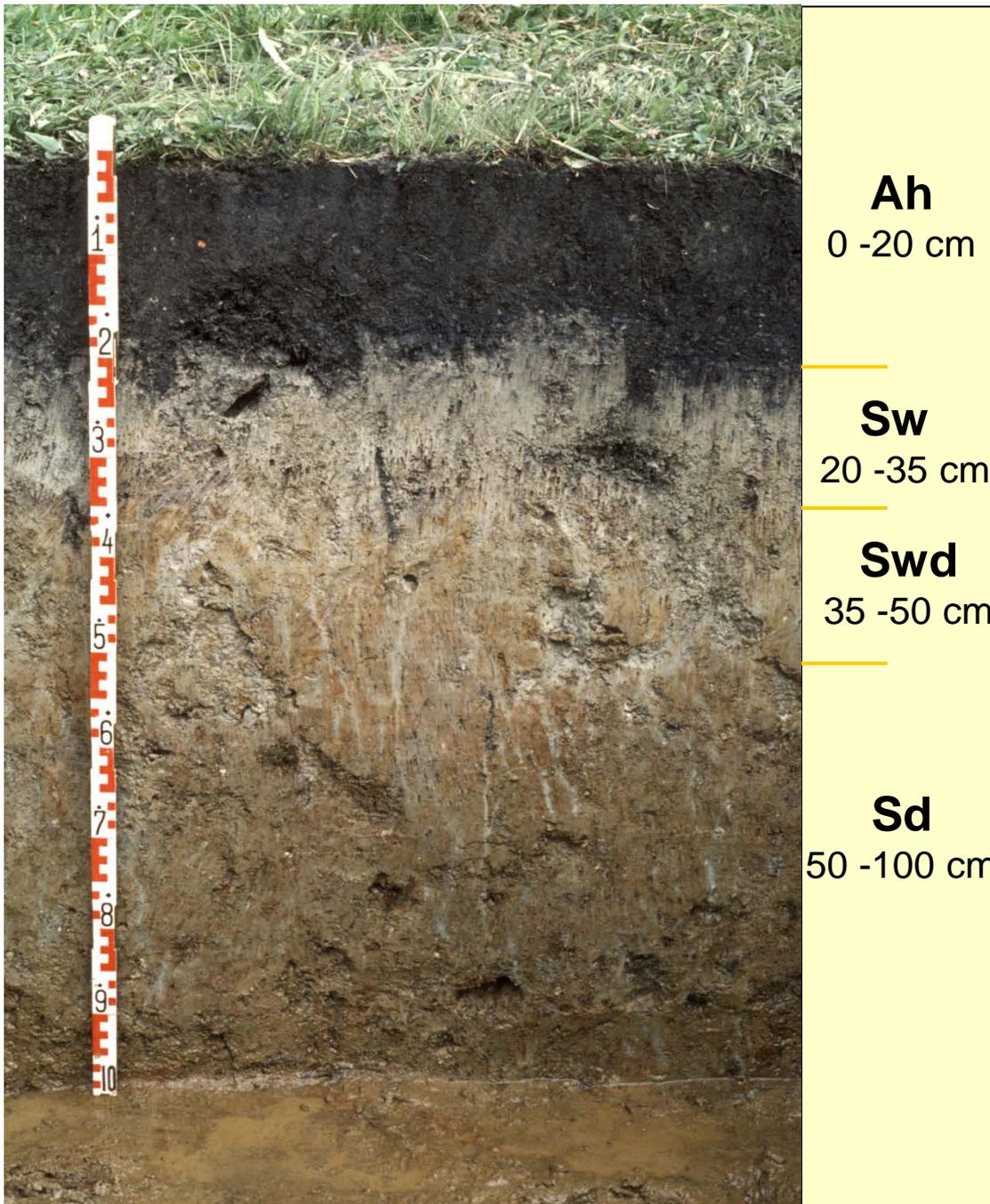


# Bodenbildungsprozesse: Redoximorphose

# Pseudogley aus tertiärem Verwitterungslehm



Profil 15, Rötz - Oberpfalz  
R. Brandhuber, Bayerische LfL

## Pseudovergleyung:

- Reduktion von Fe entlang der Makroporen,
- Oxidation in den Aggregaten



Pseudogley-  
Gley



Ah

Sw

Go/Sd

Gr

# Oxidation/Reduktion in Böden

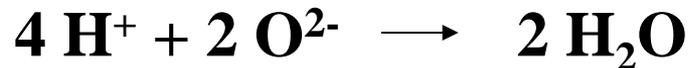
- Bodenbildungsprozess: Redoximorphose
- Energiegewinnung durch biologische Stoffumsätze von C, N, S, Fe, Mn
- Halbreaktionen
- Oxidation:  $e^-$  Abgabe
- Reduktion:  $e^-$  Aufnahme
- Ein Prozess: Gleichzeitiger Ablauf!

# Oxidation/Reduktion in Böden

**O<sub>2</sub> ist normalerweise e<sup>-</sup> Akzeptor!**



## Halbreaktionen



# Redoxreaktionen und deren Energiegewinn

Redoxpotential  $E_h$  (V):

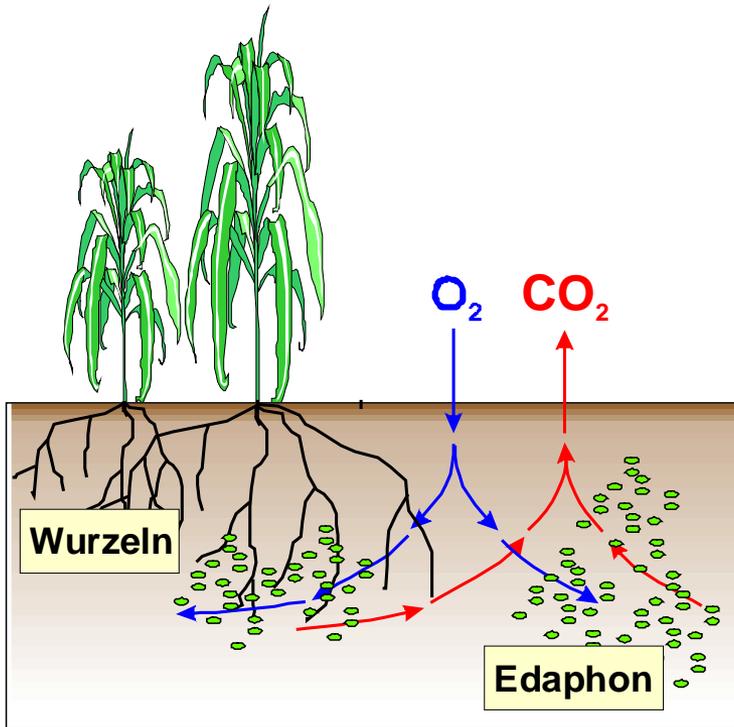
Tendenz einer Substanz e- aufzunehmen oder abzugeben

Standardpotential  $E^0$  (pH = 0)

Normalpotential  $E^0$  (pH = 7)

Bezug einer Halbreaktion auf die Normalwasserstoffelektrode  
(pH=0,  $E^0= 0V$ ; pH=7,  $E^0= -0.42V$ )

# Steuerung der O<sub>2</sub>-Verfügbarkeit in Böden



- Gastransport durch Diffusion
- Gastransport durch Konvektion

Unter aeroben Bedingungen  
ist der Respirationsquotient

$$n(\text{CO}_2)/n(\text{O}_2) \approx 1$$

# Gasdiffusion

O<sub>2</sub> Mangel im Boden:    Wasserstau  
                                    Bodenverdichtung

O<sub>2</sub> Verbrauch (Mikroorganismen, Wurzeln) > O<sub>2</sub> Nachlieferung

## **O<sub>2</sub> Nachlieferung**

Konvektion (Luftbewegung)

Diffusion: chemischer Gradient eines Gases, abhängig vom Porenvolumen, Wassergehalt, Porenkontinuität

➤ Fick'sches Gesetz

# Gasdiffusion

Phase Gas/Wasser: Diffusion um **Faktor  $10^4$**  langsamer als in Gas/Gas Phase

Räumliche Heterogenität der  $O_2$  Verteilung im Boden:

- weite Sekundärporen
- Aggregate (aerobe und anaerobe Mikrohabitate)

# Steuerung der O<sub>2</sub>-Verfügbarkeit in Böden

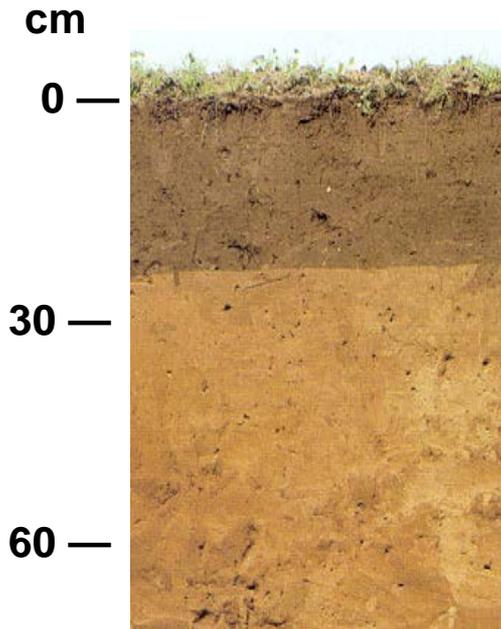
## 2. Luftgefüllte Poren in Böden:

	Porenvolumen [%]	Grobporen (>10 µm) [%]	Luftvolumen bei Feldkapazität [%]
Sandböden	≈ 46	≈ 30	30 - 40
Schluffböden	≈ 47	≈ 15	10 - 25
Tonböden	≈ 50	≈ 8	5 - 10

### Faustformel für Ackerkulturen

- Ausreichende O<sub>2</sub>-Versorgung: Luftvolumen ≥ 15%
- O<sub>2</sub>-Mangel: Luftvolumen ≤ 5%

# O<sub>2</sub>-Mangel: Umsetzung organischer Substanz



**Parabraunerde**  
Humus: 2-3%

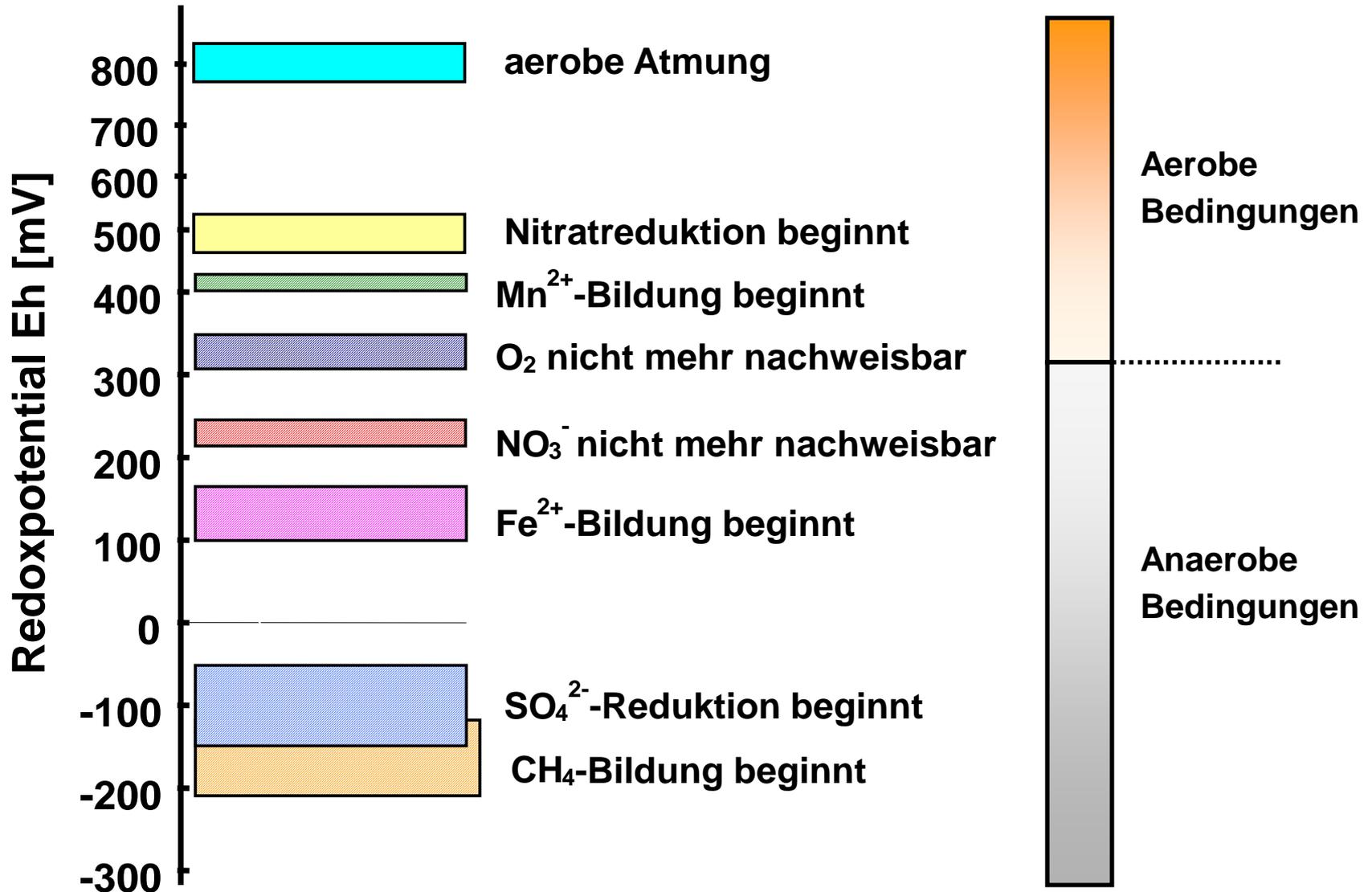


**Anmoor-Gley**  
Humus: 15-30%



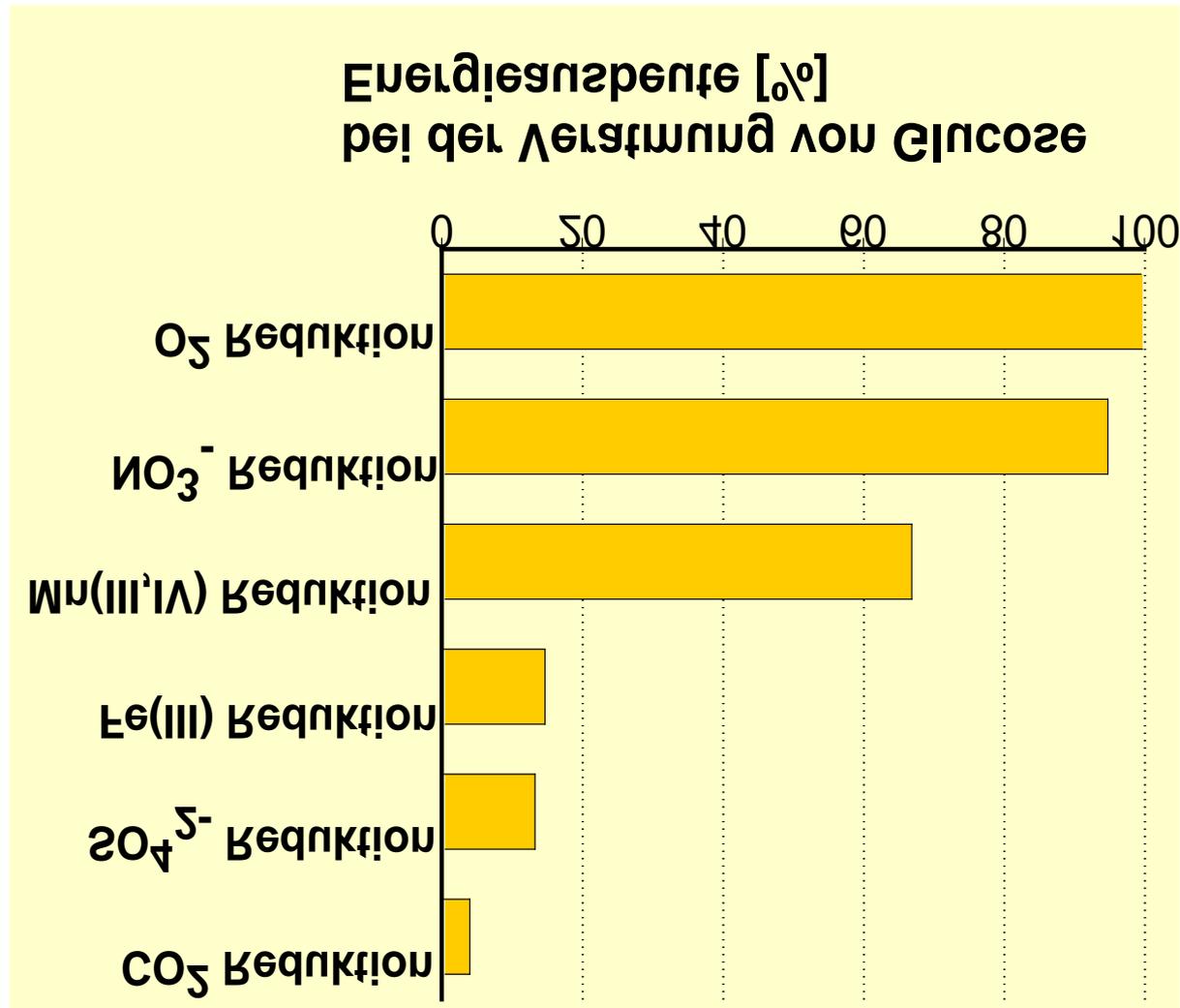
**Niedermoor**  
Humus: > 30%

# Redoxpotential: Qualitatives Maß für Redoxprozesse



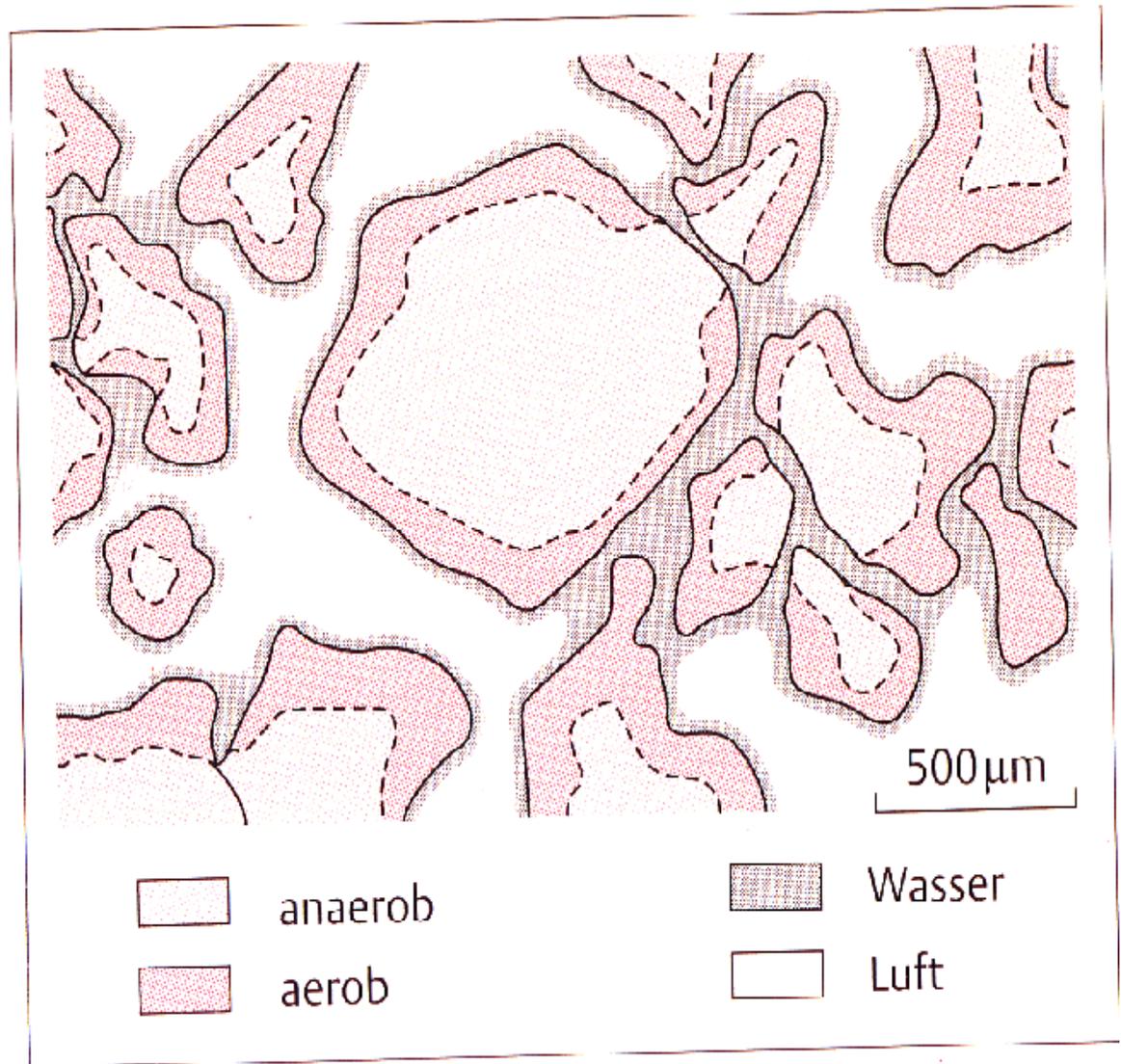
Experimentell ermittelte Redoxpotentialbereiche (Eh<sub>7</sub>) in Böden für verschiedene Redoxreaktionen.

# Energieausbeute bei verschiedenen Reaktionen

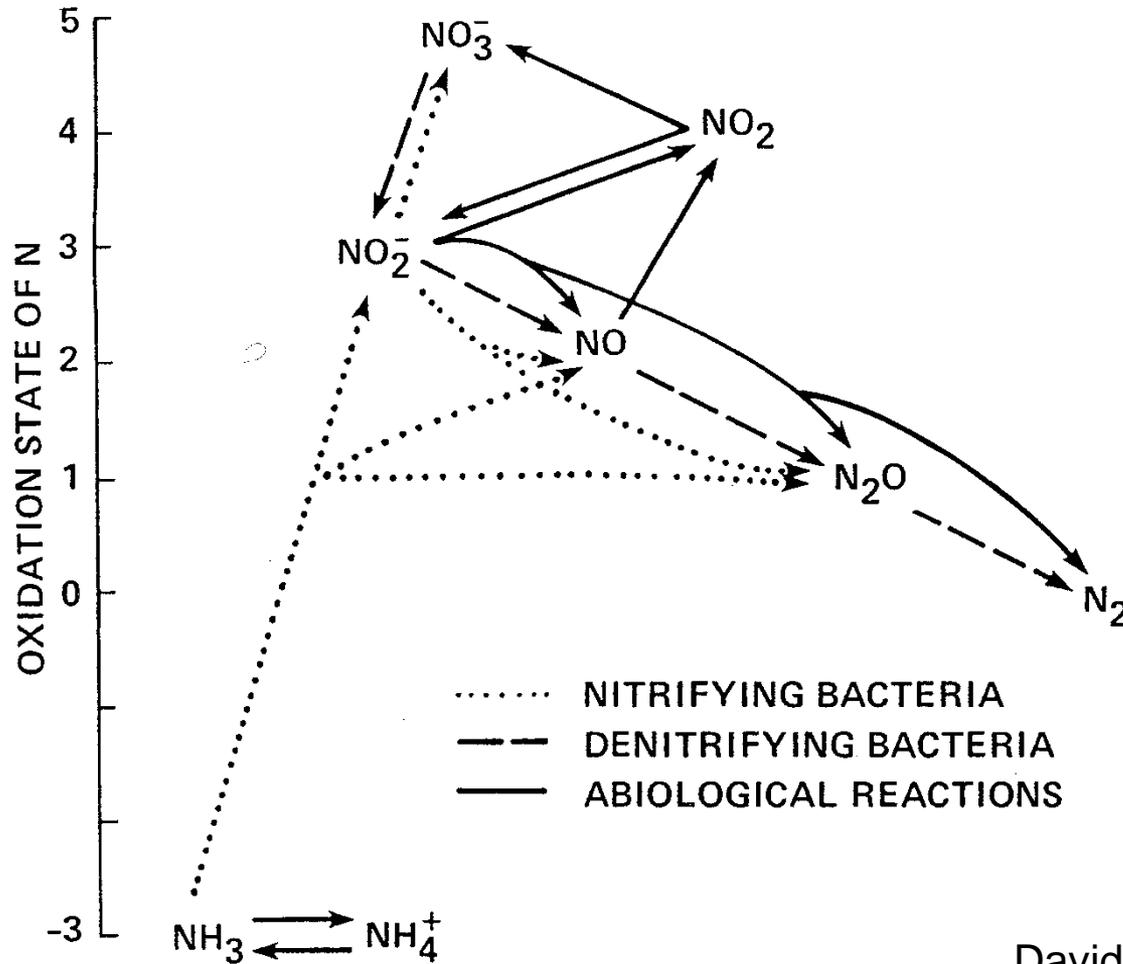


# Heterogenität der O<sub>2</sub>-Versorgung

Abb. 3.14 Kleinräumige Variabilität der Bodendurchlüftung von aeroben zu anaeroben Verhältnissen. Die Krümel sind mit Wasser gesättigt und von einem Wasserfilm umgeben, der Porenraum zwischen den Krümeln ist größtenteils mit Luft gefüllt

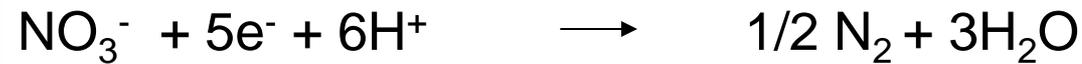
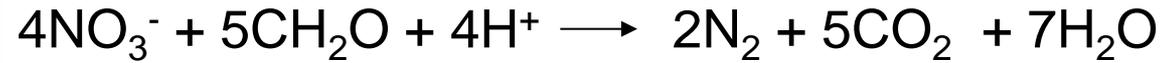


# Oxidationsstufen von Stickstoff



# Denitrifikation

## Denitrifikation/Nitratatmung



$$E_h = +751 \text{ mV}$$



# Ockerbildung an Waldquelle





# Nernst'sche Gleichung

$$E_h = E^0 + \frac{RT}{nF} * \ln \left( \frac{a_{\text{Ox}}}{a_{\text{Red}}} \right)$$

$E^0$	Normalpotential (V)
R	Gaskonstante (8.314 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
T	Temperatur (K)
n	Anzahl der übertragenen Elektronen
F	Faraday-Konstante (96500 C mol <sup>-1</sup> )
aOx	Aktivität der oxidierten Stufe (mol l <sup>-1</sup> )
aRed	Aktivität der reduzierten Stufe (mol l <sup>-1</sup> )

# Redoxpotential: Zusammenhang zum pH-Wert

Umformung durch Einsetzen der Konstanten und Umrechnung von ln auf log:

$$E_h = E_0 + 0.059/n * \log (a_{\text{Ox}}/a_{\text{Red}})$$

Redoxprozesse in wässriger Lösung sind pH-abhängig, Protonen sind an der Reaktion beteiligt

⇒ je geringer der pH, desto höher  $E_h$

# Redoxpotential: Zusammenhang zum pH-Wert

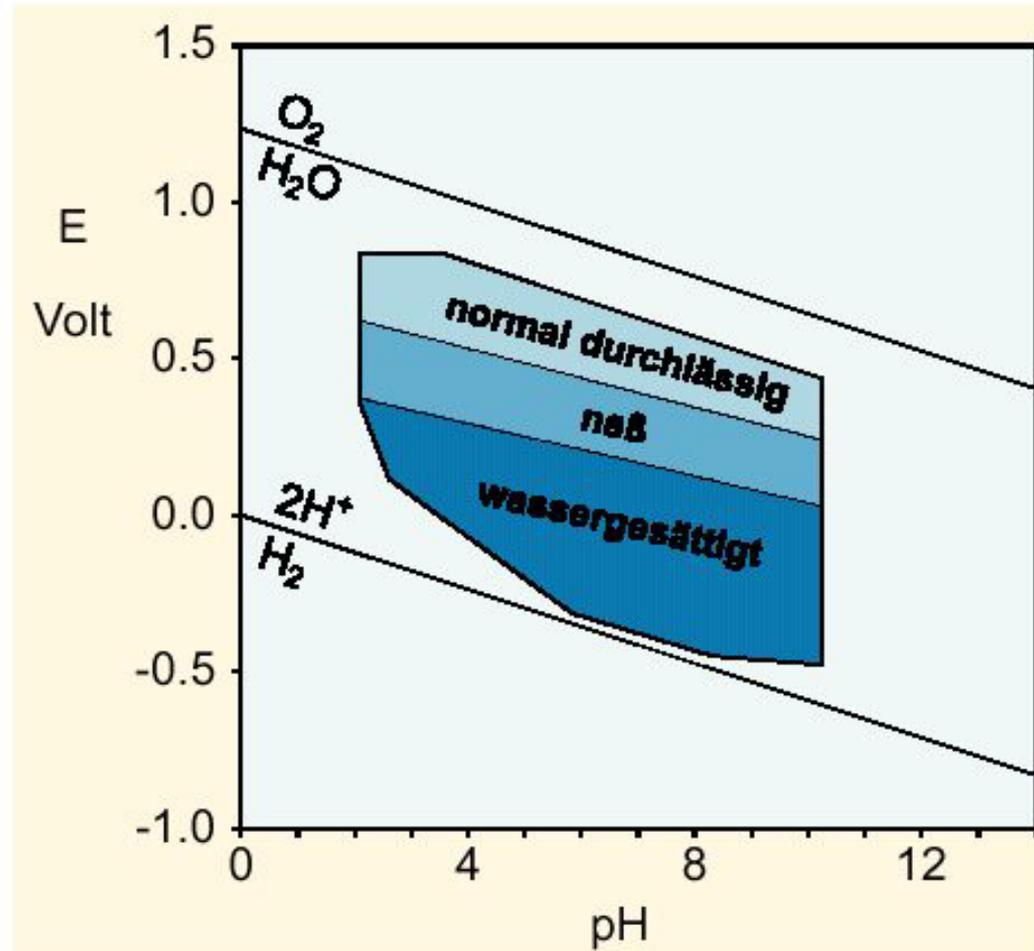
$$E_h = E_0 + 0.059/n * \log (a_{\text{Ox}}/a_{\text{Red}}) - 0.059\text{pH}$$

Reduktion setzt bei niedrigen pH-Werten früher ein!

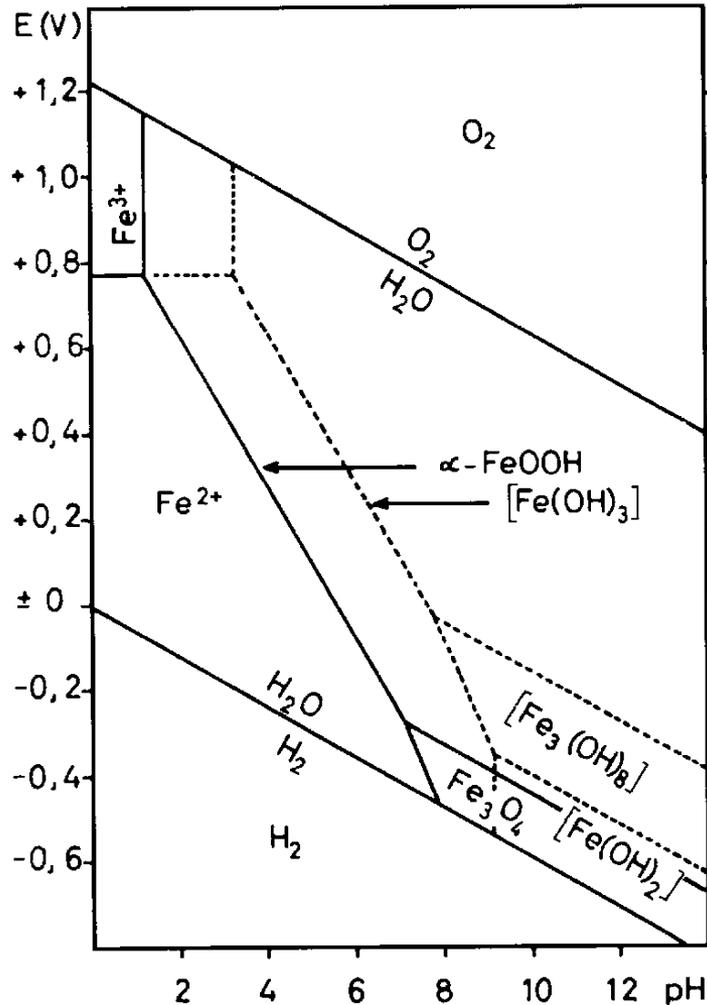
# Redoxpotential: Zusammenhang zum pH-Wert

In Abhängigkeit vom pH-Wert können im Boden also die in Abb.1 dargestellten Redoxpotentiale auftreten. In gut durchlüfteten neutralen Böden liegt das Redoxpotential über 0,5 V, in anaeroben Böden ist es niedriger.

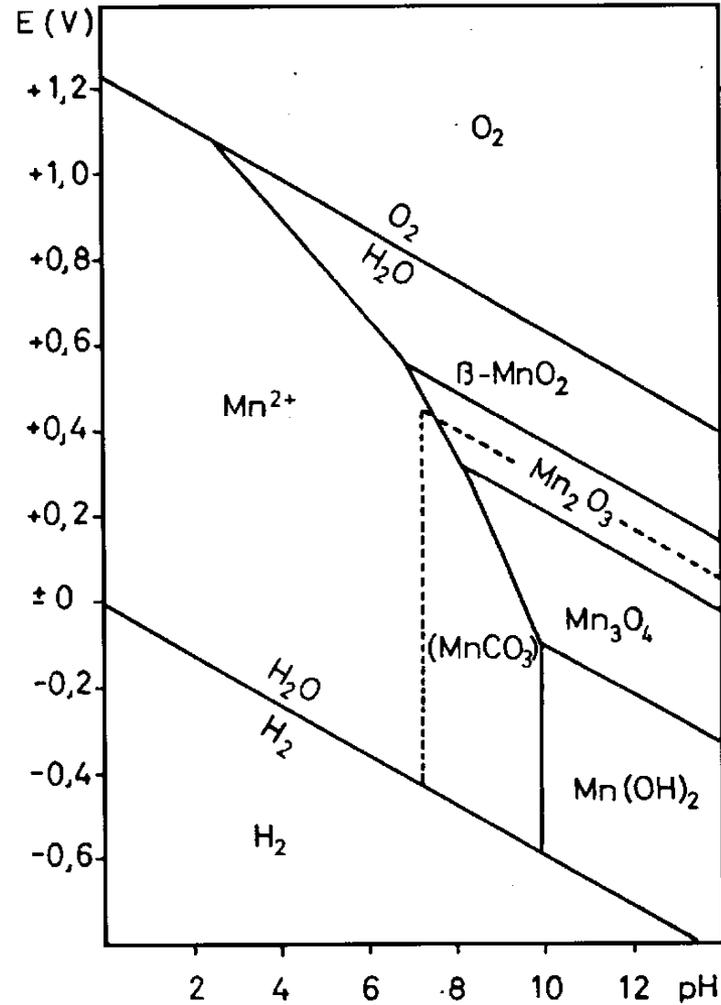
Abb.1



# Stabilität von Fe- und Mn-Oxiden im Boden

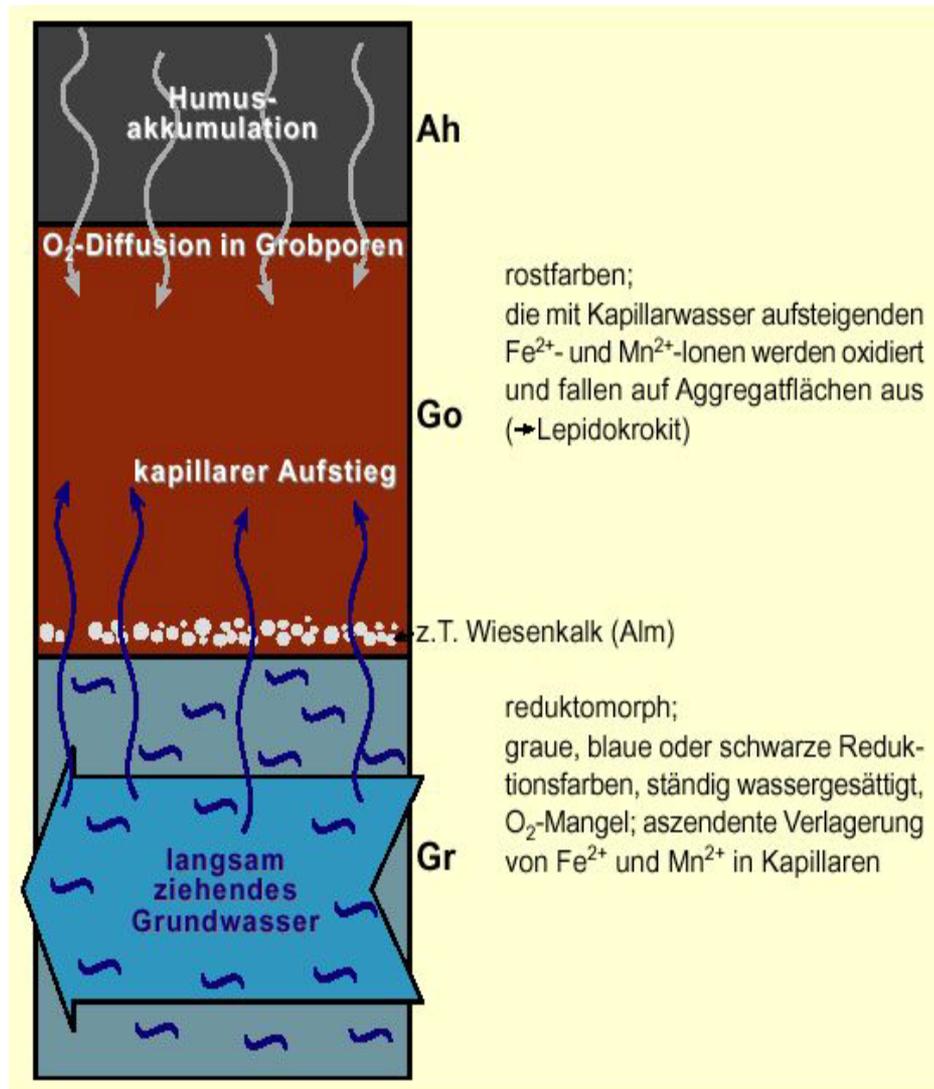


**Abb. 4.3-1** Stabilitätsfelder von  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $\alpha\text{-FeOOH}$  und  $Fe_3O_4$  (mit gestrichelten Linien von  $Fe(OH)_3$ ,  $Fe_3(OH)_8$  und  $Fe(OH)_2$ ) in Abhängigkeit von Redoxpotential, pH-Wert und Ionenaktivitäten von  $10^{-5} \text{ Mol l}^{-1}$  unter Standardbedingungen ( $10^5 \text{ Pa}$ ,  $25^\circ \text{C}$ ).



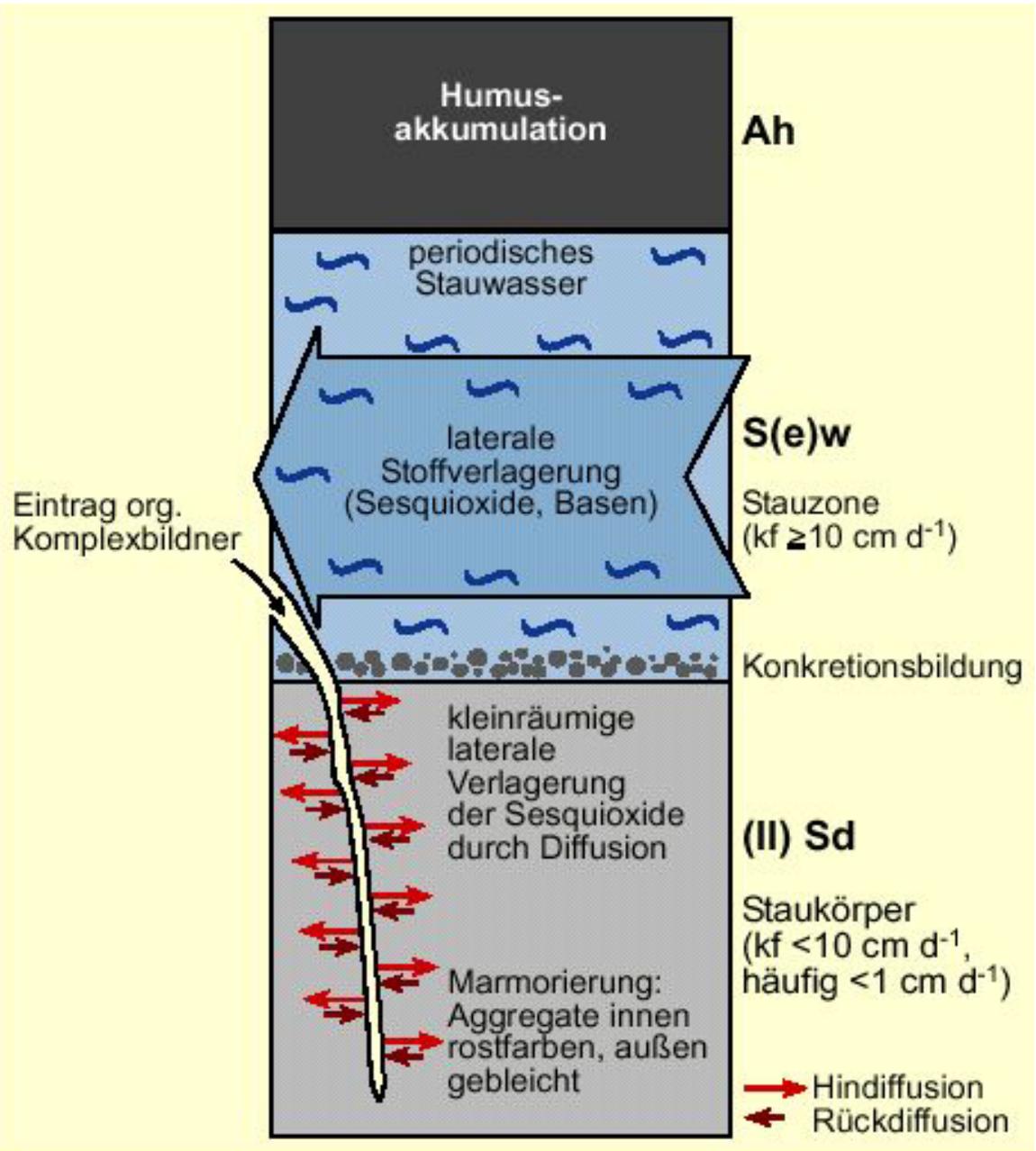
**Abb. 4.3-2** Stabilitätsfelder von  $Mn^{2+}$ ,  $\beta\text{-MnO}_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$  und  $Mn(OH)_2$  in Abhängigkeit von Redoxpotential, pH-Wert und Ionenaktivitäten von  $10^{-5} \text{ Mol l}^{-1}$  unter Standardbedingungen ( $10^5 \text{ Pa}$ ,  $25^\circ \text{C}$ ). - - - = Stabilitätsfeld für  $MnCO_3$  bei einem  $CO_2$ -Gehalt der Bodenluft von 1 % ( $P_{CO_2} = 10^3 \text{ Pa}$ ).

# Vergleyung: Mobilisierung von $\text{Fe}^{2+}$ und $\text{Mn}^{2+}$ bei Wassersättigung



## Pseudovergleyung:

- Stauwasser beeinflusst
- **Sw-Horizont** (reduktiv), gebleicht, stauwasserleitend
- **Sd-Horizont** (oxidativ), marmoriert, wasserstauend, 50-70% Rost- und Bleichflecken  
Reduktion in Grobporen, Diffusion von  $\text{Fe}^{2+}$  in Aggregatinneres und Oxidation zu  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ -Konkretionen

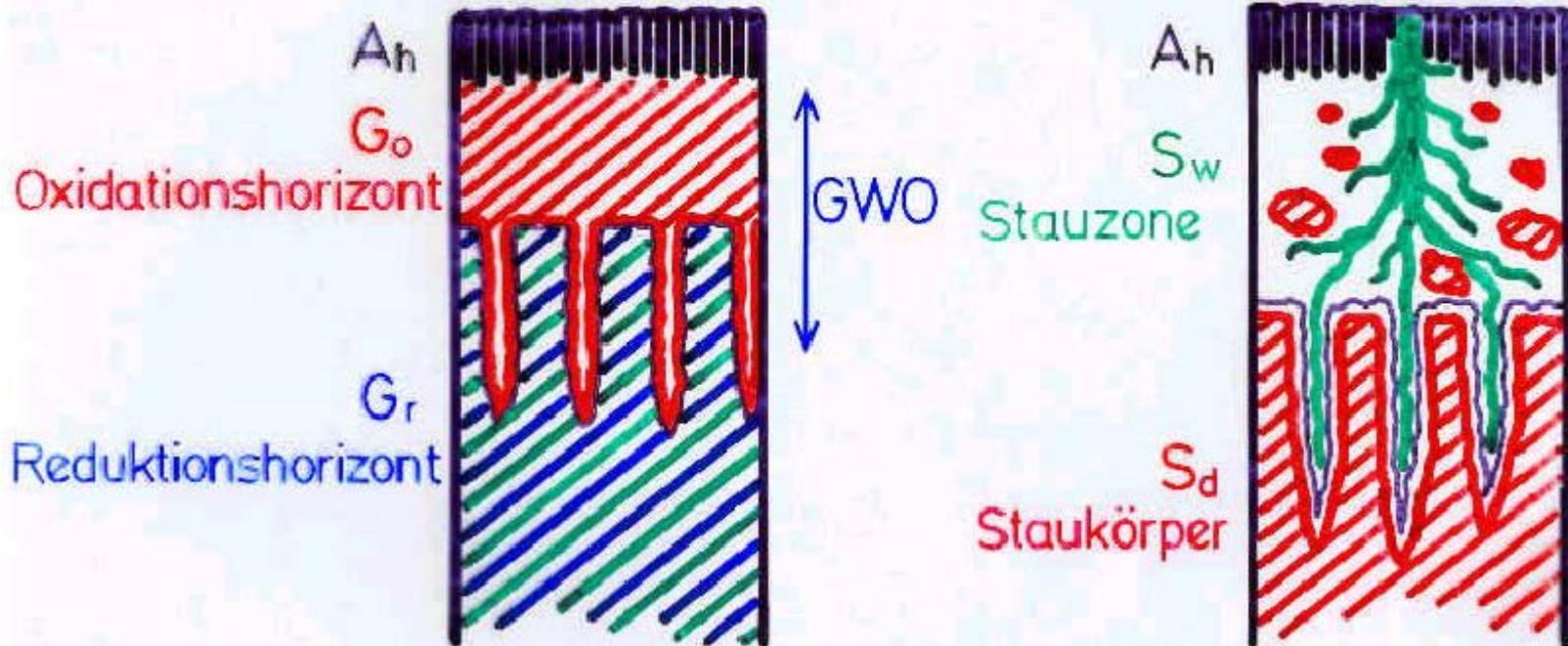


# Pseudovergleyung und Vergleyung: Unterschiede in der Redoxdynamik

Fe-oxid - Verteilung im

Gley

Pseudogley



im Profil

rot: Fe-oxid-Anreicherung