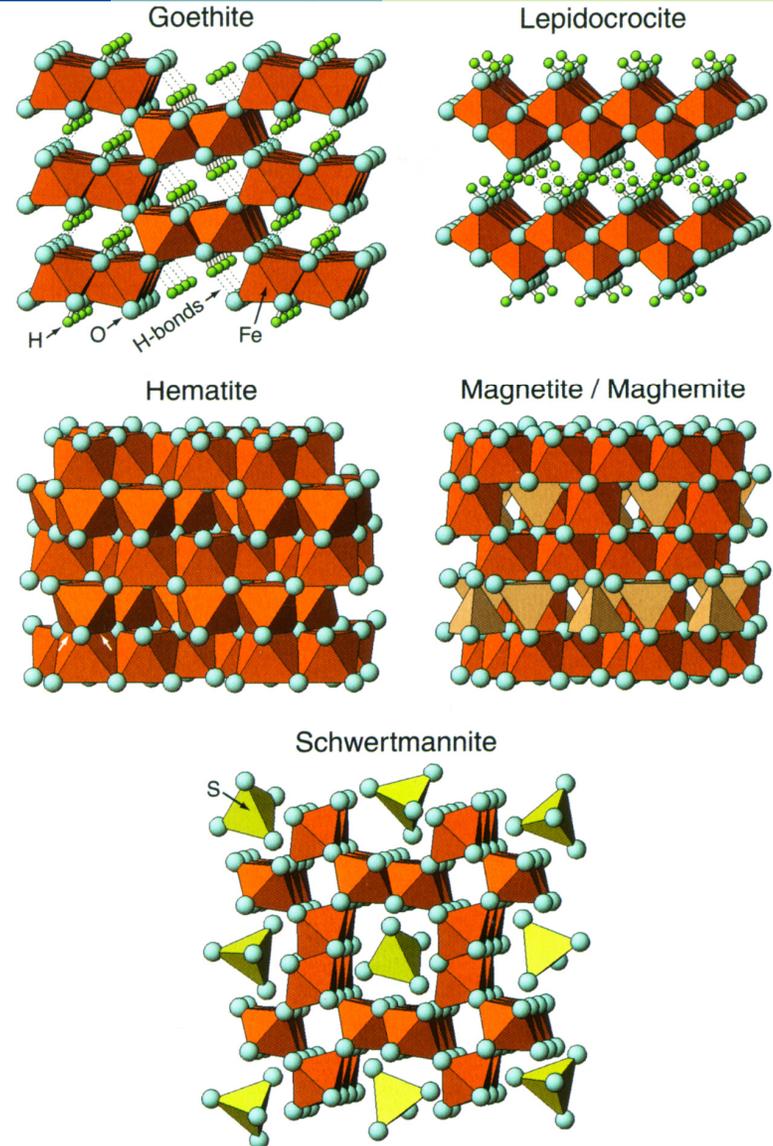
(2:1) Mineral



Fe-Oxide

□ Eigenschaften:

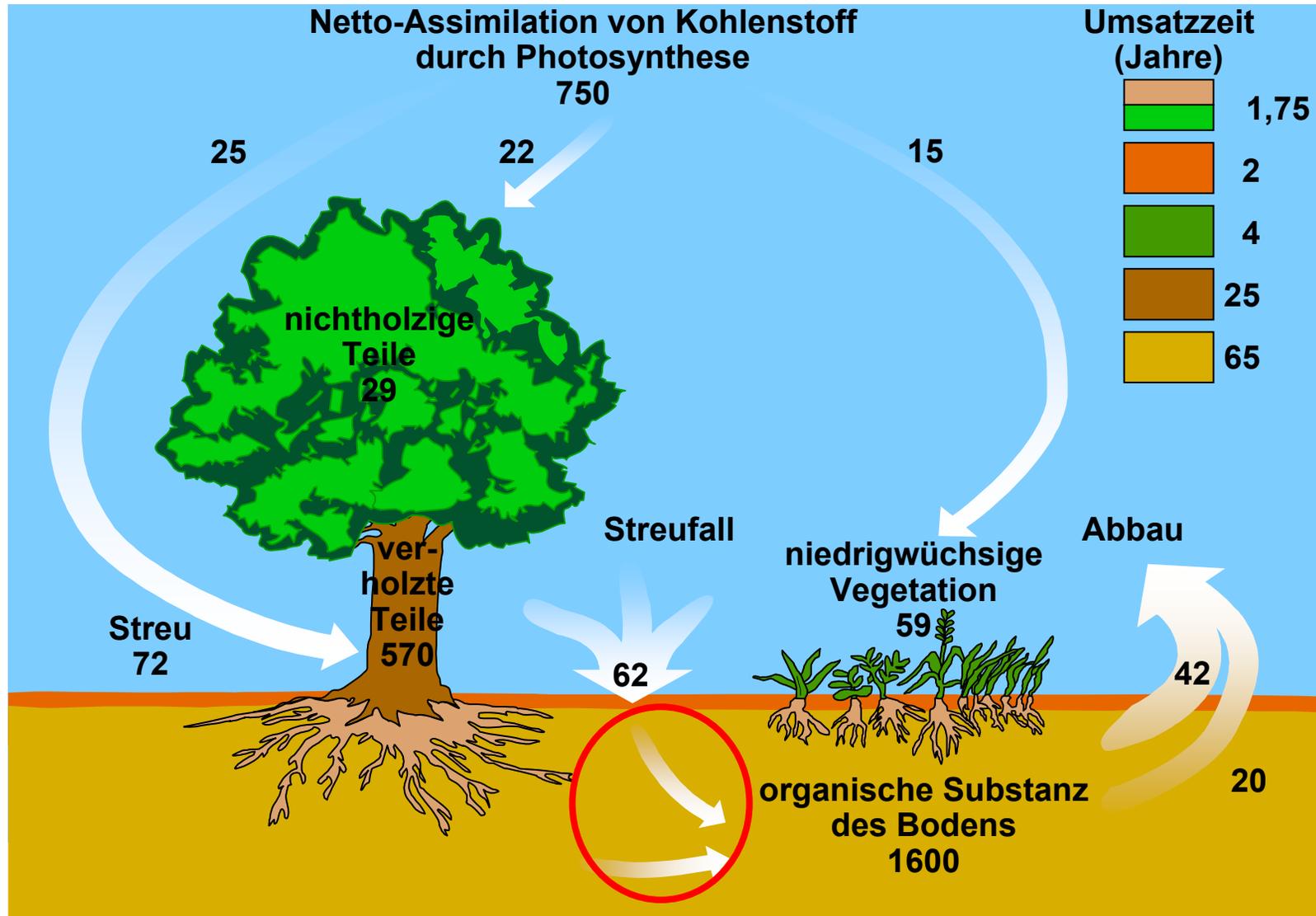
- grün, rot oder braun (Bodenfarbe)
- schlecht bis gut kristallisiert, (Alter, Milieu, Temperatur)
- Oktaederschicht mit Fe^{3+} als Zentralatom
- stabile Endprodukte der Verwitterung



Böden – Humus – CO₂

- Was sind Böden und wie entstehen sie?
- **Böden als C-Speicher**
- Wo findet sich die stabile organische Bodensubstanz?
- Alter der stabilen organischen Bodensubstanz
- Welche Verbindungen sind stabil? Lignin ⇔ Polysaccharide
- Organo-mineralische Verbindungen: Welche Minerale sind relevant für die Stabilisierung? Eisenoxide ⇔ Tonminerale
- Wie reagieren Böden auf Klimaänderung?

Terrestrische C-Pools (Gt)



C-Speicherung im Boden

KYOTO Protokoll vom 11.12.1997 fordert:

Reduktion der CO₂-Freisetzung in die Atmosphäre um 5% bis 2008-2012 gegenüber den Emissionen von 1990

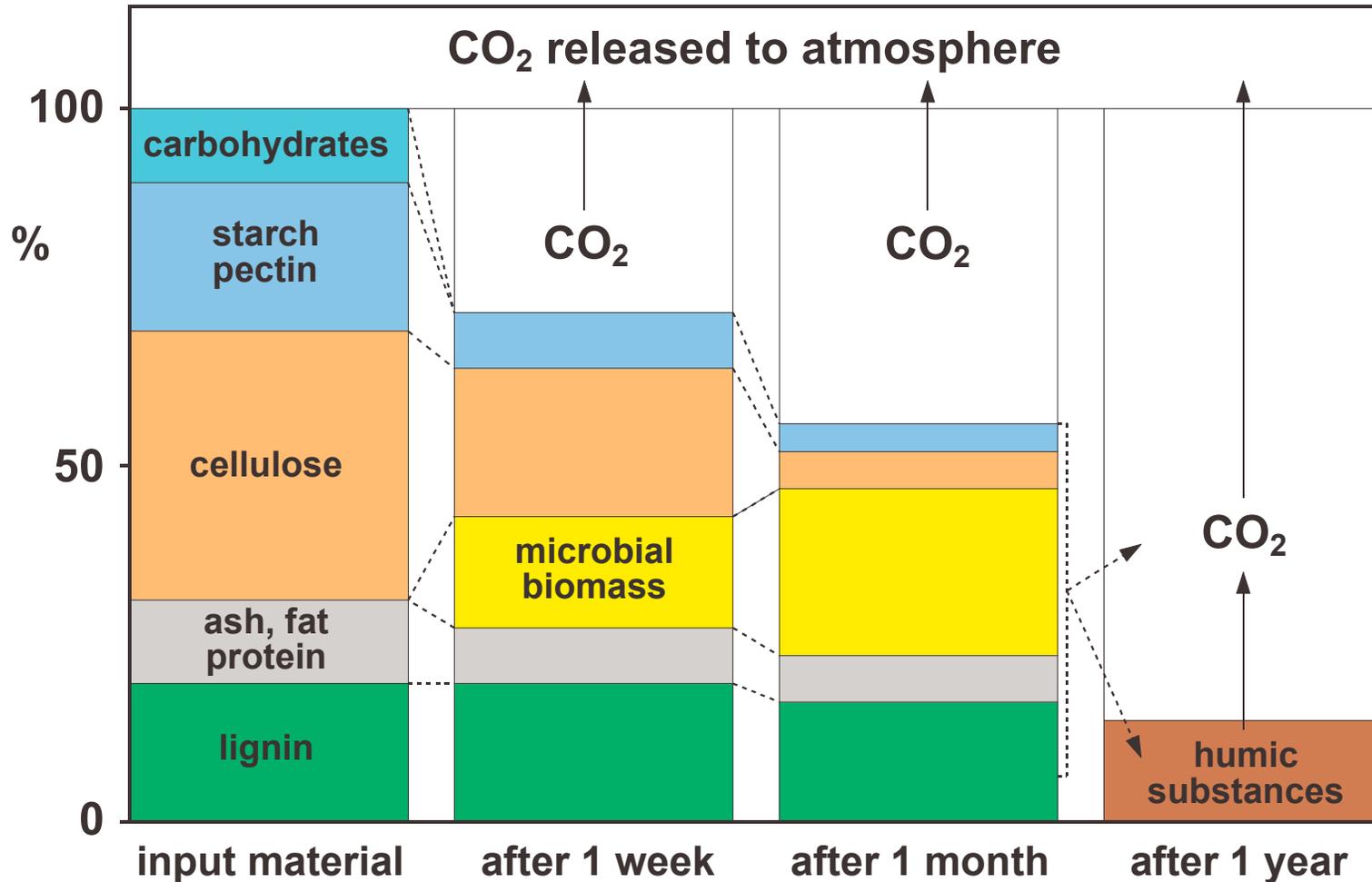
Böden sind große C-Reservoirs

Böden speichern etwa 2,5 x soviel organischen C wie die terrestrische Vegetation und 2 x soviel wie die Atmosphäre

Die **C-Speicherkapazität** der Böden schwankt abh. von:

- Klima
 - Bewirtschaftung ↔ anthropogener Humusspiegel
 - Textur, Mineralogie
- ➔ Umsatzzeiten von stabilisierten OS sind **keine absoluten Werte**, sondern abhängig von Einflussfaktoren

Humification of plant residues in soils



from Haider, 1996

AMRT levels for different depths of soil profiles

Soil order	Ascent of regression line Correlation factor	Corresponding AMRT of regression line (BC)					
		10 cm	20 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
Alfisols	0.4651 0.739	480	960	2400	4800	7200	9600
Inceptisols (Plaggepts)	0.0225 0.209	870	920	1000	1160	1350	1490
Mollisols	0.4695 0.888	750	1240	2700	5150	8050	10000
Spodosols	0.0747 0.332	1350	1430	1680	2100	2520	2930
Vertisols	0.4014 0.772	0	410	1620	3650	5670	7700
All soils	0.4415 0.755	460	920	2300	4600	6900	9200

13 Alfisols, 16 Inceptisols (most Plaggepts), 47 Mollisols, 9 Spodosols, 44 Vertisols.

Paleosols were not included; soil profiles were sampled in Europe, Australia, Israel, Sudan and Argentina

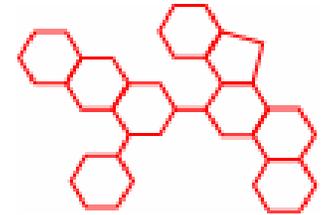
AMRT apparent mean residence time (from Scharpenseel, 1996)

Stabilisierung organischer Substanz im Boden

Drei Mechanismen (Sollins et al, 1996; Lützwow et al., 2006)

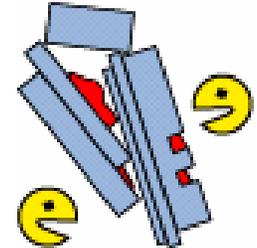
□ Recalcitranz

Molekulare Eigenschaften organischer Substanzen, die den mikrobiellen Abbau erschweren.



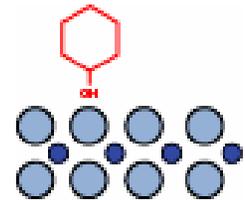
□ Räumliche Zugänglichkeit

Die **räumliche Lage** organischer Substanz im Boden beeinflusst die Zugänglichkeit für Organismen und Enzyme.



□ Bindung an die Mineralphase

Molekulare Interaktionen von **Oberflächen** organischer Substanzen und Mineralen (oder anderen organischen Substanzen).

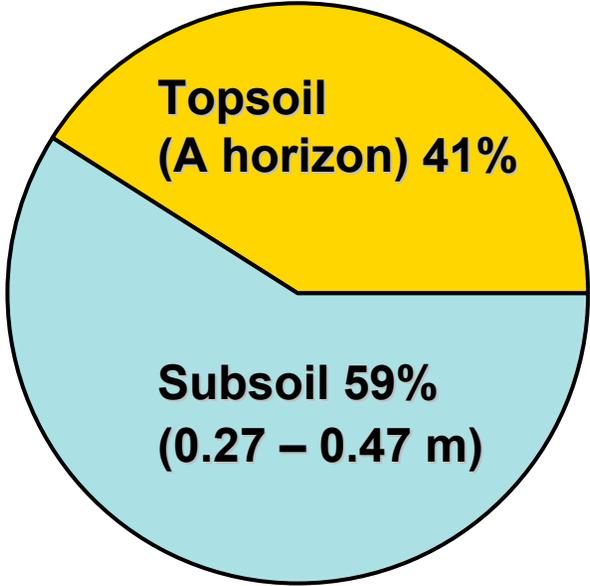


Böden – Humus – CO₂

- Was sind Böden und wie entstehen sie?
- Böden als C-Speicher
- **Wo** findet sich die stabile organische Bodensubstanz?
- **Alter** der stabilen organischen Bodensubstanz
- Welche Verbindungen sind stabil? Lignin ⇔ Polysaccharide
- Organo-mineralische Verbindungen: Welche Minerale sind relevant für die Stabilisierung? Eisenoxide ⇔ Tonminerale
- Wie reagieren Böden auf Klimaänderung?

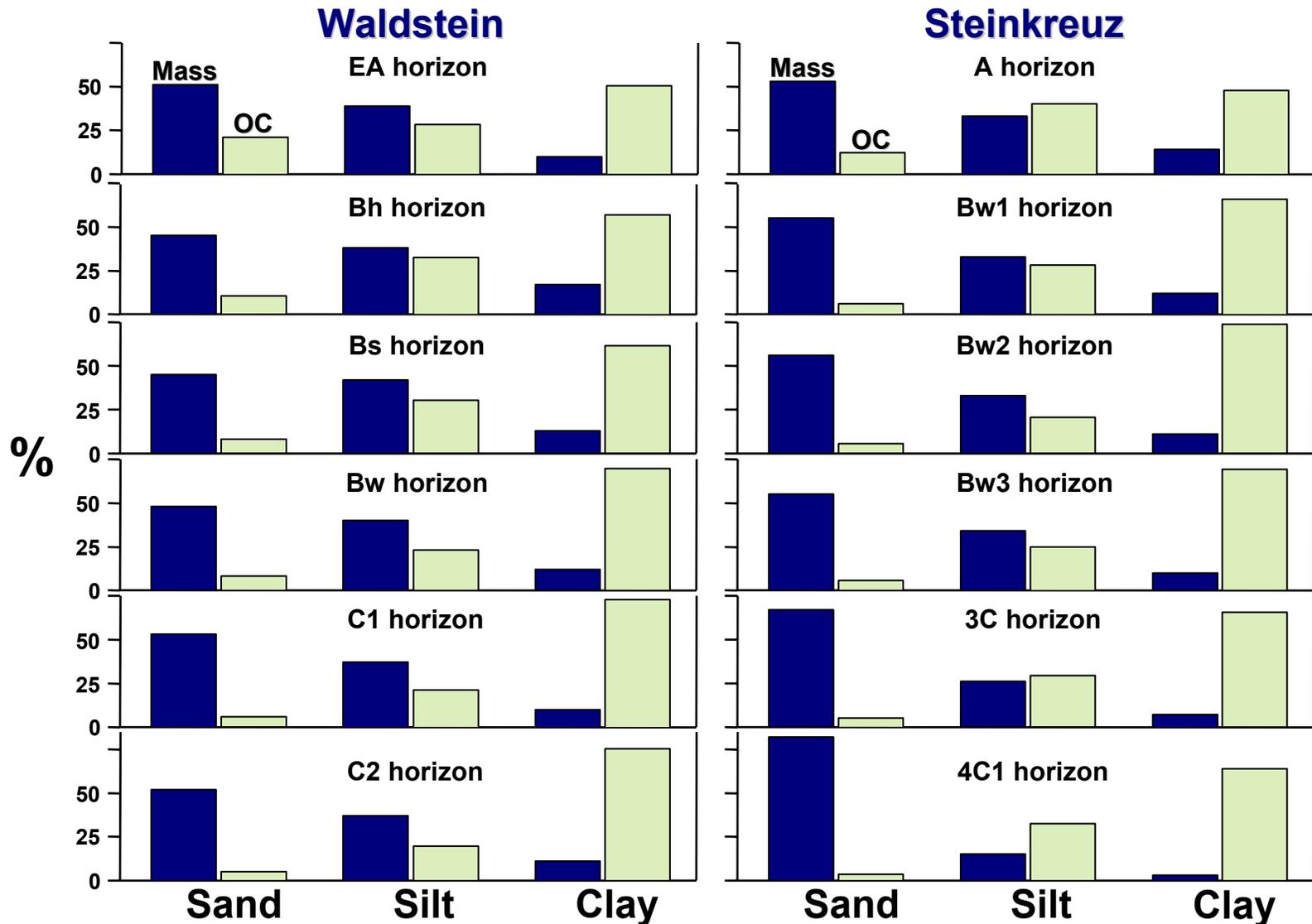
Carbon stocks in forest soils

Leinefelde, Rendzic Luvisols under European beech

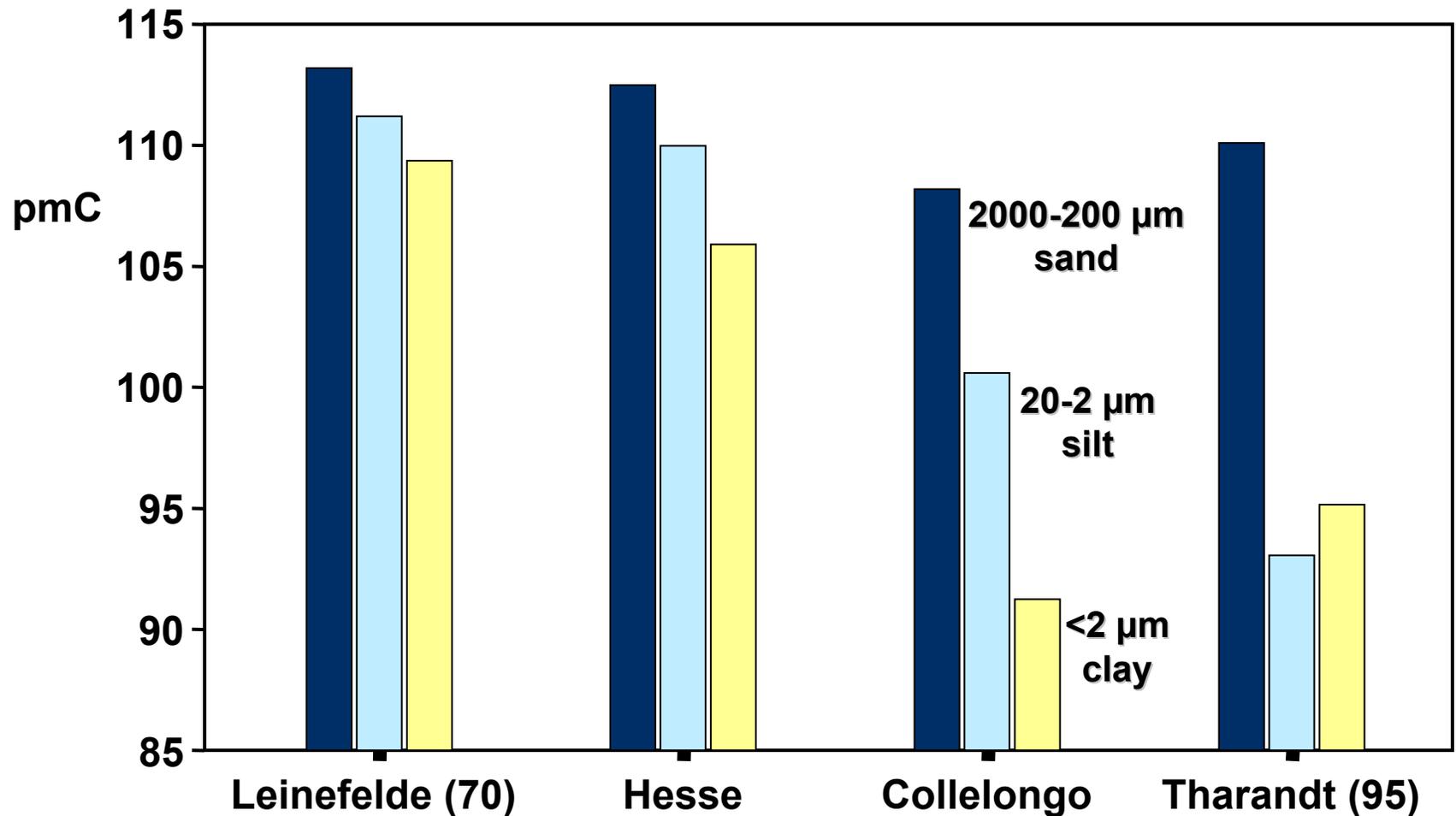
Age [years]	OC [kg m ⁻²]	% OC in subsoil	Average OC distribution
40 (1)	9.0	46 %	 <p>Topsoil (A horizon) 41%</p> <p>Subsoil 59% (0.27 – 0.47 m)</p>
40 (5)	8.7	65 %	
70	6.4	51 %	
120	5.6	66 %	
150 + 15	6.7	68 %	

Major part of OC is stored in the subsoils

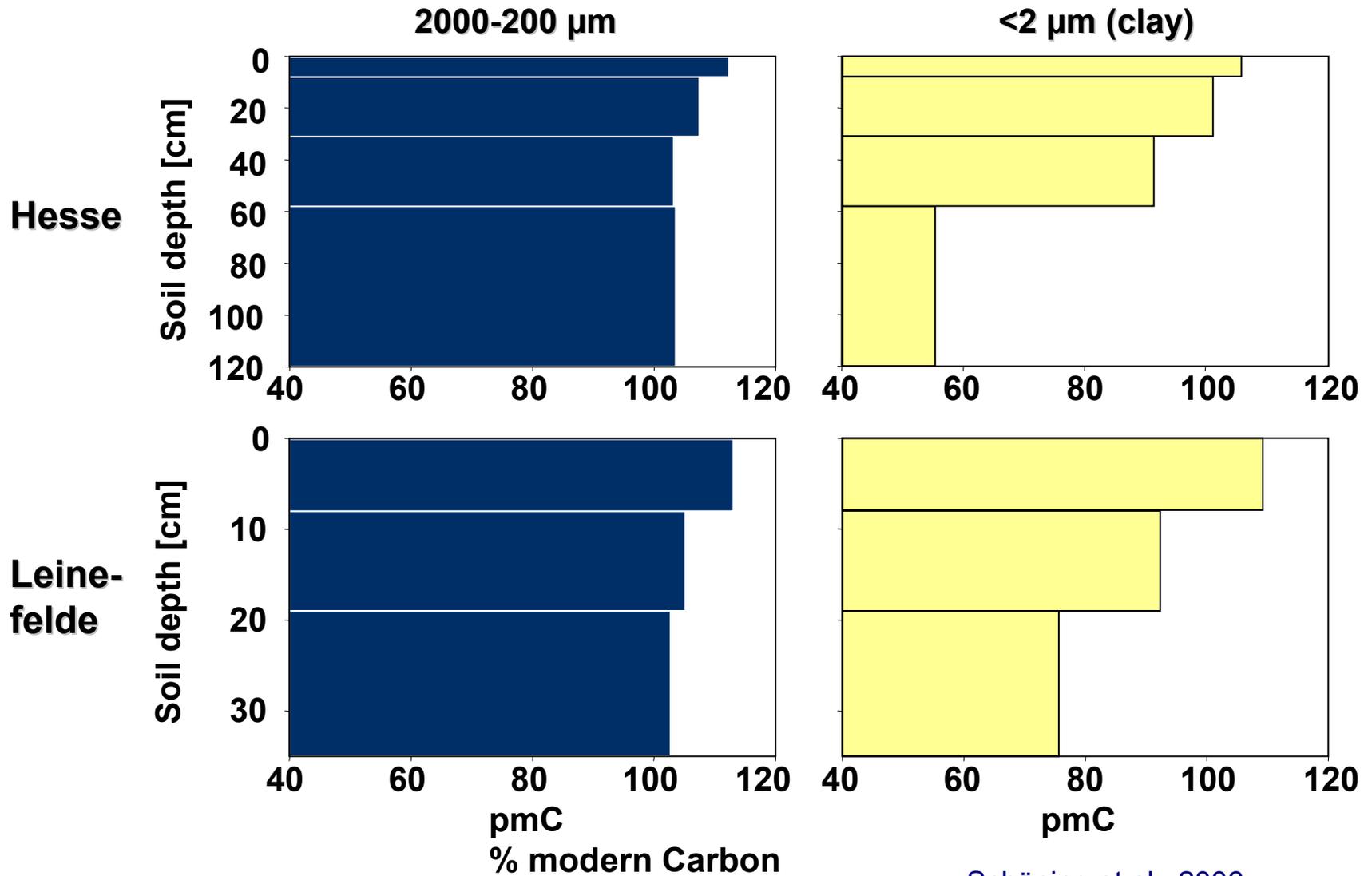
Size fractions: mass and OC distribution in forest soils



Radiocarbon dating: particle size fractions of A horizons under European beech



Radiocarbon dating: Sand - clay fraction with depth



Schöning et al., 2006

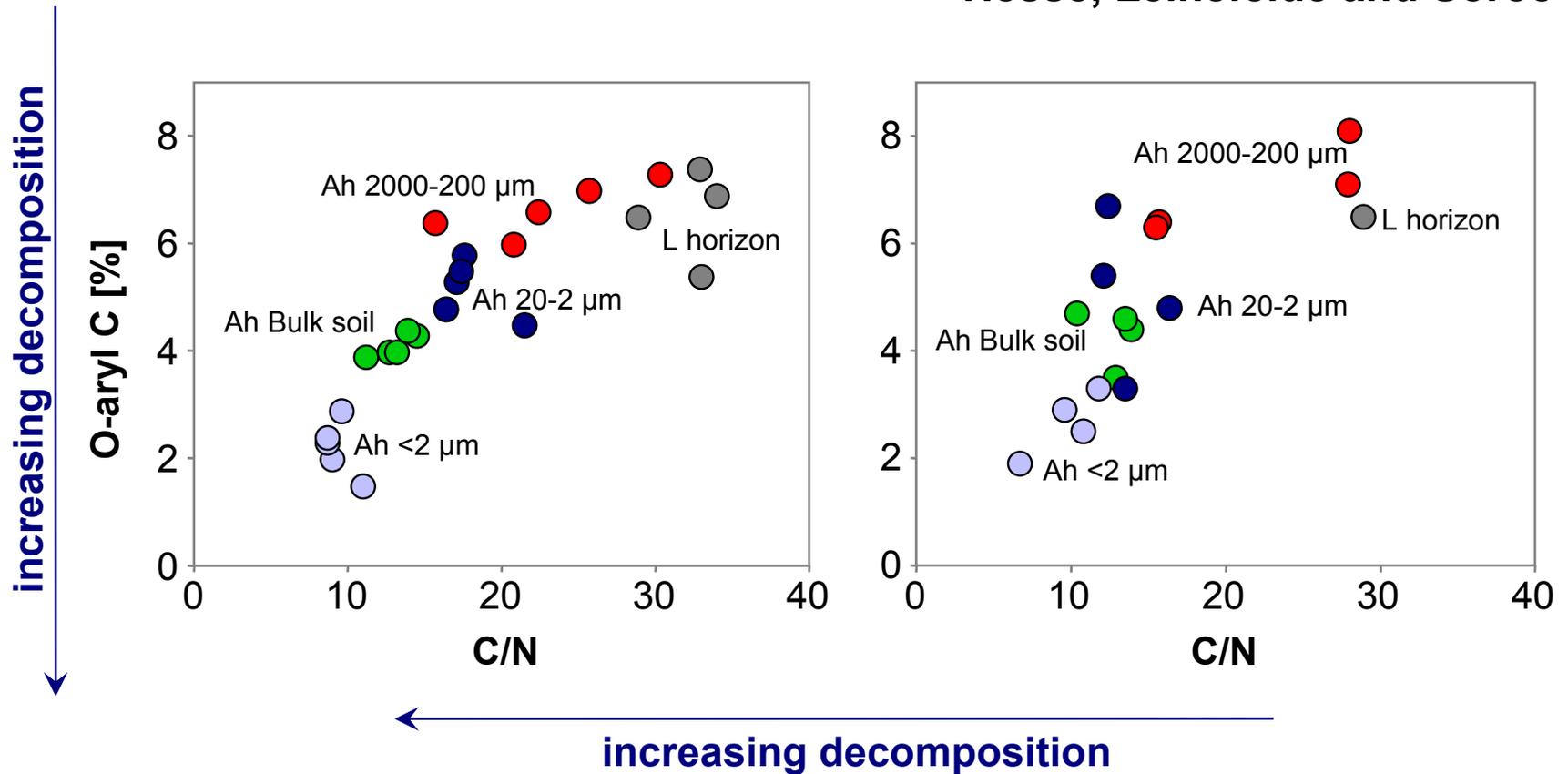
Böden – Humus – CO₂

- Was sind Böden und wie entstehen sie?
- Böden als C-Speicher
- Wo findet sich die stabile organische Bodensubstanz?
- Alter der stabilen organischen Bodensubstanz
- Welche **Verbindungen** sind stabil? Lignin ⇔ Polysaccharide
- Organo-mineralische Verbindungen: Welche Minerale sind relevant für die Stabilisierung? Eisenoxide ⇔ Tonminerale
- Wie reagieren Böden auf Klimaänderung?

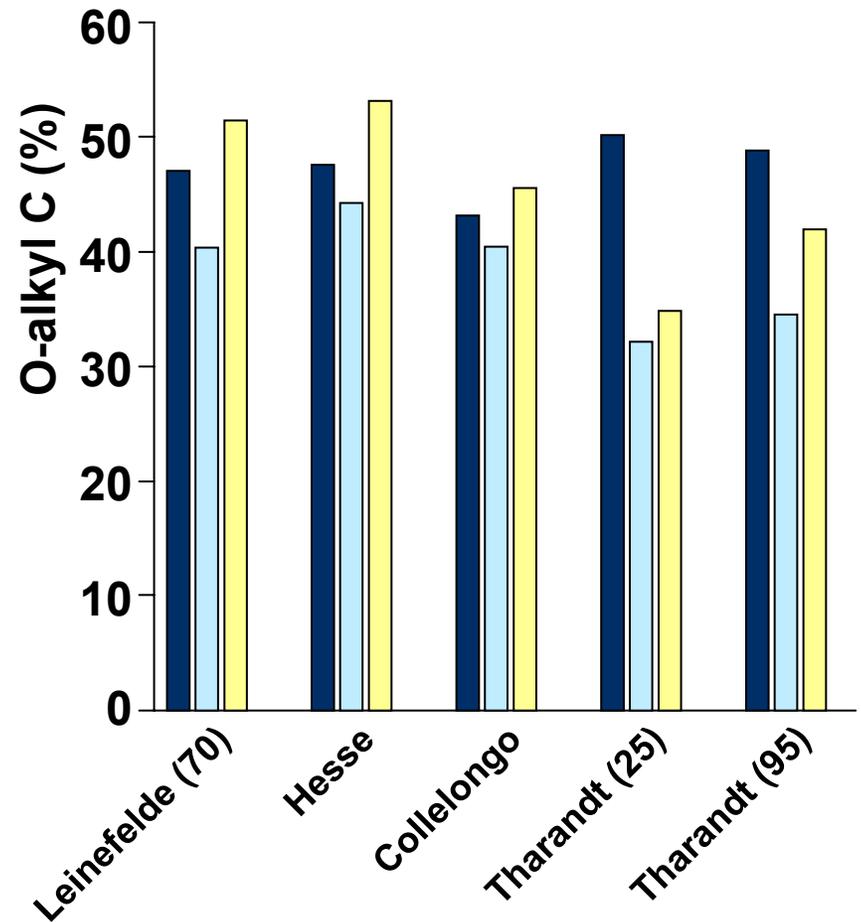
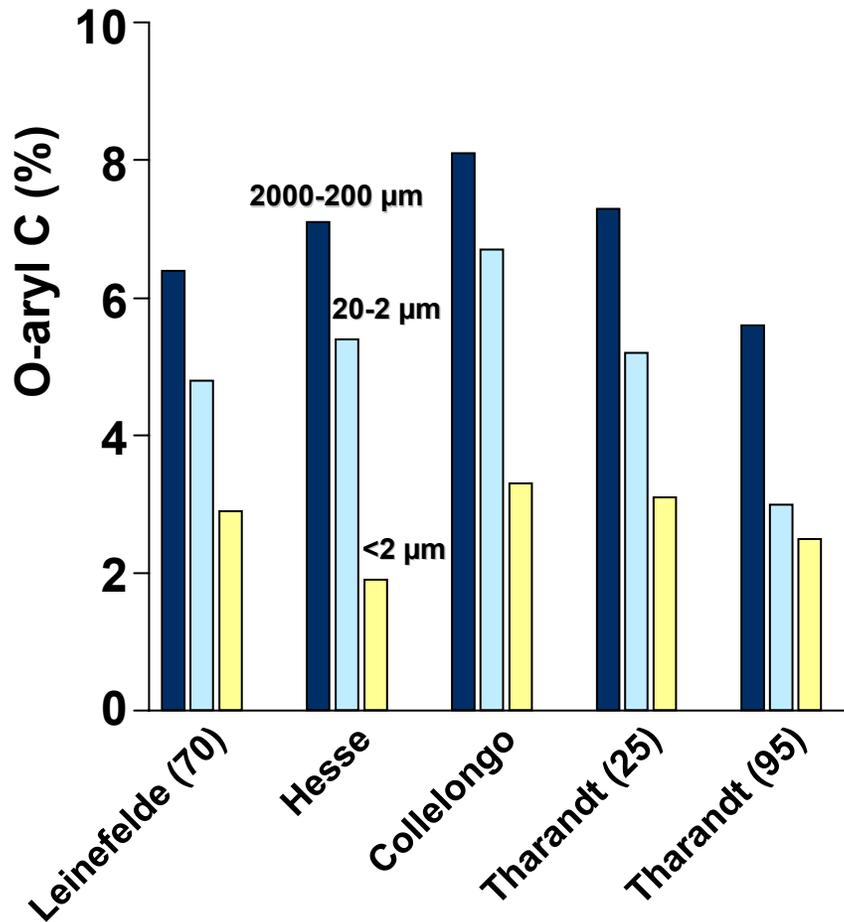
O-aryl C (lignin) in particle-size fractions

Beech chronosequence Leinefelde

Beech stands in Collelongo
Hesse, Leinefelde and Soroe



O-aryl (lignin) and O-alkyl C (polysaccharides) in particle size fractions: A horizons under European beech



Welche Mechanismen sind von Bedeutung?

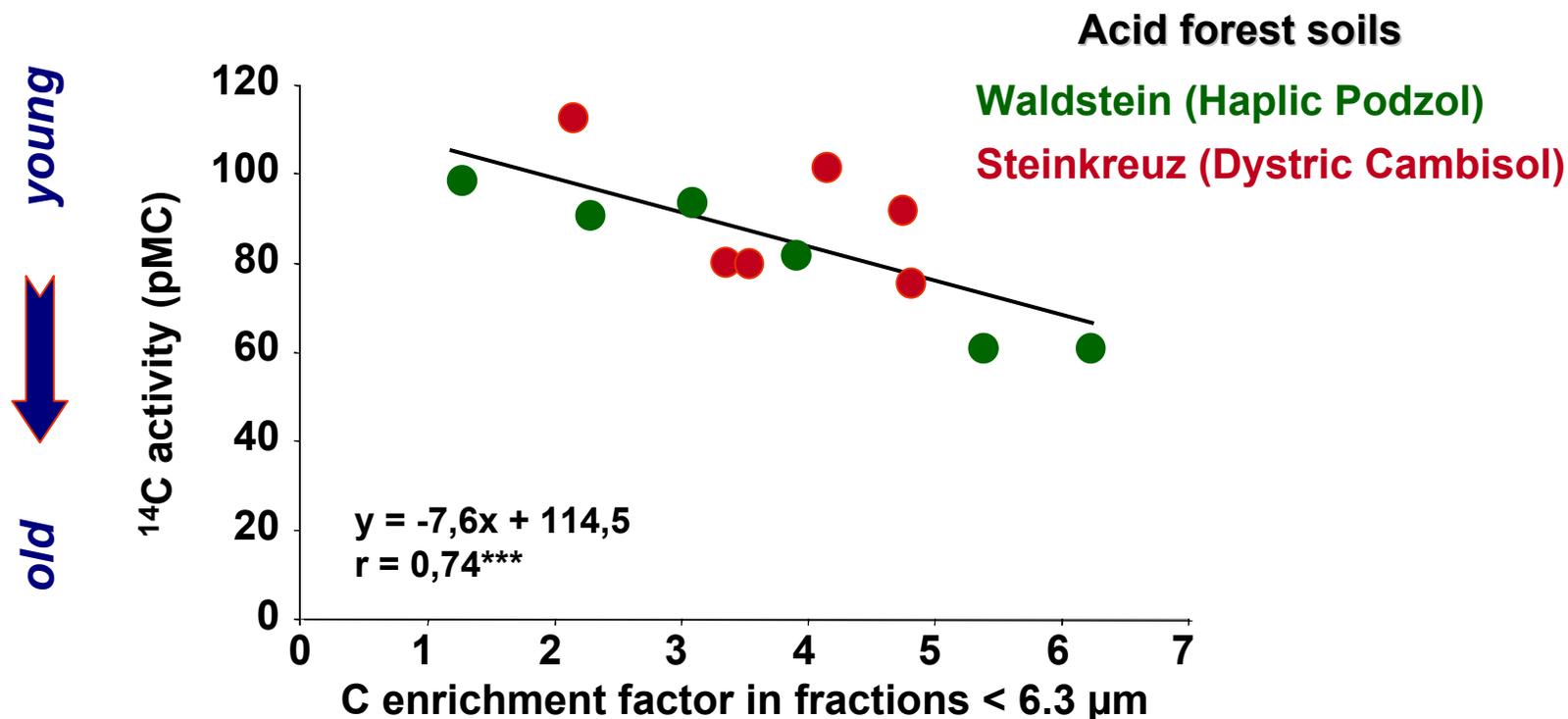
- ❑ Rekalzitranz organischer Moleküle kann die hohen Alter der organischen Bodensubstanz nicht erklären
 - ❑ Organische Verbindungen werden in Böden nicht proportional zu ihrer Abbaubarkeit angereichert (Polysaccharide ⇔ Lignin)
- **Aktive Stabilisierungsmechanismen spielen eine große Rolle**

Böden – Humus – CO₂

- Was sind Böden und wie entstehen sie?
- Böden als C-Speicher
- Wo findet sich die stabile organische Bodensubstanz?
- Alter der stabilen organischen Bodensubstanz
- Welche Verbindungen sind stabil? Lignin ⇔ Polysaccharide
- Organo-mineralische Verbindungen: Welche Minerale sind relevant für die Stabilisierung? Eisenoxide ⇔ Tonminerale**
- Wie reagieren Böden auf Klimaänderung?

Organo-mineral interactions

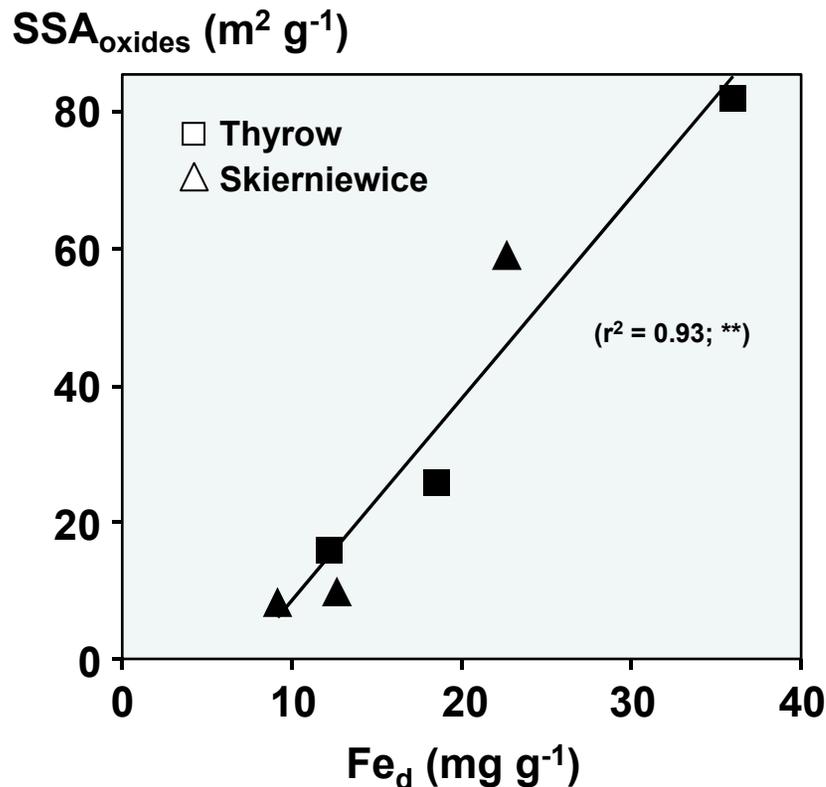
Relation between C stabilization (radiocarbon age) and C enrichment in fine fractions



high enrichment factor (i.e. more C is bound in fine fractions) -
low ^{14}C activity (old organic matter)

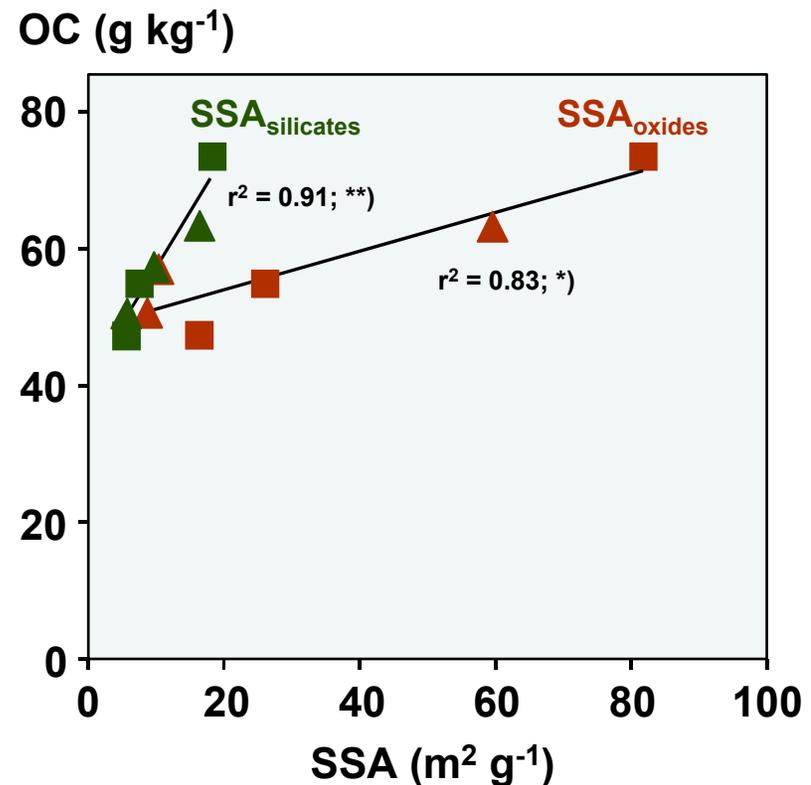
OC in relation to oxide/silicate surface area

SSA_{oxides} versus Fe_d



□ Oxide SA is correlated with Fe_d contents

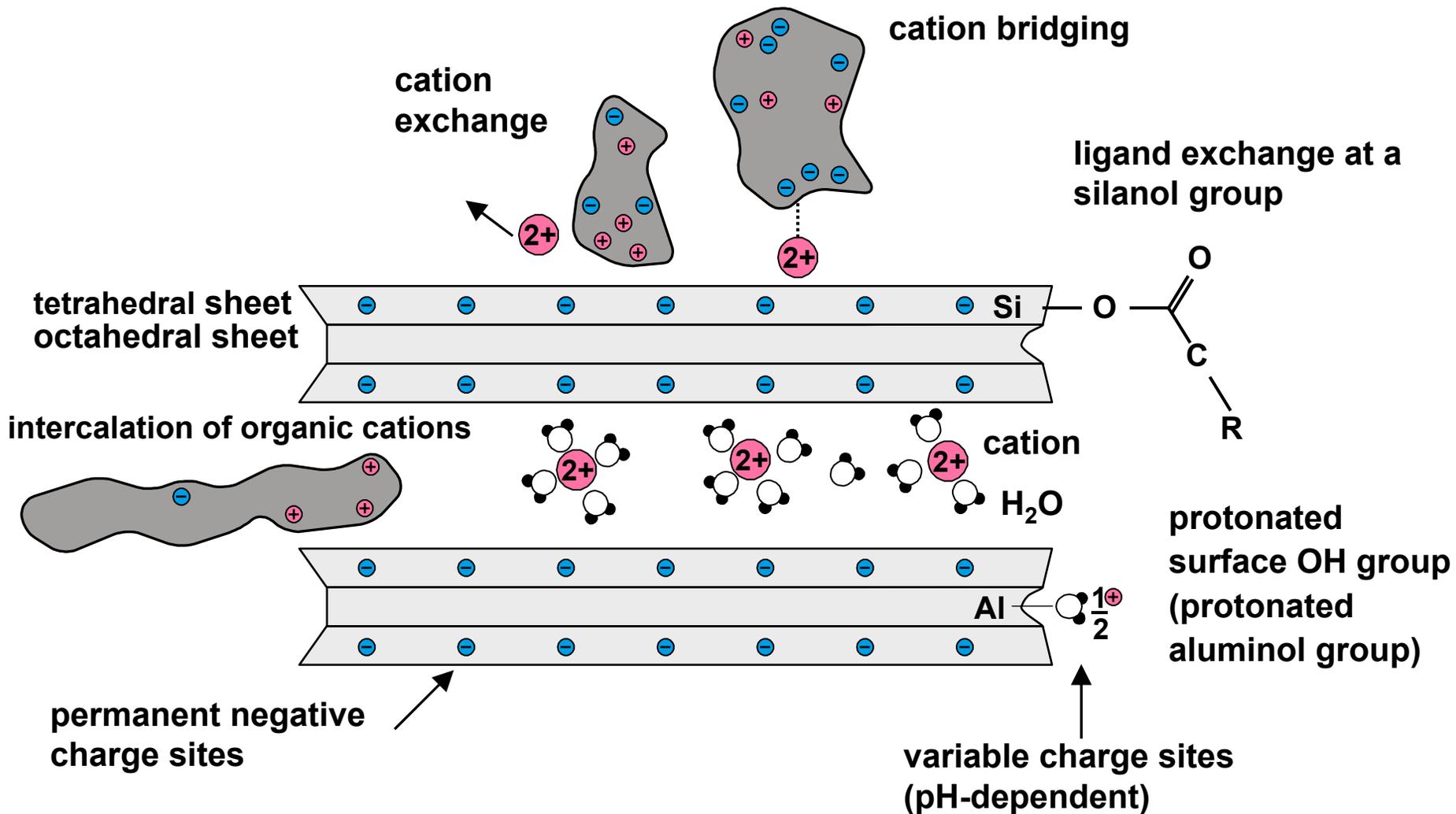
OC versus SSA



□ OC is correlated with oxide and silicate SA

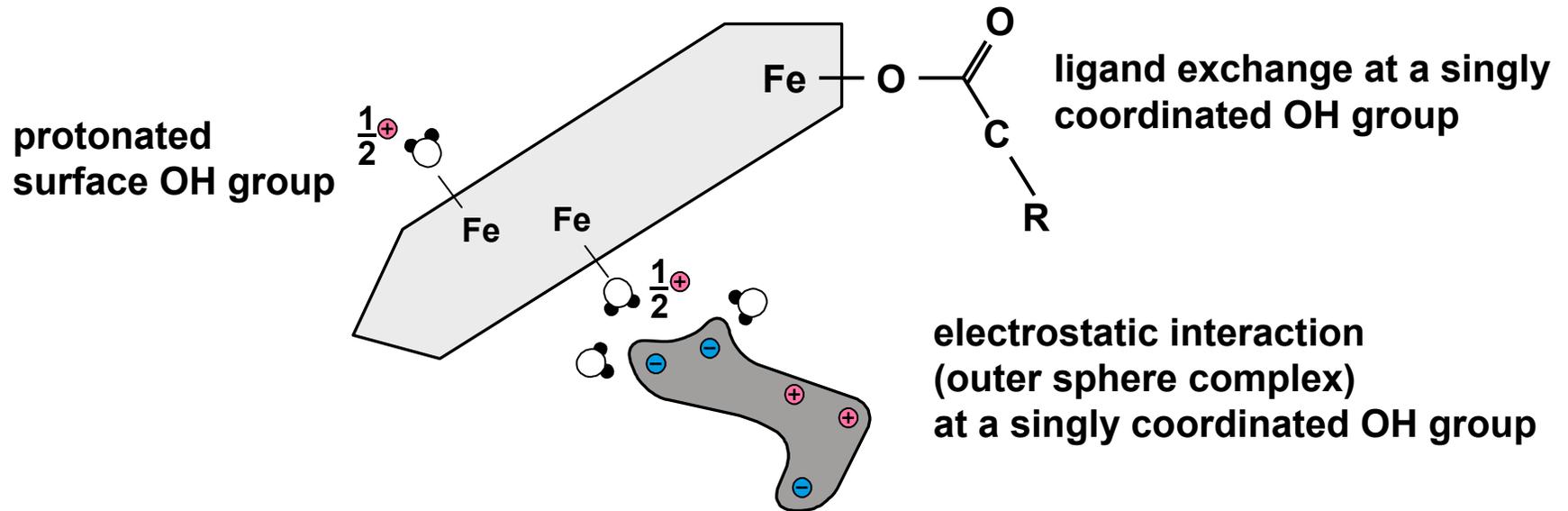
Organo-mineral associations

Phyllosilicate with permanent charge sites

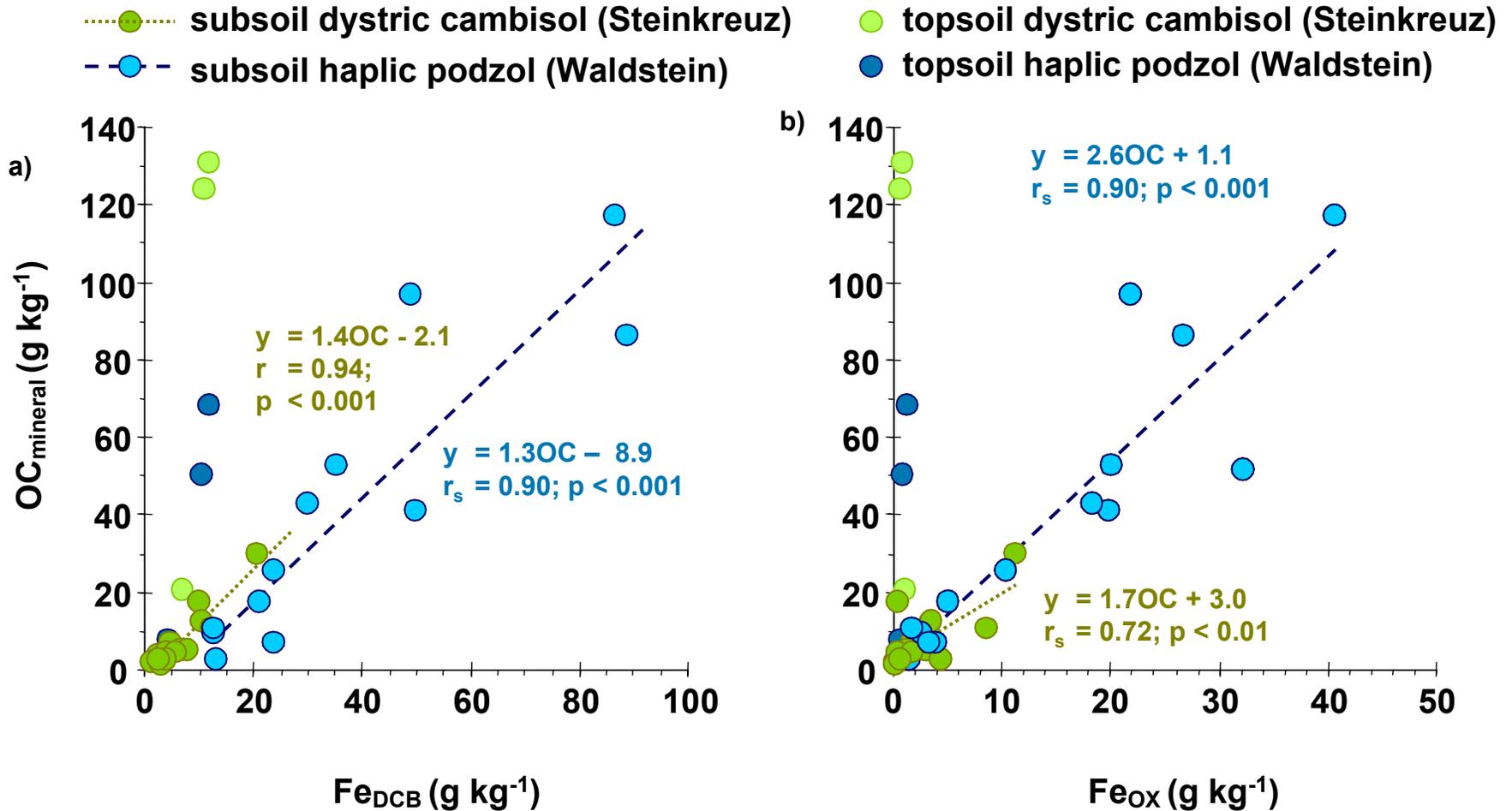


Organo-mineral associations

Fe oxyhydroxide with variable charge sites



OC in organomineral associations – iron oxides



Unterböden: konstantes „surface loading“, Braunerde: 1.2 mg m⁻², Podsol: 1.6 mg m⁻², „monolayer equivalent“ (Keil et al., 1994): 0.6 – 1.5 mg m⁻²

Oberböden: deutlich mehr C sorbiert, → höheres loading, zusätzliche C-Trägerphasen?

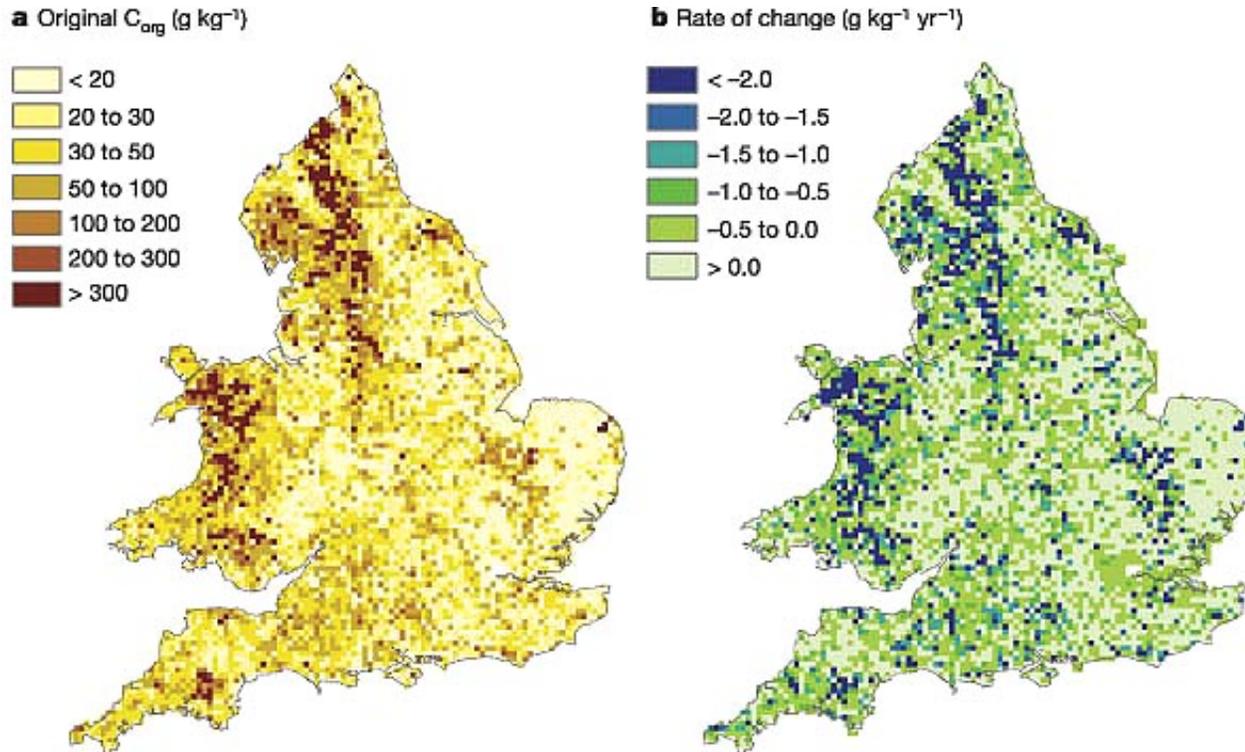
Welche Mechanismen sind von Bedeutung?

- ❑ Rekalzitranz organischer Moleküle kann die hohen Alter der organischen Bodensubstanz nicht erklären
 - ❑ Organische Verbindungen werden in Böden nicht proportional zu ihrer Abbaubarkeit angereichert (Polysaccharide ↔ Lignin)
 - ❑ Aktive Stabilisierungsmechanismen spielen eine große Rolle
 - ❑ Die Bildung organo-mineralischer Verbindungen ist abhängig von der Mineralogie und Bodenreaktion;
 - ❑ Eisenoxide wegen großer Oberfläche besonders bedeutsam
 - ❑ hohe Bedeutung für langfristige Stabilisierung
- ➔ Bodentyp und Bodenentwicklungsprozesse müssen hinsichtlich dieser Prozesse genauer untersucht werden!

Böden – Humus – CO₂

- Was sind Böden und wie entstehen sie?
- Böden als C-Speicher
- Wo findet sich die stabile organische Bodensubstanz?
- Alter der stabilen organischen Bodensubstanz
- Welche Verbindungen sind stabil? Lignin ⇔ Polysaccharide
- Organo-mineralische Verbindungen: Welche Minerale sind relevant für die Stabilisierung? Eisenoxide ⇔ Tonminerale
- **Wie reagieren Böden auf Klimaänderung?**

C-Verlust der Böden durch Temperaturerhöhung?



C contents in soils of England and Wales 1978 and 2003

a, Carbon contents in the original samplings,

b, rates of change calculated from the changes over the different sampling intervals. The changes were negative in all but 8% of the sites.

Bellamy et al., Nature, 2005

Acknowledgements

- **DFG, SPP 1090: Soils as source and sink for CO₂ - mechanisms and regulation of organic matter stabilisation in soils**

many colleagues collaborating in the program

Egbert Matzner, Bayreuth

Bernd Marschner, Bochum

Heiner Flessa, Göttingen

Georg Guggenberger, Halle

Clemens Ekschmitt, Gießen



- **EU (FORCAST)**

- **Margit von Lützow**

- **Rita Kiem**

- **Ingo Schöning, MPI Jena**

- **Karin Eusterhues, Uni Jena**

- **Cornelia Rumpel, CNRS, Paris-Grignon**