

# Studiengang Agrartechnik

## Modul Bodenkultur und Düngung

WS 2024/2025

Kapitel 4:

## Humus/Bodenbiologie/ Bodenchemie

# Gliederung des Moduls (Vorlesung)

## 1. Rechtliche Rahmenbedingungen

- Bodenschutzrecht
- Düngerecht

## 2. Bodenentstehung

- Geologie
- Bodenbildende Faktoren und Prozesse
- Bodensystematik: Bodentypen/Bodenformen

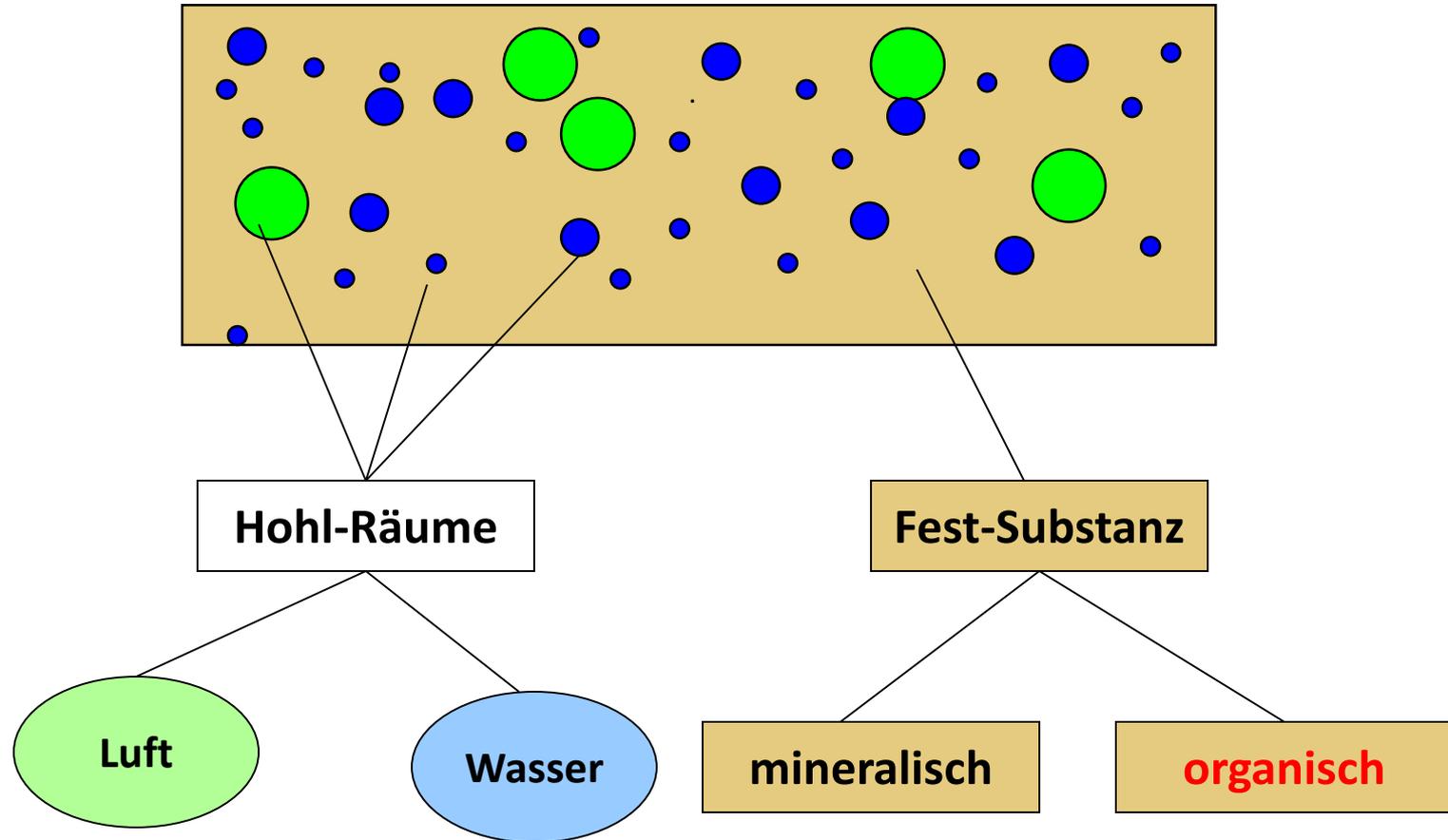
## 3. Bodenphysik

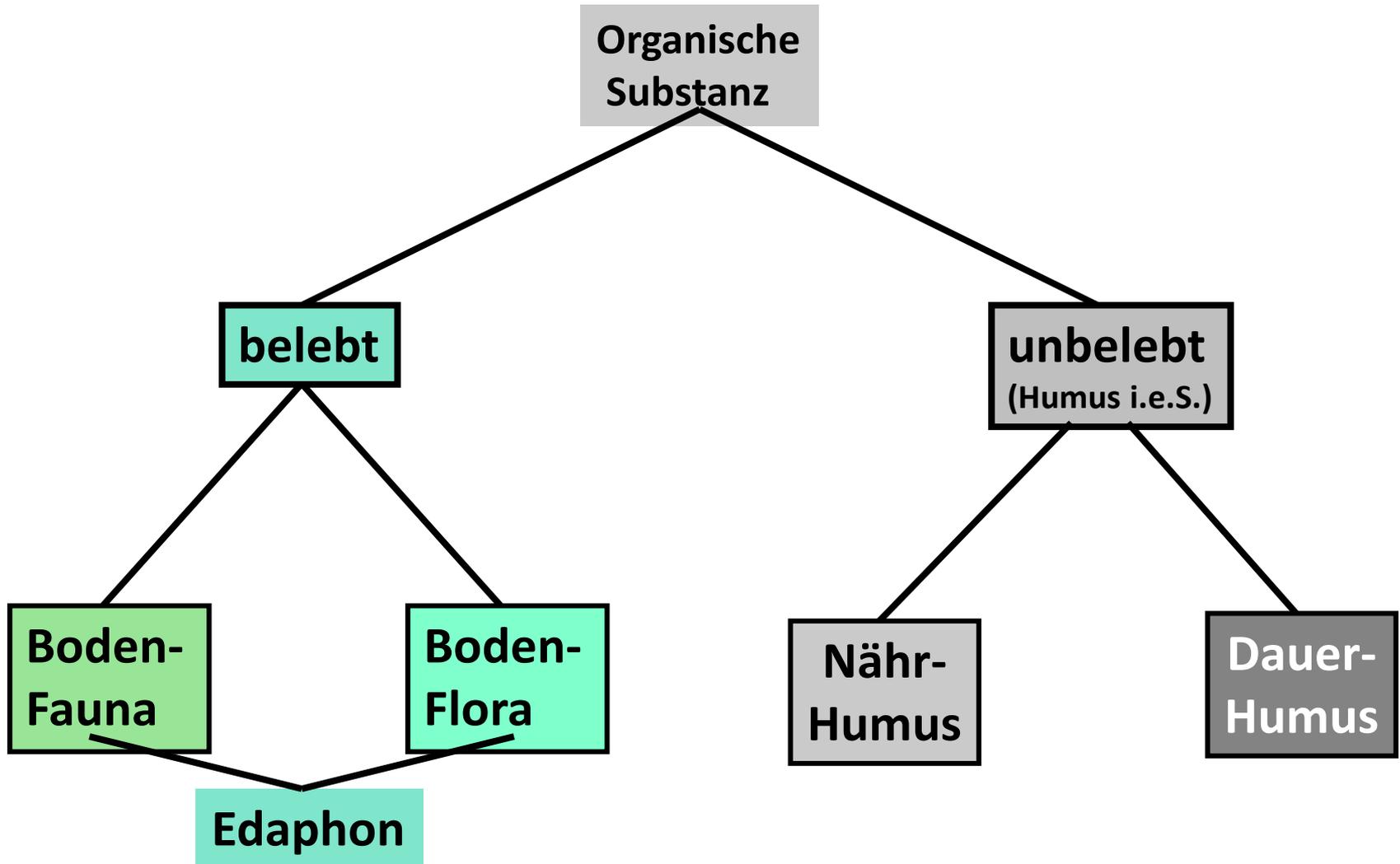
- Feste Bestandteile
- Flüssige Bestandteile/Bodenwasser
- Bodenluft

## 4. Humus/Organische Substanz/Bodenchemie

- Bodenhumus: Entstehung, Bedeutung
- Bodenbiologie
- Bodenchemie

## „Drei-Phasensystem Boden“





# Bodenhumus

## Definition:

- Alle in und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe und deren Umwandlungsprodukte
- Nach dem Grad der Umwandlung im Boden unterscheidet man:
  - ✍ Streustoffe (Nährhumus, Nichthuminstoffe)
  - ✍ Huminstoffe (Dauerhumus)
- neben festen organischen Substanzen treten im Bodenwasser gelöste organische Stoffe auf („DOM“: dissolved organic matter)

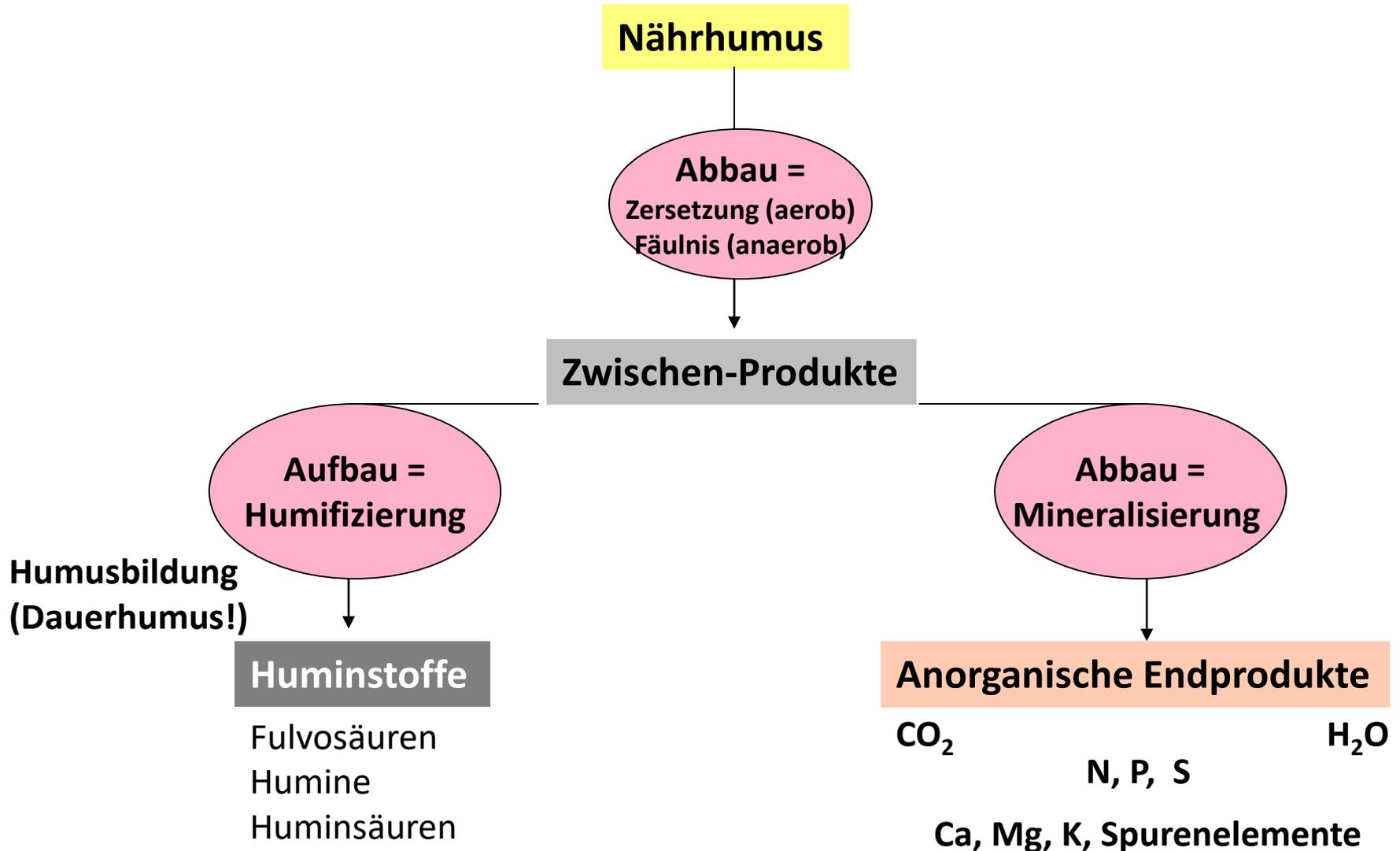
## Nährhumus (Streustoffe):

- Leicht abbaubare, abgestorbene organische Substanz des Bodens, die besonders für die Ernährung der Bodenorganismen und Pflanzen wichtig ist; Gewebestrukturen noch erkennbar
- Pflanzenreste, tote Wurzeln und Bodenorganismen
- Verweilzeit im Boden ist nur kurz
- Möglichkeiten der Nährhumuszufuhr:
  - Ernterückstände ( z.B. Wurzeln, Stoppeln, Stroh, Rübenblatt),
  - Gründüngung (Pflanzen deren Aufwuchs auf dem Feld verbleibt),
  - Gülle (Mist)

## Dauer-Humus (Huminstoffe):

- stark umgewandelte, hochmolekulare Substanzen mit dunkler Farbe
- keine erkennbaren Gewebespuren mehr
- niedrige Umsatzraten (1 - 3% Mineralisierung/Jahr); lange Verweilzeit im Boden
- Fraktionen: Fulvosäuren, Huminsäuren, Humine

# Umwandlung von Nährhumus in Dauerhumus



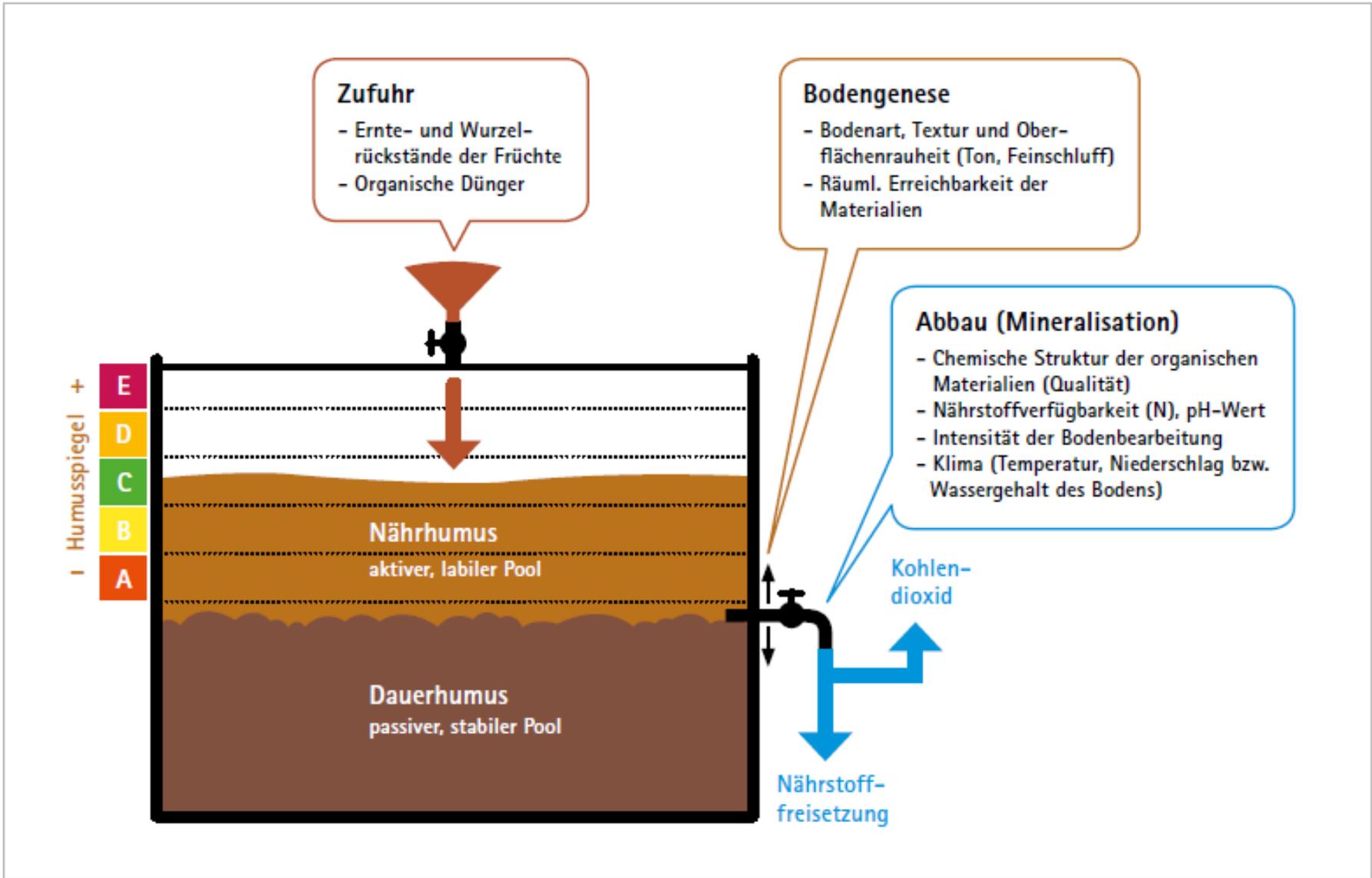
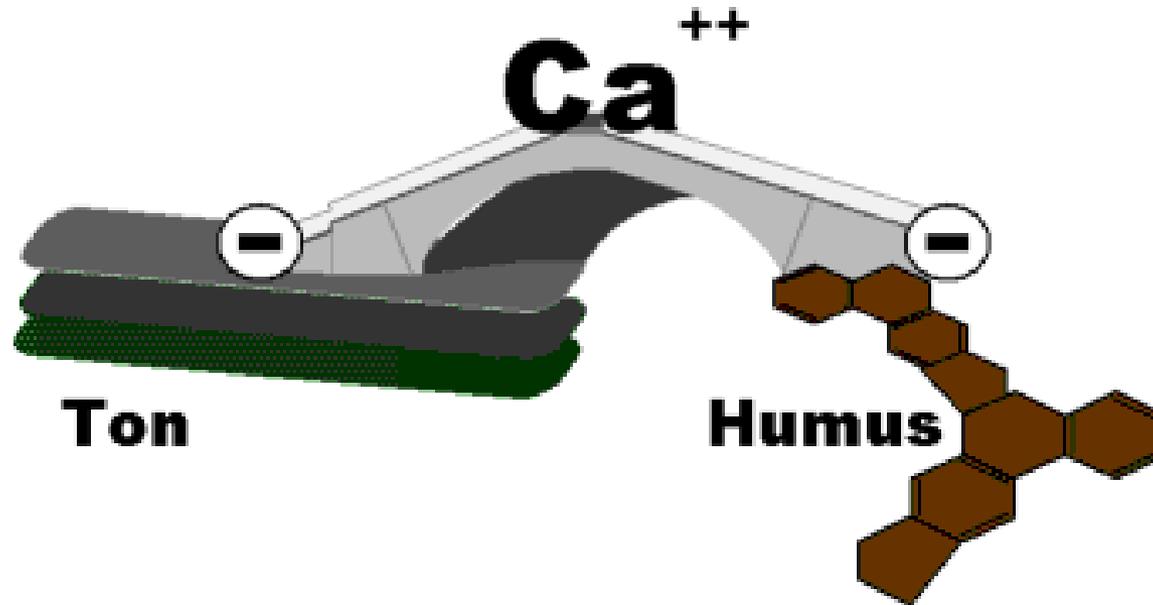


Abbildung 1: Prinzip des Humusumsatzes als offenes Fließgleichgewicht, wichtige Humusbestandteile und Einflussgrößen für den Humusabbau (Quelle: KOLBE, LfULG, in Anlehnung an SCHMIDT et al., 2011)

# Ton-Humus-Komplex



Stabilisiert die Bodenstruktur

Ton-Humuskomplexe entstehen z.B. im Darm von Regenwürmern

# Wirkungen des Humus

## Verbesserung der Bodenstruktur

- Gefügestabilität
- Lufthaushalt
- Wasserspeicherfähigkeit, Infiltration
- → bessere Befahrbarkeit, weniger Erosion

## Nährstoffspeicher

- Nährstoffe werden durch Mineralisation frei

## Verbesserung Bodenleben

- Nahrungsquelle für Bodenlebewesen

## Ionenaustausch

- Höhere Kationenaustauschkapazität (KAK)

## Pufferung & Filterung

- Huminstoffe binden Schadstoffe
- Proteine wirken puffernd

## Bodenfarbe und –erwärmung

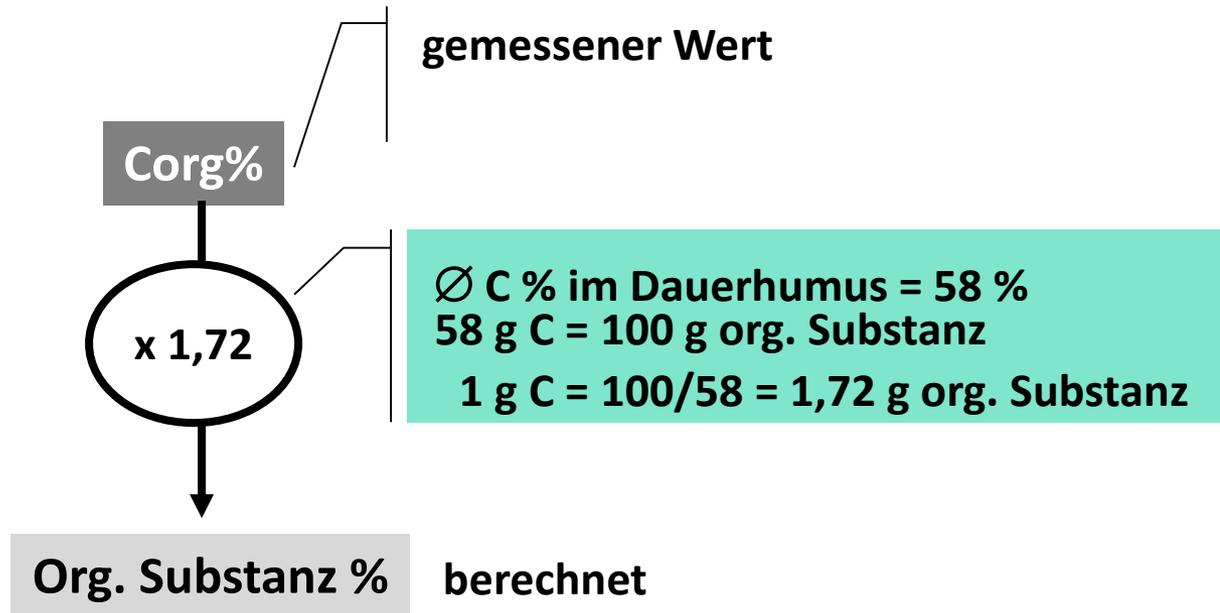
- färbt Boden dunkel → schnellere Erwärmung

## CO<sub>2</sub>-Senke

- speichert C aus der Atmosphäre

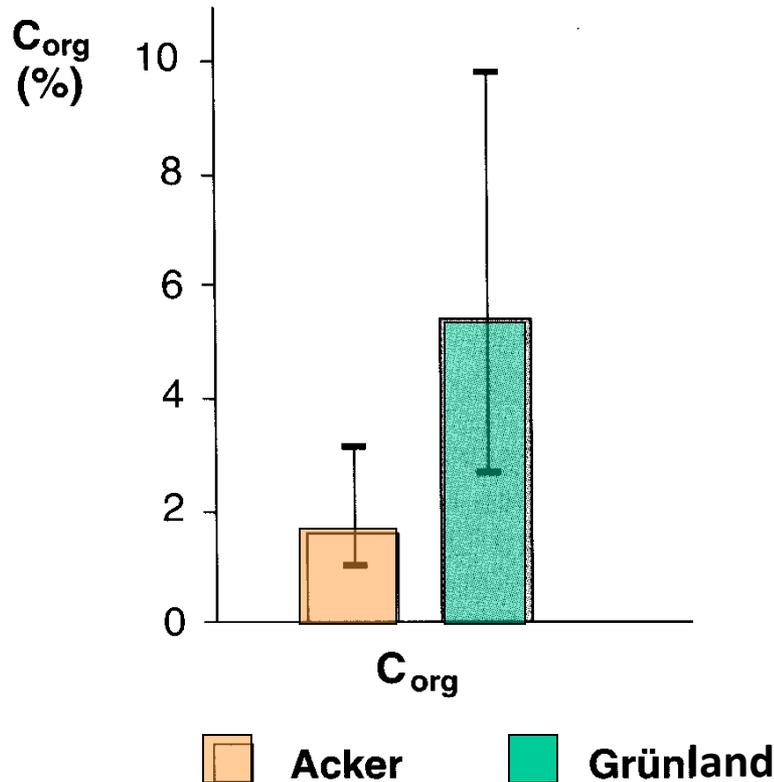
**Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit!!!**

# Berechnung des Gehaltes an „organischer Substanz“



**Humusgehalt der oberen Bodenschicht  
in hiesigen Böden:**

**Grünland  $\approx$  4 - 8 %  
Acker  $\approx$  2 - 4%**



**Begründung für höhere Humusgehalte im GL:**

- keine Bodenbearbeitung
- fortwährender Nährhumusanfall (Wurzeln)
- höherer Anteil an Standorten mit (ehemals) höherem Grundwasserstand: Anmoor, Moor

# Qualitätsparameter für die organische Substanz

## C:N-Verhältnis

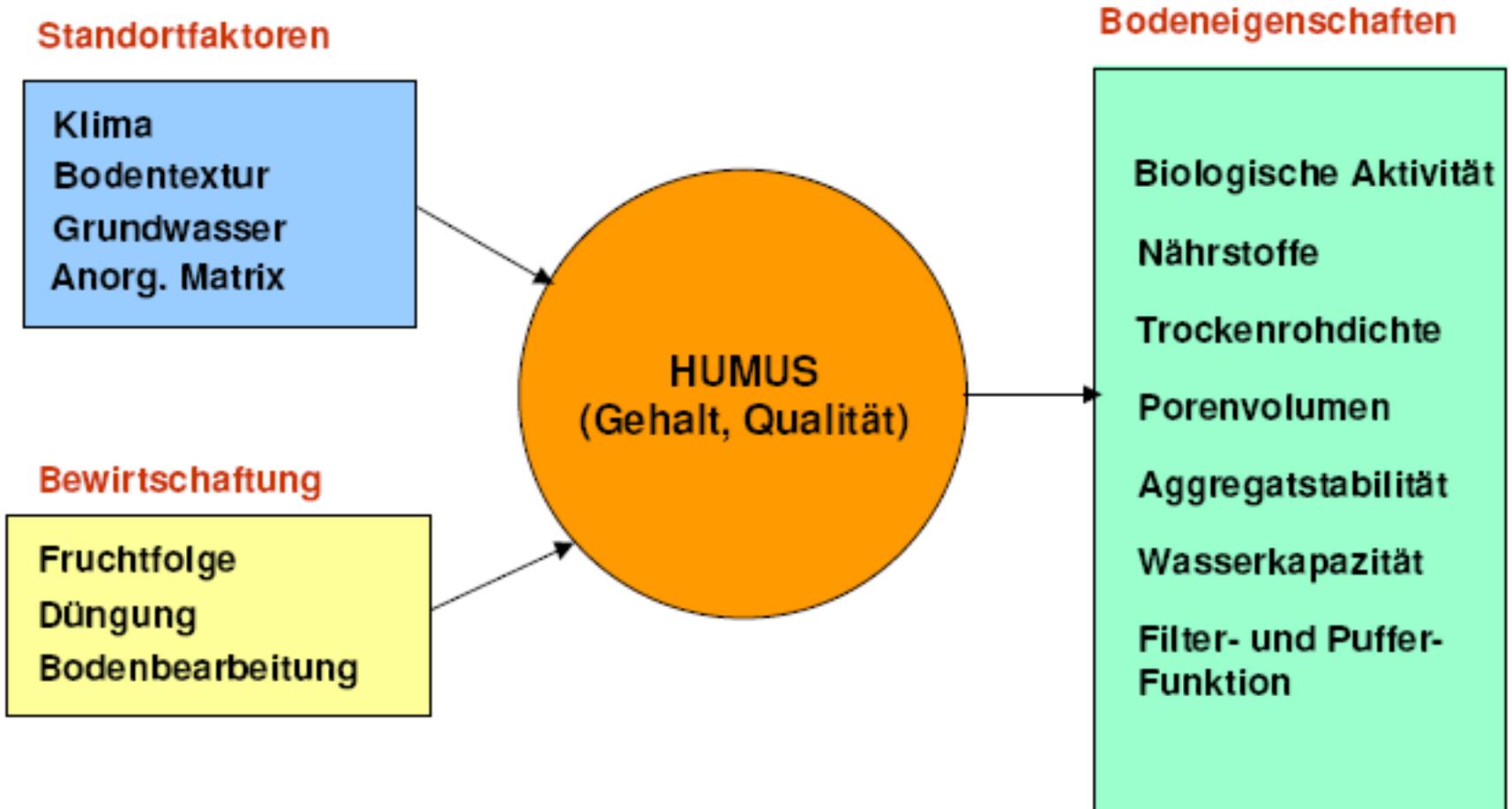
- Verhältnis zwischen organischem Kohlenstoff und Stickstoff
- Beschreibt die Abbaubarkeit bzw. den Abbaugrad der organischen Substanz
  - Stroh: C:N-Verhältnis: 100:1
  - frische Grünmasse: C:N-Verhältnis: 20:1
  - Bodenumus: C:N-Verhältnis: 10:1

# Gehalt an organischer Substanz im Boden

(Tabelle aus :Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage)

Masse %	Kurzzeichen	Bezeichnung
0	h0	humusfrei
<1	h1	sehr schwach humos
1 - 2	h2	schwach humos
2 - 4	h3	(mittel) humos
4 - 8	h4	stark humos
8 - 15	h5	sehr stark humos
15 - 30	h6	äußerst (extrem) humos, <b>anmoorig</b> (z.B. bei Aa-Horizont)
> 30	h7	<b>organisch</b> (z.B. H-, L-, O-Horizont), <b>Moor, Torf</b>

# Beziehung Humus, Standortfaktoren, Bewirtschaftung, Bodeneigenschaften

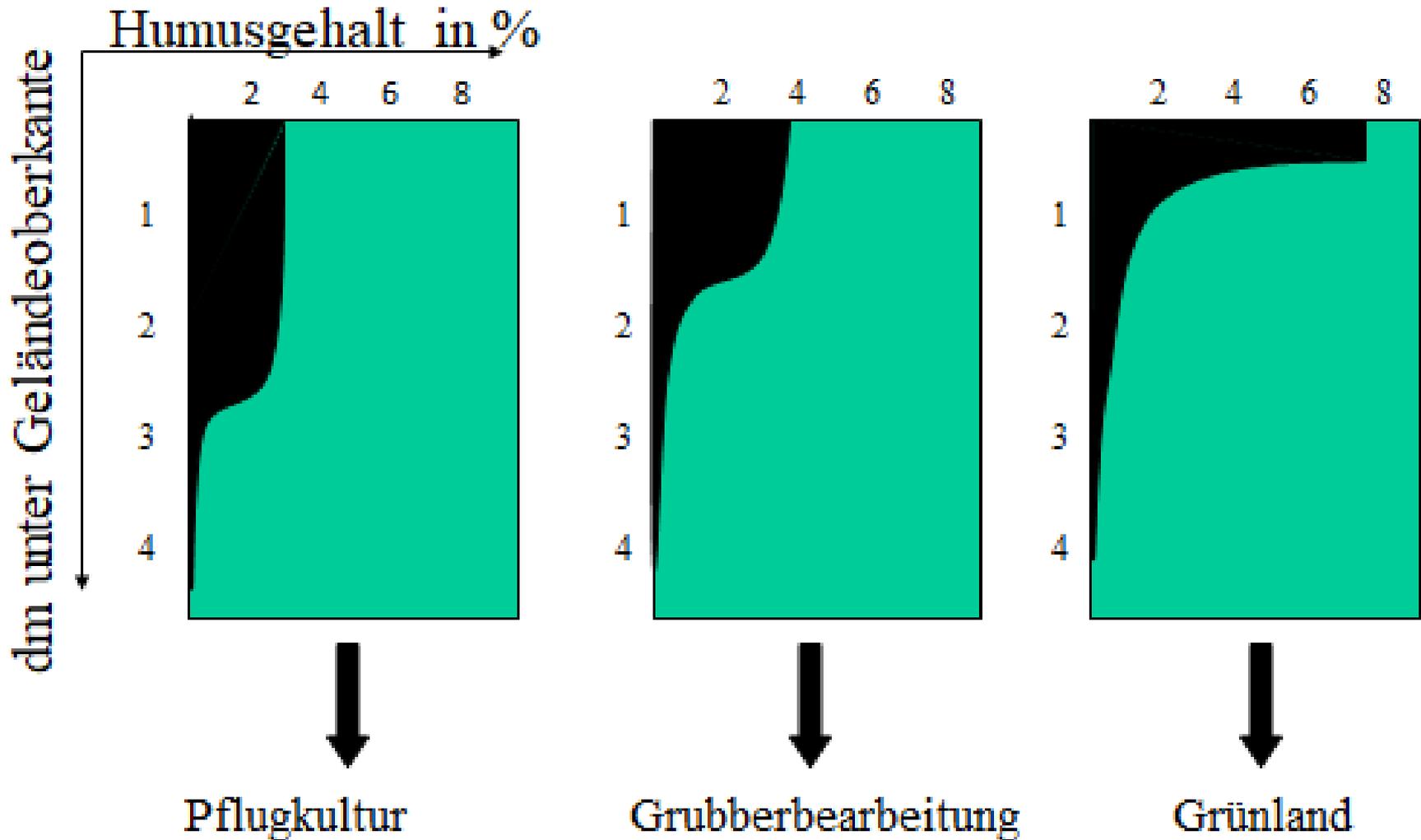


# Standorttypischer Humusgehalt

Differenzierung der Humusgehalte von Böden an einem Standort

Humusgehalt niedriger	Parameter	Humusgehalt höher
leicht	<b>Abbaubarkeit organischer Rückstände</b>	schwer
leicht	<b>Bodenart</b>	schwer
ausgeglichen	<b>Wasserhaushalt</b>	wechselhaft/ zu feucht
gut	<b>Durchlüftung (BB-System)</b>	schlecht
neutral	<b>Bodenreaktion (Kalkung)</b>	sauer
ausgeglichen/ höher	<b>Bodentemperatur</b>	große Differenzen/ geringer
länger	<b>Vegetationszeit (Standortklima)</b>	kürzer
Hangschulter/ Oberhang	<b>orografische Lage des Flächenteiles</b>	Hangfuß/Senke (Tal)

# Bodenbearbeitung und Humusverteilung



# Bearbeitungsinduzierter Humusabbau



Kumulativer CO<sub>2</sub> Verlust in 87 Tagen



# Bewirtschaftungsbedingte Einflüsse auf den Humusgehalt

Einfluss auf den Humusgehalt haben vor allem:

Betriebsform:	Ackerbaubetrieb – Tierhaltender Betrieb
Bewirtschaftungsweise:	Ökobetrieb – Konventioneller Betrieb
Fruchtfolge:	Weitere Fruchtfolgen haben tendenziell höhere Humusgehalte
Bodenbearbeitung:	Höhere Intensität führt tendenziell zu stärkerem Humusabbau

# Entwicklung der Humusgehalte in Bayern

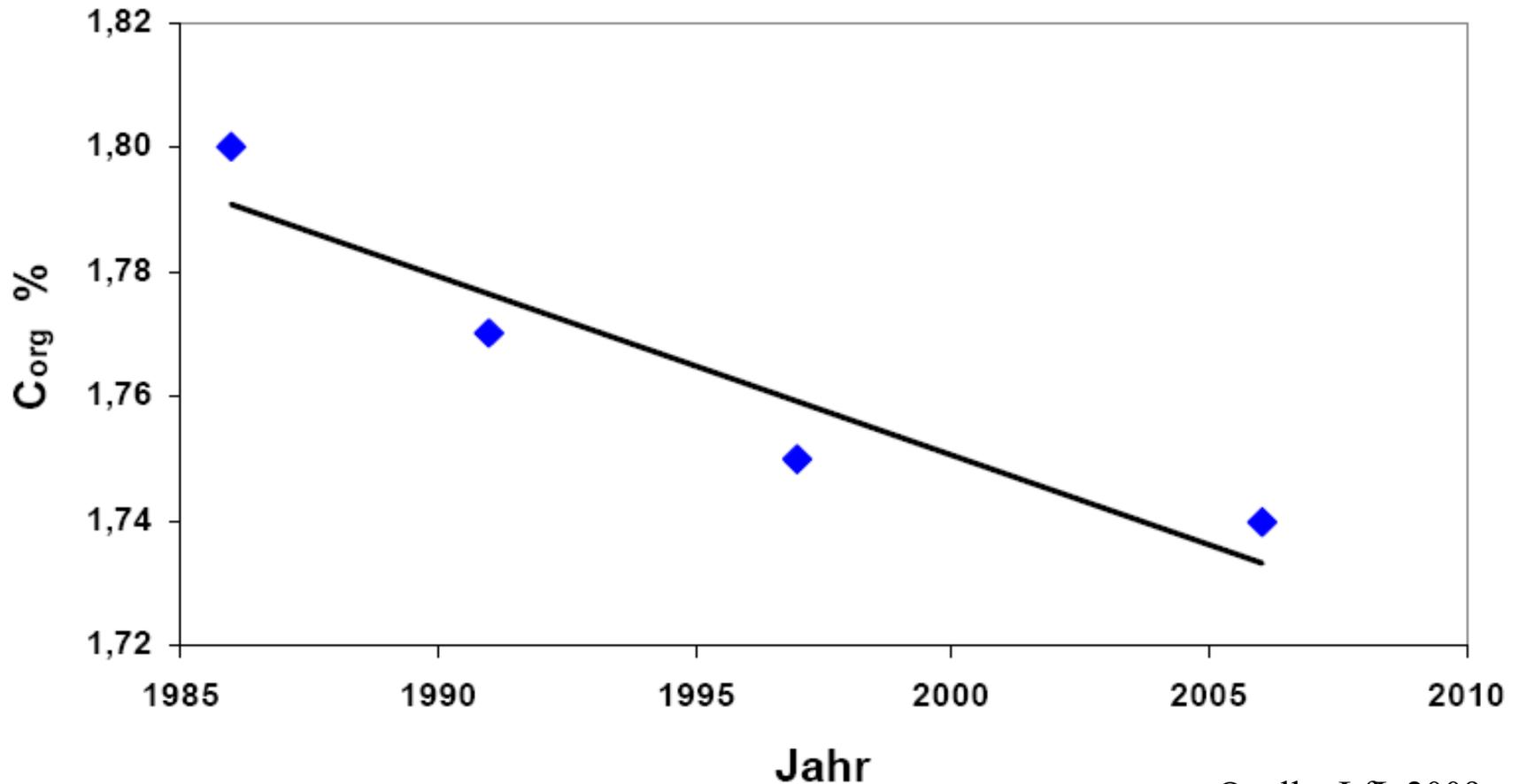
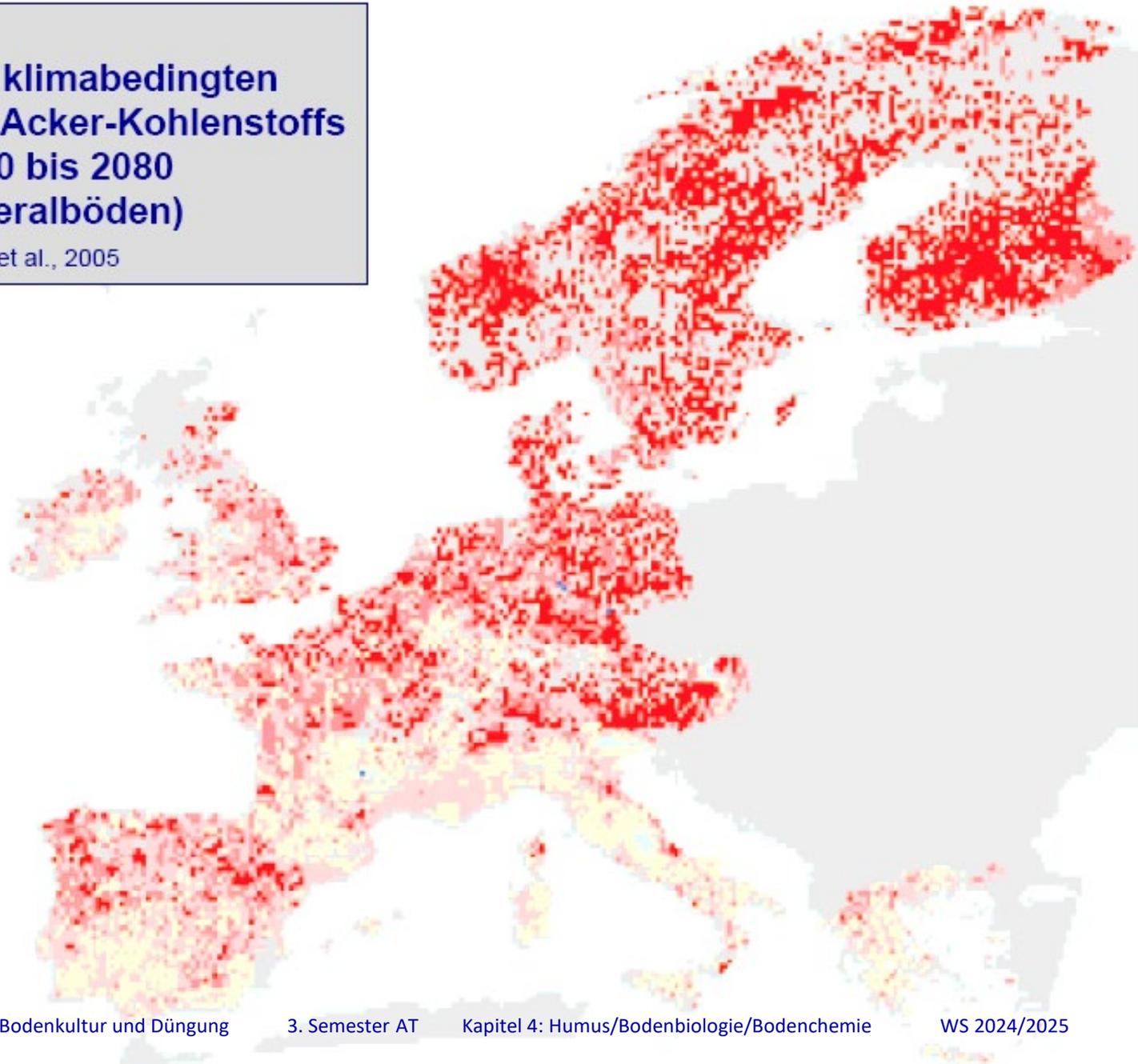


Abb. 8: Mittlere C<sub>org</sub>-Gehalte der vier Beprobungsserien (Acker-BDF)

**Prognose der klimabedingten  
Veränderung des Acker-Kohlenstoffs  
von 1990 bis 2080  
(nur Mineralböden)**

Smith et al., 2005

t C/ha



## Sicherung und Erhalt eines standortgerechten optimalen Humusgehaltes – eine der wichtigsten Voraussetzungen, um gegen Klimaänderungen gewappnet zu sein !!



Das Ertragspotential unserer Böden ist begrenzt. Um dieses nachhaltig zu sichern, ist die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit eine unabdingbare Voraussetzung

Ohne organische Dünger kann der Humusgehalt der Böden langfristig nicht erhalten werden.

### **Humus beeinflusst:**

- die Wasserspeicherefähigkeit, Durchlüftung und Erwärmbarkeit
- die Sorptionseigenschaften für Wasser und Nährstoffe
- den Nährstoffgehalt und die Nährstoffnachlieferung
- die Krümelstruktur und Gefügestabilität
- das Bodenleben und die phytosanitären Wirkungen
- die Erosionsanfälligkeit



**Die Ertragsfähigkeit des Bodens!!**

# Humusbilanzierung des VDLUFA

(Maßgebende Methode für Cross-Compliance-Bestimmungen)

## Ziel:

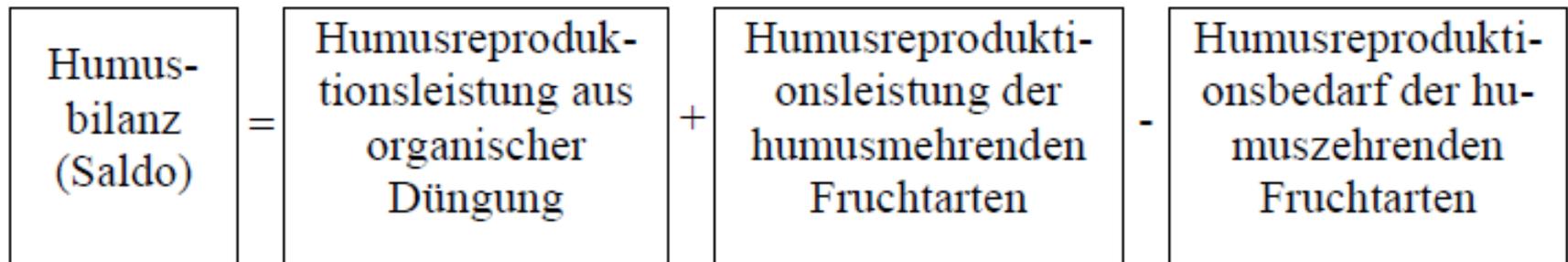
- Die bewirtschaftungsbedingt zu erwartenden Veränderungen des Humusvorrats der Böden abzuschätzen und mit der organ. Düngung entsprechend zu reagieren

## Prinzip:

- Veränderungen der Humusvorräte durch die jeweils angebauten Früchte (Fruchtfolgen) und die Zufuhr an organischen Materialien sollen abgeschätzt werden
  - ✍ die angebauten Pflanzen beeinflussen den Humushaushalt einerseits durch ihre Wurzelbiomasse und Wurzelausscheidungen, andererseits durch ihre spezifischen Ansprüche an die Bodenbearbeitung (Intensität, Bodenruhe)
  - ✍ aus Menge und Qualität der zugeführten Ernterückstände und organischen Düngern läßt sich deren unterschiedliche Fähigkeit zur Humusproduktion ermitteln

# Humusbilanzierung des VDLUFA

(Maßgebende Methode für Cross-Compliance-Bestimmungen)



## Videotipp zum Humus:

<https://www.youtube.com/watch?v=SBrbMAIArOM>

# Gliederung des Moduls (Vorlesung)

## 1. Rechtliche Rahmenbedingungen

- Bodenschutzrecht
- Düngerecht

## 2. Bodenentstehung

- Geologie
- Bodenbildende Faktoren und Prozesse
- Bodensystematik: Bodentypen/Bodenformen

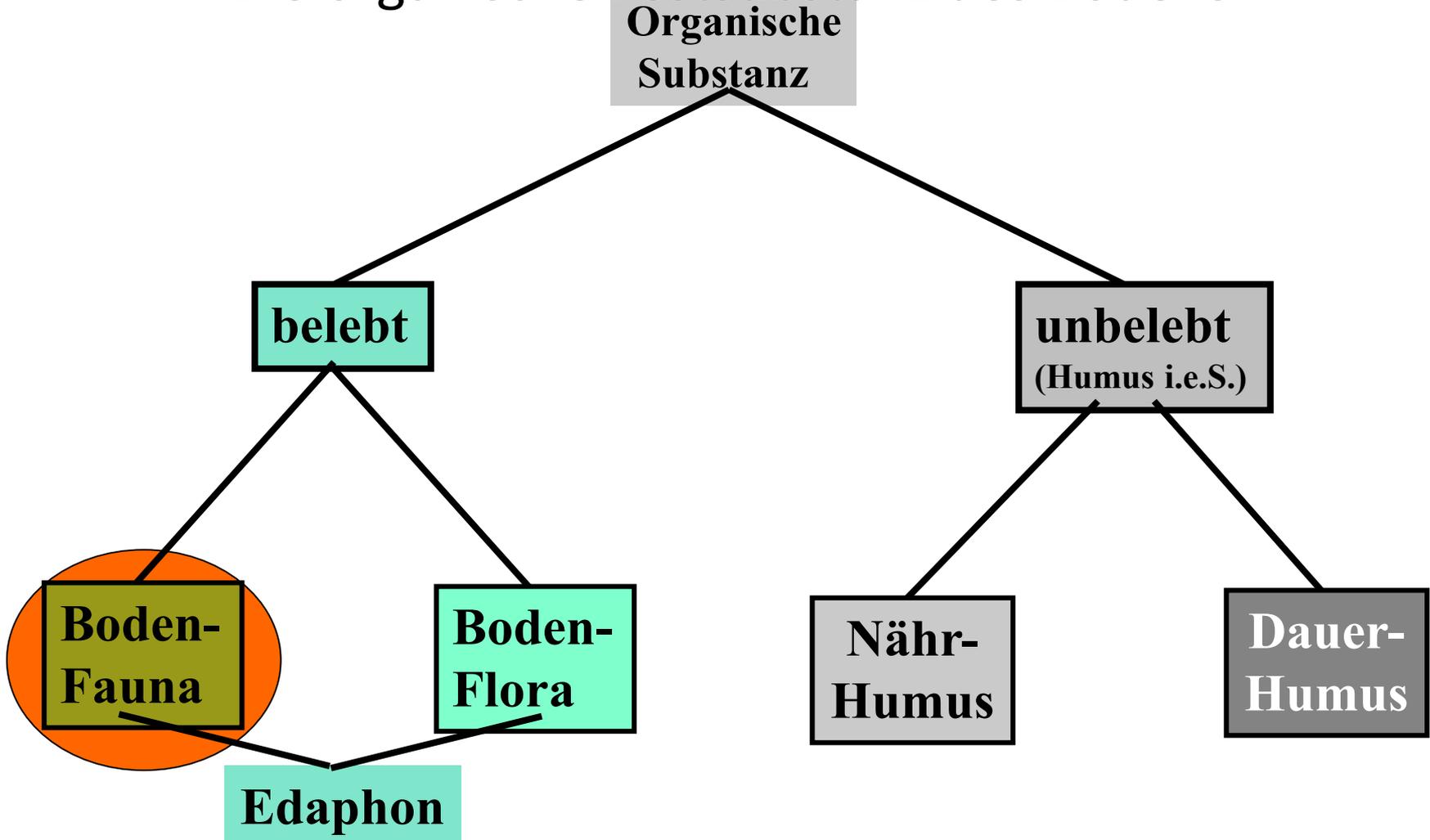
## 3. Bodenphysik

- Feste Bestandteile
- Flüssige Bestandteile/Bodenwasser
- Bodenluft

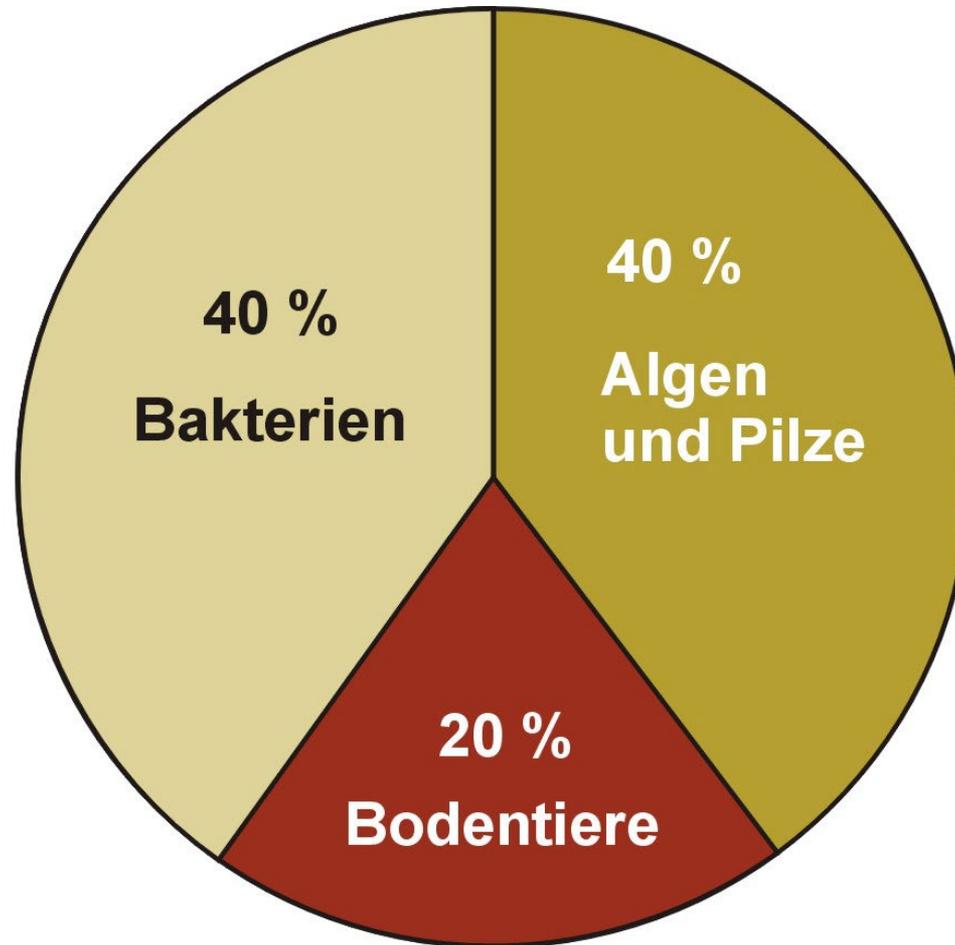
## 4. Humus/Organische Substanz/Bodenchemie

- Bodenhumus: Entstehung, Bedeutung
- Bodenbiologie
- Bodenchemie

# Die organische Festsubstanz des Bodens

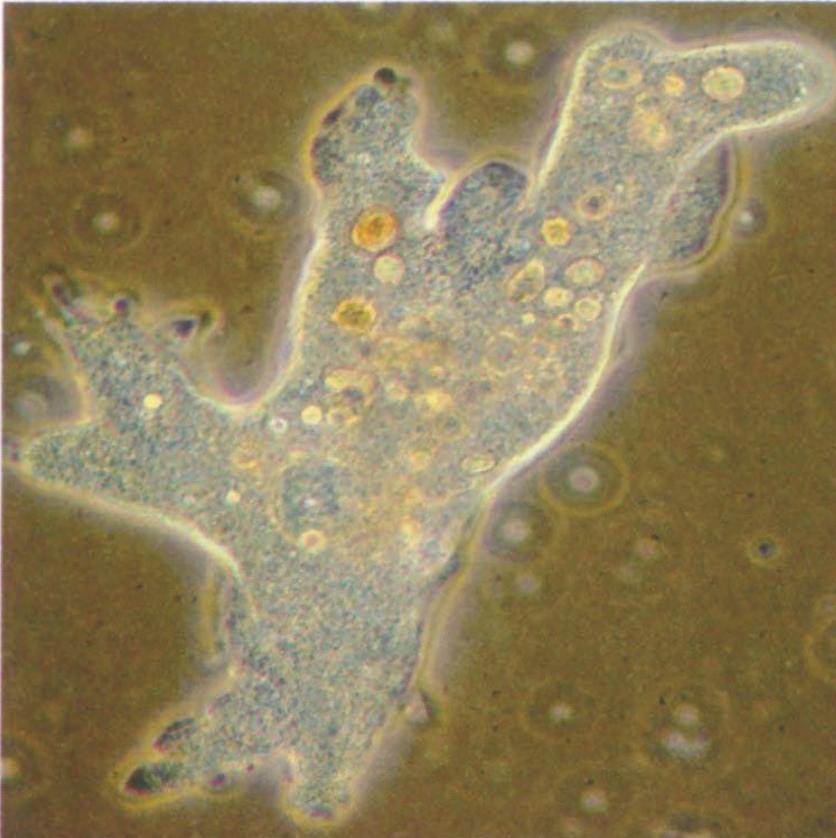


# Zusammensetzung des Edaphons



© Lernort **Boden**, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) 2006. Alle Rechte vorbehalten.

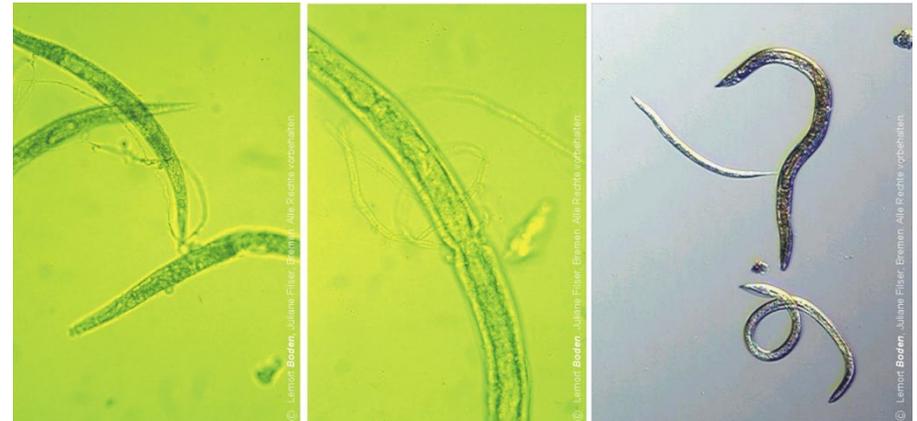
# Die Mikrofauna



© Lernort *Boden*, M. Keil, Neckargemünd (rechts); J. Wygasch, Paderborn (links) 2006. Alle Rechte vorbehalten.

# Die Mesofauna

## Fadenwürmer (Nematoden)



© Lernort **Boden**, Johannes Bauchhenß, München, 2004. Alle Rechte vorbehalten.



© Lernort **Boden**, Johannes Bauchhenß, München, 2004. Alle Rechte vorbehalten.

## Hornmilben



© Lernort **Boden**, Johannes Bauchhenß, München, 2004. Alle Rechte vorbehalten.

## Springschwänze



© Lernort **Boden**, Johannes Bauchhenß, München, 2004. Alle Rechte vorbehalten.

# Die Makrofauna

## Tausendfüßler



## Regenwürmer



# Beeinflussung der Bodentiere durch Bodenbearbeitung

Bodenbearbeitung: **gering** **stark** (unbearbeiteter Boden: 100 %)



Laufmilben



Springschwänze  
(tiefere Bodenschichten)



Raubmilben



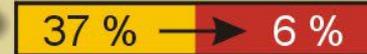
Springschwänze  
(obere Bodenschichten)



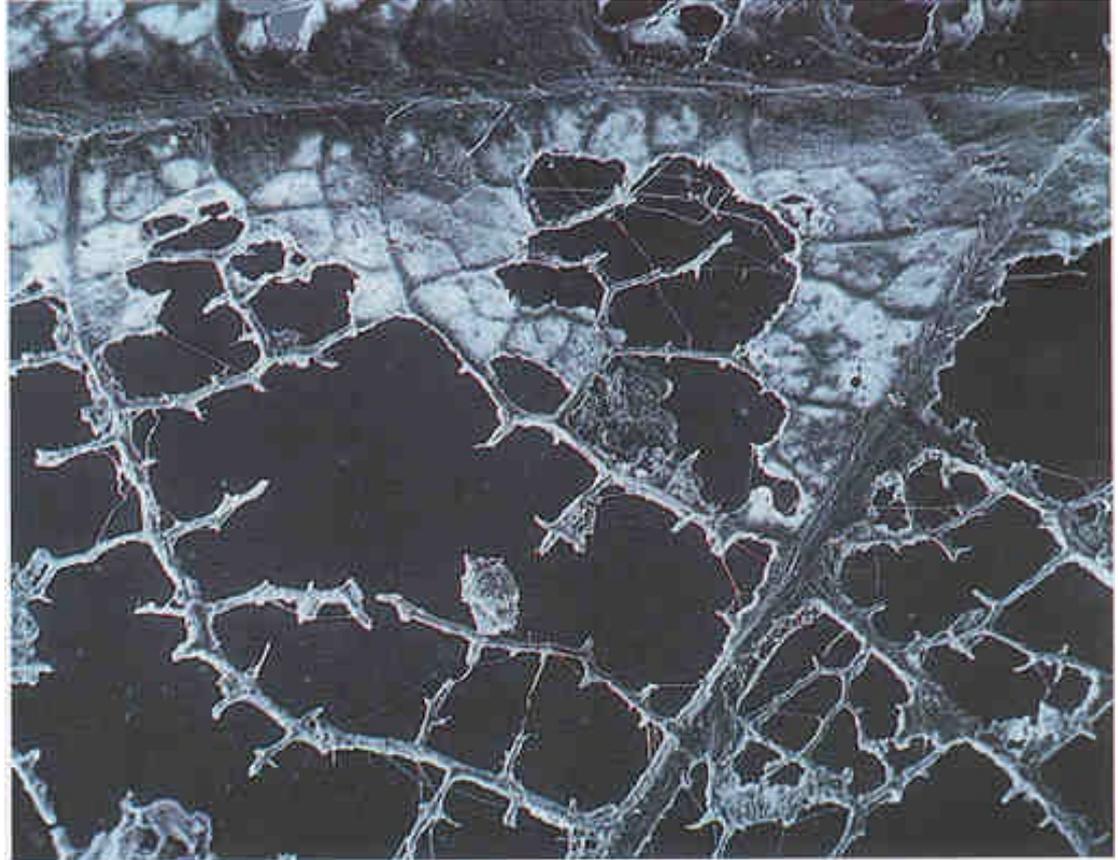
Hornmilben



Tausendfüßer

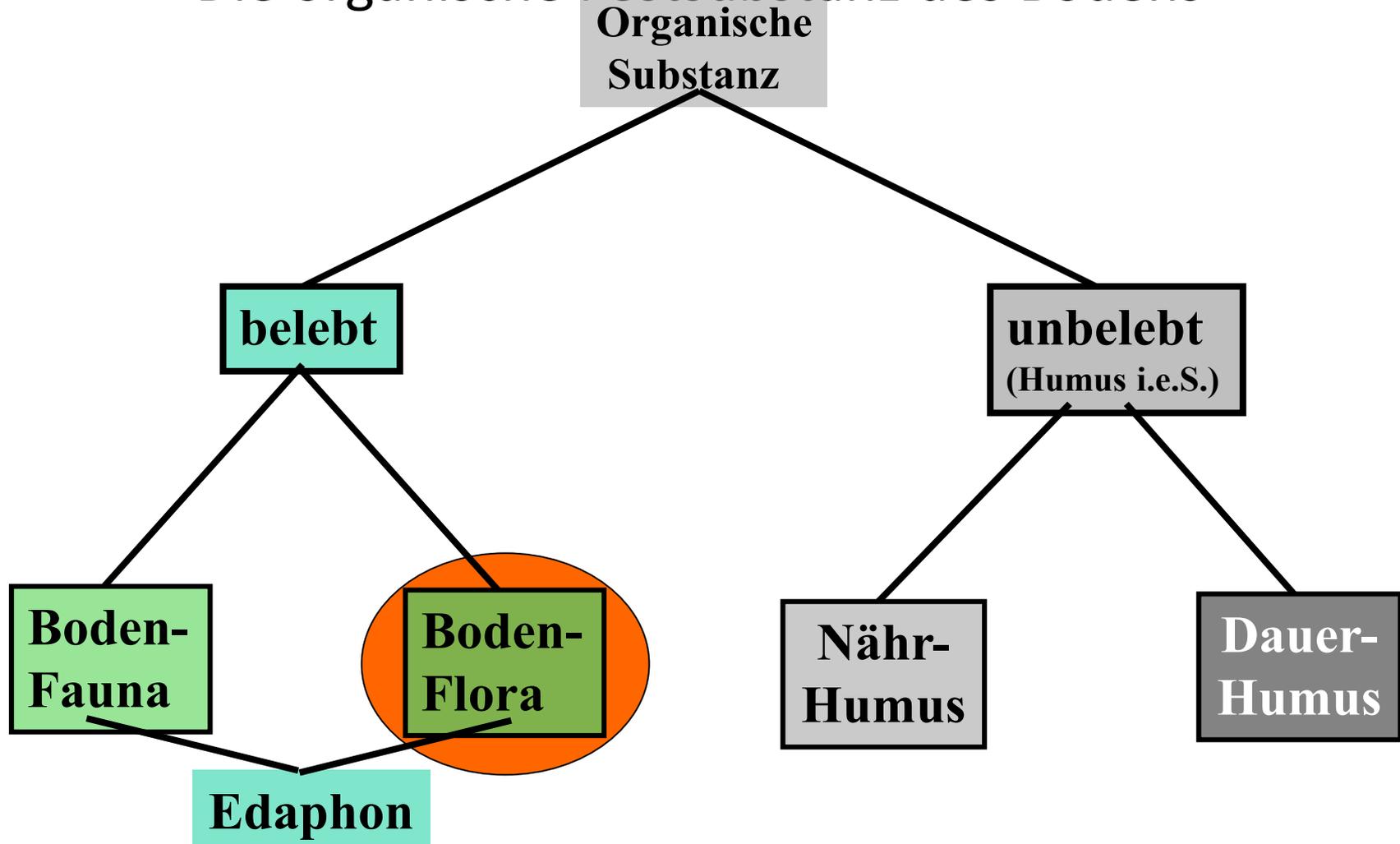


- Einmischen von org. Substanz
- Zerkleinern, Angriffsfläche für Flora
- Bodenlockerung:  
Hohlräume,  
sekundäre Grobporen
- Kot = nährstoffhaltig,  
huminstoffhaltig,  
↓  
Nahrung für Bodenflora



Fensterfraß an feuchtem, abgefallenem Laub – verursacht durch Bodentiere

# Die organische Festsubstanz des Bodens



# Hauptgruppen der Bodenmikroflora

## Algen:

- ✍ deutlich größer als Bakterien (3 – 5µm) aber auch weniger häufig
- ✍ einige Gruppen können Photosynthese betreiben (leben vorwiegend in den oberen cm des Bodens)
- ✍ fungieren deshalb oft als Pionier-Organismen, oft in Symbiose mit Flechten und Pilzen
- ✍ wichtige Gruppen: Grünalgen, Blaualgen, Kieselalgen

## Pilze:

- ✍ sind charakterisiert durch zylindrische Hyphen (Mycel; bis 100m/gBoden) die den Boden durchziehen
- ✍ Gattungen: Mucor, Aspergillus, Penicillium: Schimmelpilze; Streuzersetzung
- ✍ können tlw. Antibiotika produzieren (Penicillin)
- ✍ manche sind zur symbiontischen Lebensweise befähigt:  
„Mykorrhiza
- ✍ viele pflanzenpathogene Arten

# Hauptgruppen der Bodenmikroflora

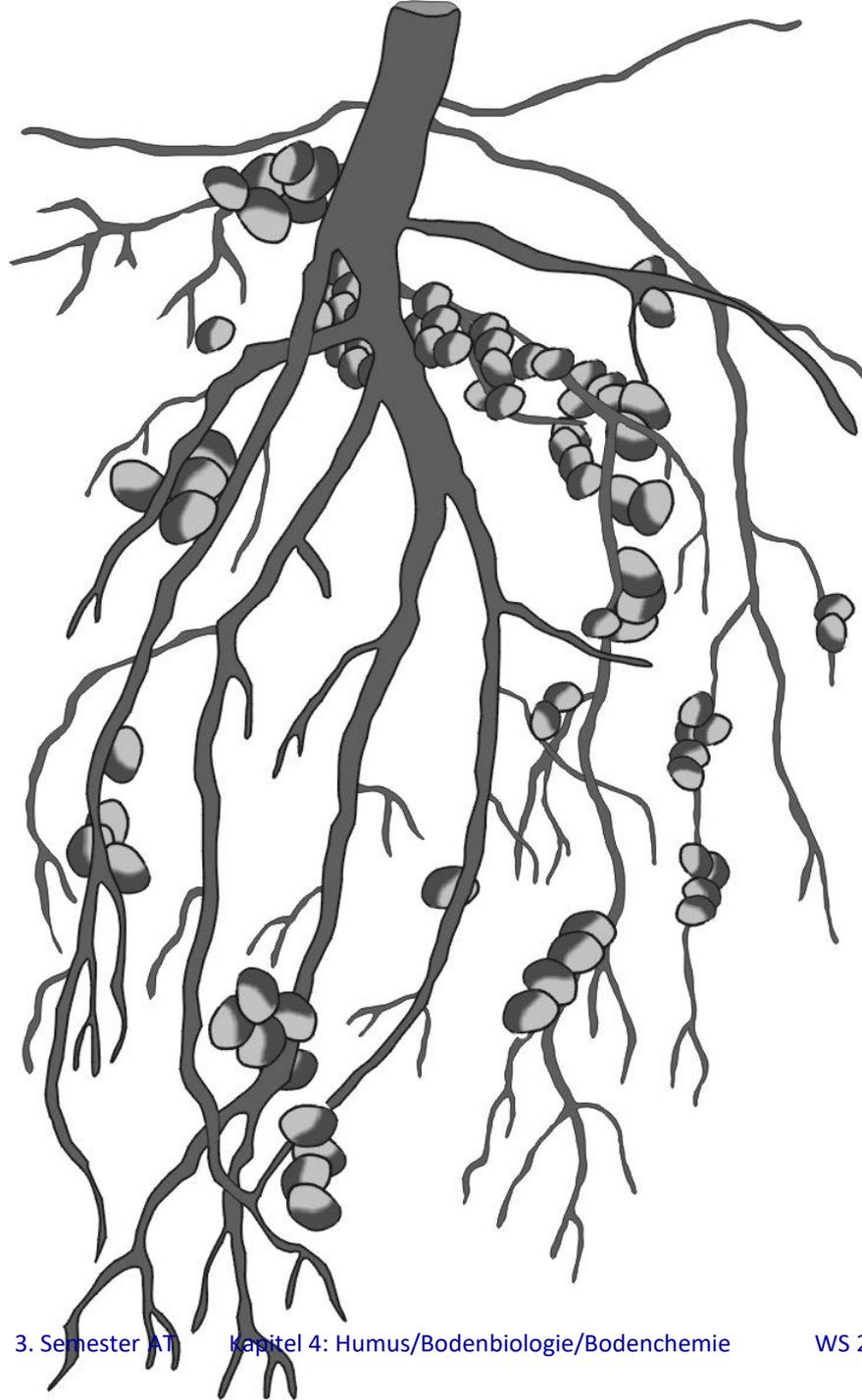
## Actinomyceten („Strahlenpilze“)

- ✍ Einzellige Bakterien die Hyphengeflecht (Mycele; ähnlich den Pilzen) ausbilden
- ✍ Häufig im Boden vertreten: Gattungen *Nocardia* und *Streptomyces*
- ✍ Vertreter der Gattung *Frankia* sind symbiontische N-Fixierer (Erle und Sanddorn)
- ✍ Viele A. können Antibiotika bilden (Streptomycin, Aureomycin, Terramycin, Chloromycetin)

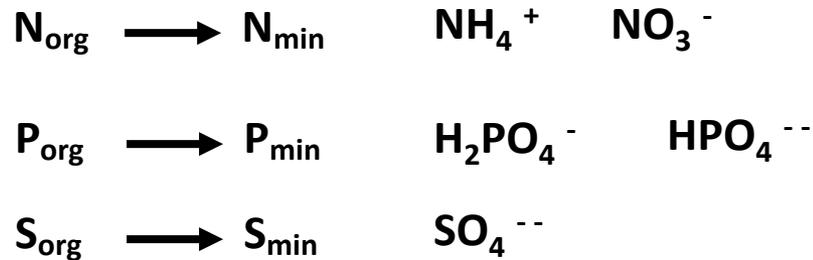
## Bakterien

- ✍ kleinste Mikroorganismen (0,5 – 1,0  $\mu\text{m}$ ); einzellig; kein echter Zellkern („Prokaryoten“)
- ✍ Zahlenmäßig stärkste Gruppe ( $10^9$  Individuen/g Boden; 20 - 120gTS/m<sup>2</sup> Boden)
- ✍ Vorwiegend als Stoffersetzer (Reduzenten) tätig
  - Setzen vorwiegend leicht abbaubare C- und N-Verbindungen um (Zucker, Stärke, Aminosäuren etc.)

# Die Knöllchenbakterien



- Mineralisierung von festen und gelösten organischen Verbindungen



- Freisetzung von Mineralstoffen aus dem Humus

z. B.  $K^+$   $Mg^{++}$

- Verwitterung der mineralischen Substanz

Pflanzen-  
ernährung

- Stabilisierung der mineralischen Bodenteilchen

Verklebung durch Körpermasse und Stoffwechsellasscheidungen

Boden-  
struktur

# Übersicht über die Bodenlebewesen

Anzahl der Individuen	Bodenorganismus	Biomasse
10.000.000.000.000	Bakterien	ca. 160 g/m <sup>2</sup>
12.000.000.000	Pilze	ca. 380 g/m <sup>2</sup>
1.000.000.000	Algen	ca. 90 g/m <sup>2</sup>
600.000.000	Einzeller	ca. 115 g/m <sup>2</sup>
1.800.000	Fadenwürmer	ca. 4 g/m <sup>2</sup>
28.000	Springschwänze	ca. 11 g/m <sup>2</sup>
18.000	Milben	ca. 10 g/m <sup>2</sup>
10.000	Borstenwürmer	ca. 2 g/m <sup>2</sup>
800	Käfer(-larven)	ca. 18 g/m <sup>2</sup>
550	Tausendfüßer	ca. 20 g/m <sup>2</sup>
320	Ameisen	ca. 2 g/m <sup>2</sup>
300	Asseln	ca. 4 g/m <sup>2</sup>
240	Fliegenlarven	ca. 26 g/m <sup>2</sup>
230	Spinnen	ca. 2 g/m <sup>2</sup>
130	Regenwürmer	ca. 145 g/m <sup>2</sup>
50	Schnecken	ca. 25 g/m <sup>2</sup>
		<b>Gesamtbio­masse ca. 1014 g/m<sup>2</sup></b>

# Videotipps zum Bodenleben

- <https://www.bodenwelten.de/content/bodentiere-den-unterirdischen-auf-der-spur>
- <https://www.youtube.com/watch?v=MlREaT9hFCw>
- <https://www.youtube.com/watch?v=mRiylsNjdzw>
- <https://www.youtube.com/watch?v=szLWxl3iWd8>

# Gliederung des Moduls (Vorlesung)

## 1. Rechtliche Rahmenbedingungen

- Bodenschutzrecht
- Düngerecht

## 2. Bodenentstehung

- Geologie
- Bodenbildende Faktoren und Prozesse
- Bodensystematik: Bodentypen/Bodenformen

## 3. Bodenphysik

- Feste Bestandteile
- Flüssige Bestandteile/Bodenwasser
- Bodenluft

## 4. Humus/Organische Substanz/Bodenchemie

- Bodenhumus: Entstehung, Bedeutung
- Bodenbiologie
- Bodenchemie

# Sorption als Voraussetzung für Nährstoffspeicherung

## Sorption (Adsorption)

- Bindung von Atomen, Molekülen oder Ionen an der Oberfläche von Feststoffen durch chemische und physikalische Kräfte
- Elektrostatische gebundene Ionen können leicht gegen andere (gleich geladene) Ionen ausgetauscht werden:  
„Ionenaustausch“
- Die beteiligte Festphase wird als „Sorbent“ oder „Austauscher“ bezeichnet
- Die Gesamtheit an Sorptionsplätzen wird als Sorptionskapazität bezeichnet

# Bodenkolloide

- ...sind kleine Bodenteilchen ( $< 0,002\text{mm}$ ) mit einer sehr großen spezifischen Oberfläche
- ...sie stellen einen Großteil der bodenbürtigen „Austauscher“
- ...die wichtigsten Bodenkolloide sind:
  - ✍ Tonminerale
  - ✍ Huminstoffe
  - ✍ Oxide und Hydroxide
- Sorptionskapazität hängt ab von...
  - ✍ ...spezifischer Oberfläche
  - ✍ ...Oberflächenladung

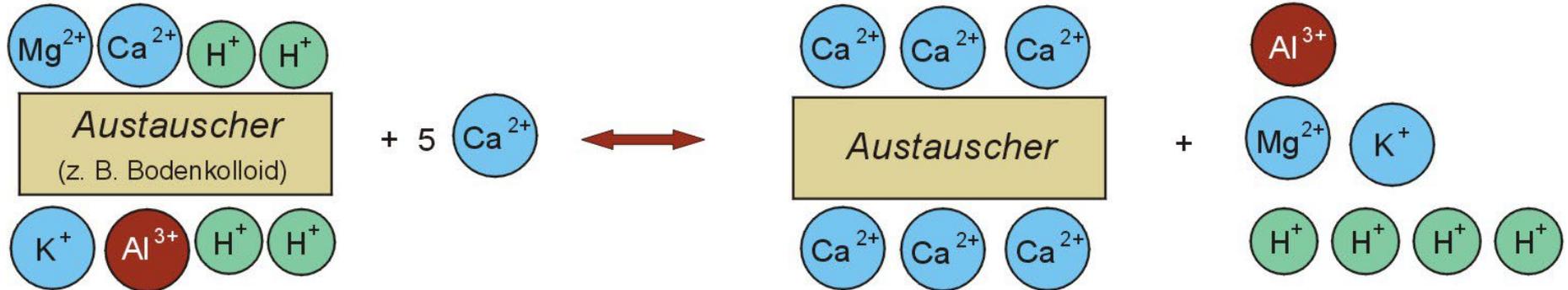
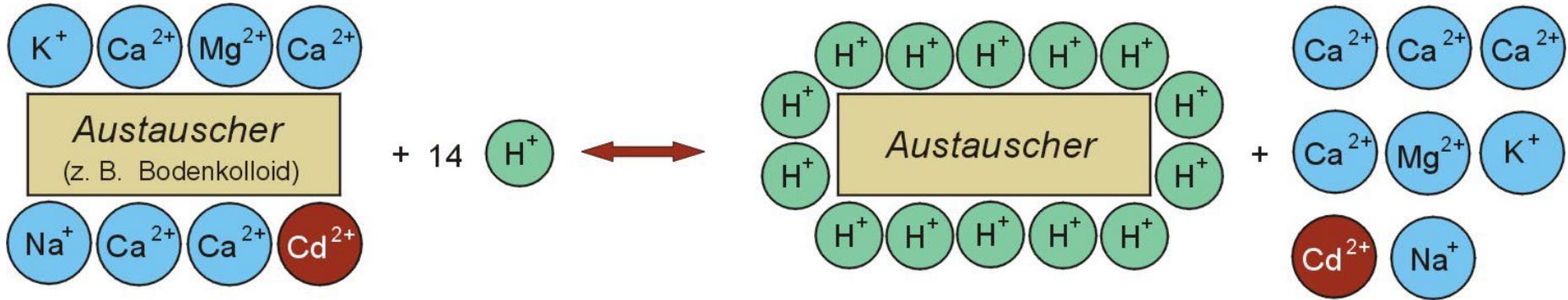
# Spezifische Oberfläche von Kolloiden

Kolloid	Spezifische Oberfläche [m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ]
Smectite/Vermiculite	600 – 800
Illite	50 – 200
Kaolinite	10 – 150
Allophane und Immogoloite	700 - 1100
Huminstoffe	800 – 1000
Böden (gesamt)	1 - 500

# Kationenaustausch

- Kolloide (Tonminerale, Humus, Oxide) mit negativer Oberflächenladung binden Kationen locker
- Diese adsorbierten Kationen sind durch andere Kationen aus der Bodenlösung austauschbar (→Kationenaustausch)
  - ✍ Dies geschieht als Gleichgewichtsreaktion
- Die geladenen Bodenteilchen (Kolloide) nennt man „Austauscher“
- Austauscher fungieren als Nährstoffspeicher für die Pflanzenernährung und vermeiden die Auswaschung der Kationen
- Es gibt auch einen „Anionenaustausch“ der aber weit weniger bedeutend ist

# Das Prinzip des Ionenaustausches



## Kationenaustauschkapazität (KAK)

- Die Summe der austauschbaren Kationen = KAK
- Sie wird in Ladungsäquivalenten pro Masse Boden angegeben ( $\text{cmol}_c/\text{kg}$  Boden,  $c$  für *charge* = Ladung)
- Aufgrund der Ladungsverhältnisse in den meisten Böden ist die Kationenaustauschkapazität (KAK) weitaus bedeutender als die Anionenaustauschkapazität

# Bodenacidität

pH-Wert des Bodens (Ausdruck der Acidität):

- neg. dekadischer Logarithmus der  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionenkonzentration (vereinfacht:  $\text{H}^+$ -Konzentration)
- **aktuelle** Acidität :  $\text{H}^+$ - Ionen in der Bodenlösung (Bodenwasser)
- **potentielle** Acidität: am Sorptionskomplex austauschbar adsorbierte  $\text{H}^+$ - u.  $\text{Al}^{+++}$  -Ionen
- **Gesamtacidität**: potentielle + aktuelle Acidität

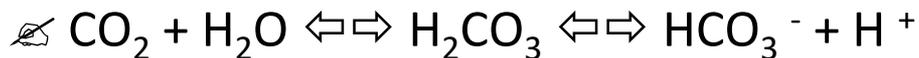
Böden versauern in unseren Breiten im Laufe der Bodenentwicklung, weil ihnen mehr Protonen zugeführt werden, als sie neutralisieren (abpuffern) können

# Ursachen für zunehmende Versauerung von Böden

## ➤ **Bildung von Kohlensäure**

✍ Wurzelatmung

✍ mikrobielle Atmung (Oxidation von Biomasse)



## ➤ **Freisetzung organischer Säuren**

✍ aus der Pflanzenwurzel

✍ Fulvo- und Huminsäuren entstehen bei der Humifizierung

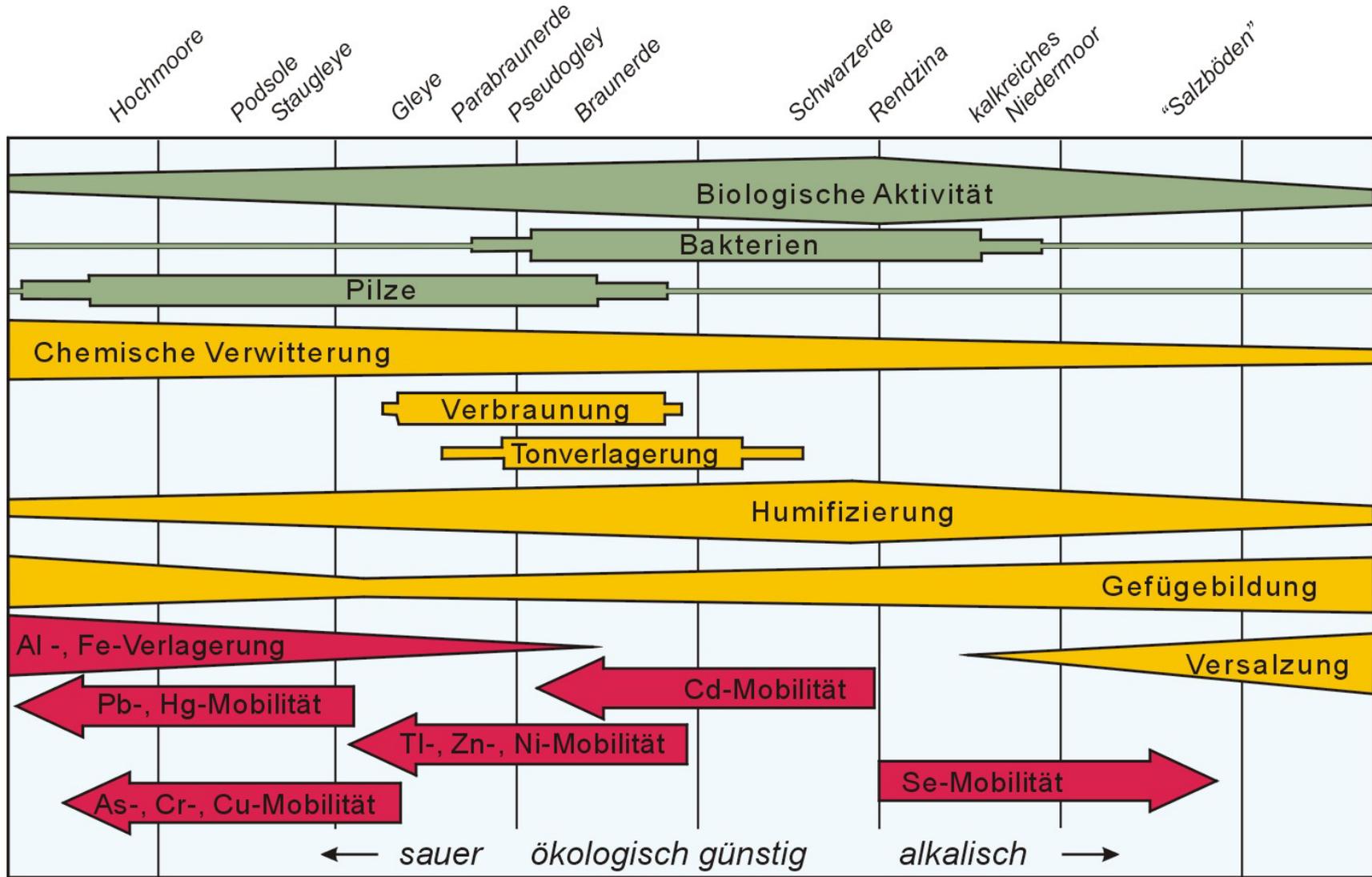
## ➤ **Abgabe von $\text{H}^+$ -Ionen durch die Wurzeln bei Kationenaufnahme**

## ➤ **Eintrag saurer Niederschläge $\text{HCl}$ , $\text{H}_2\text{CO}_3$ , $\text{HNO}_3$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$**

## ➤ **Oxidation von $\text{NH}_4^+$ und $\text{NH}_3$ aus Pflanzenresten (nach Mineralisation), Düngern und Atmosphäre**



# Abhängigkeit von Prozessen im Boden vom pH-Wert



© Lemort Boden, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (SMUGV) 2006. Alle Rechte vorbehalten.

# Puffersystem Boden

## **Pufferung:**

Eigenschaft eines chemischen Systems, bei Zugabe von  $H^+$  oder  $OH^-$  sein pH-Wert kaum zu verändern.  $H^+$  bzw.  $OH^-$  werden reversibel oder irreversibel aus der dissoziierten Form in eine undissoziierte Form überführt

**Pufferungs-Vermögen** (engl. **soil buffering capacity**) eines Bodens:  
Fähigkeit des Bodens, plötzliche Änderungen des pH-Wertes abzuschwächen (DIN 4047 T10, S.27)

## **Puffer-Substanzen:**

Substanzen (fest oder gelöst), an denen Pufferreaktionen ablaufen

## **Beispiele für Puffersysteme:**

Carbonatpuffer (pH 8,2 – 7,2); Silikatpuffer (pH 5,0 – 4,2);  
Aluminium- Eisenoxihydroxidpuffer (pH < 4,2)