

Das Programm

1. Einführung

BODENBESTANDTEILE

2. Mineralische Bestandteile der Böden
3. Organische Bestandteile der Böden

BODENBILDUNG

→ 4. **Faktoren und Prozesse der Bodenbildung**

5. Bodenbildung auf verschiedenen Gesteinen
6. Klassifikation und Kartierung von Böden

BODENFUNKTIONEN

7. Wasser, Luft und Wärme
8. Bodenreaktion und Nährstoffe
9. Erhaltung und Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit

BÖDEN UND KLIMA

10. Böden und Klima

S 46

Bodenbildende Prozesse

Verwitterung und andere Umwandlungsprozesse

Physikalische Verwitterung

Chemische Verwitterung und Verbraunung
Gefügebildung
Humusanreicherung

Verlagerungsprozesse

Auswaschung von Salzen
Entcarbonatisierung
Tonverlagerung
Podsolierung

Anreicherungsprozesse

Carbonatisierung
Salzanreicherung

Redoximorphose

Pseudovergleyung
Vergleyung

Turbationsprozesse

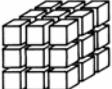
Bioturbation
Kryoturbation
Peloturbation

S 47

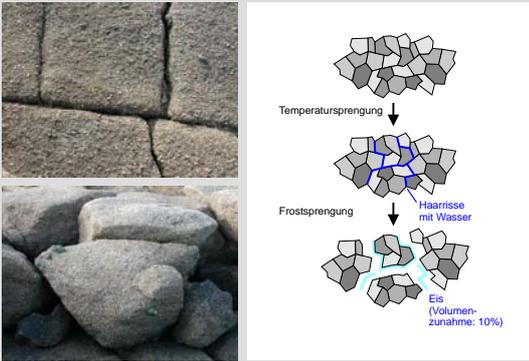
1. Physikalische Verwitterung

→ Zerkleinerung des Gesteins oder der Mineralien

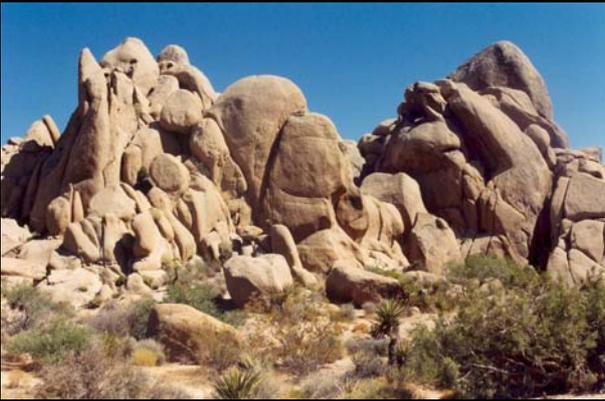
→ Vergrößerung der Oberfläche

			
Kantenlänge	a	a/3	a/10
Anzahl Würfel	1	3 ³	10 ³
Oberfläche	6 a ²	3 · 6 a ²	10 ³ · 6 a ²
wenn a = 1 cm	6 cm ²	18 cm ²	6 m ²

Physikalische Verwitterung → Vergrößerung der Oberfläche



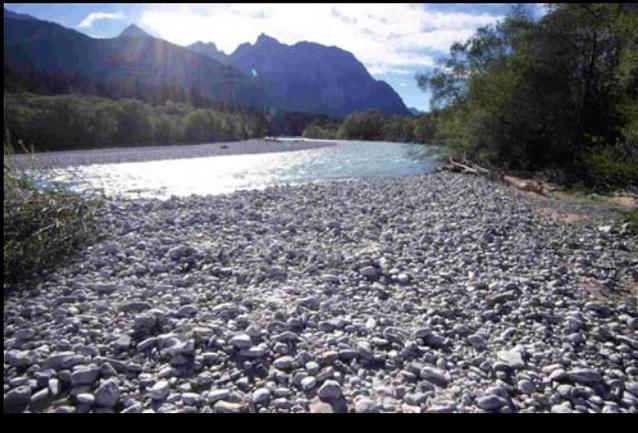
Wollsackverwitterung von Granit: Druckentlastung, Temperatursprengung, Frostsprengung



Geröllhalde: Temperatursprengung, Frostsprengung



Flussbett: Abrasion durch Transport mit Wasser



S 48

Bodenbildende Prozesse

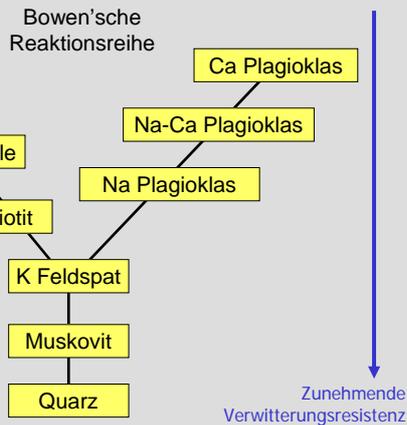
- Verwitterung und andere Umwandlungsprozesse
 - Physikalische Verwitterung
 - Chemische Verwitterung und Verbraunung**
 - Gefügebildung
 - Humusanreicherung
- Verlagerungsprozesse
 - Auswaschung von Salzen
 - Entcarbonatisierung
 - Tonverlagerung
 - Podsolierung
- Anreicherungsprozesse
 - Carbonatisierung
 - Salzanreicherung
- Redoximorphose
 - Pseudovergleyung
 - Vergleyung
- Turbationsprozesse
 - Bioturbation
 - Kryoturbation
 - Peloturbation

Verwitterbarkeit von Mineralien

Halit (Steinsalz)	(Salze, Sulfate)	↓ Verwitterungsresistenz
Gips, Anhydrit		
Calcit	(Carbonate)	
Dolomit		
Vulkanische Gläser		
Olivine		
Ca-Plagioklase		
Pyroxene		
Ca-Na Plagioklase	(Primäre Silikate)	
Amphibole		
Na-Plagioklase		
Biotite		
K-Feldspat		
Muskovite		
Vermikulite, Smektit	(Sekundäre Schichtsilikate)	
Quarz		
Kaolinit		
Gibbsit, Hematit, Goethit	(Oxide, Hydroxide)	

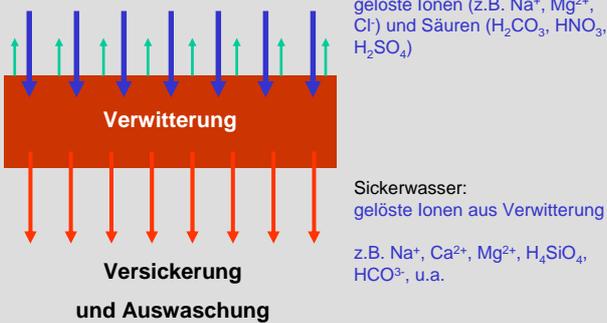
Verwitterbarkeit von Mineralien





Chemische Verwitterung → Veränderung der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung

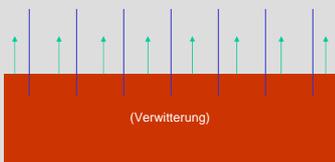
Humides Klima



Chemische Verwitterung → Veränderung der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung

Arides Klima

Regenwasser:
gelöste Ionen (z.B. Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻) und Säuren (H₂CO₃, HNO₃, H₂SO₄)



**kaum
Versickerung**

S 48

Die Chemische Verwitterung wird begünstigt durch:

- Verwitterbarkeit der Mineralien

(leicht lösliche Salze >> Gips > Calcit > Dolomit)

(Olivine > Amphibole > Biotite > K-Feldspäte > Quarz)

- Sickerwasser, das die Lösungsprodukte abführt

(humide Klimate > aride Klimate)

(gut drainierte Böden > schlecht drainierte Böden)

- Grosse angreifbare Oberfläche

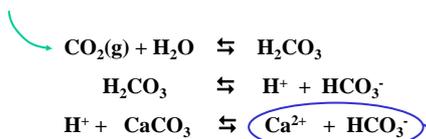
(stark zerkleinertes Gestein > festes, grobes Gestein)

(poröse Gesteine > dichte Gesteine)

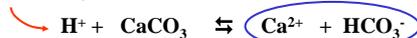
S 49

1. Protolyse von Carbonaten (→ Entcarbonatisierung)

Auflösung und Auswaschung von Carbonaten (Calcit, Dolomit)



Andere Säureinträge:



Wichtige Folgen:

- solange freie Carbonate im Boden vorhanden sind, ist der Boden pH-Wert auf 7.2 und 8.2 gepuffert.
- der Oberboden wird entkalkt, aber im Unterboden können sich die Carbonate in Form von "Kalkmycel" oder harten Kalkkonkretionen wieder anreichern.
- erst wenn der Boden vollständig entkalkt ist, sinkt der pH Wert unter 7.2 und es setzt eine Versauerung ein (humides Klima).



Mull-Rendzina

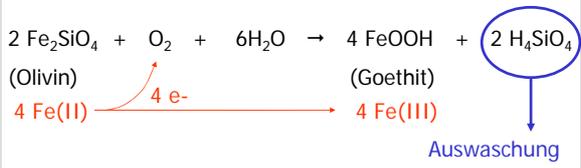
[L] Humoser Oberboden, pH 7.5
Ah
C Kalkstein (>95 % CaCO₃)

2. Protolyse von Silikaten (→ "Verbraunung")

- Wenn Boden entkalkt ist, sinkt der pH Wert auf unter pH 7.
Säurequellen: CO₂ Gleichgewicht, Pflanzenwurzeln, Saurer Regen, Abbau von organischer Substanz, Düngung, u.a.
- Freie Protonen greifen Silikatstrukturen an, diese Verwittern.
- Elemente wie Mg, Ca, K, Na, Fe(II), Mn u.a. werden freigesetzt.
- Fe(II) oxidiert zu Fe(III) und fällt als braunes Fe-Hydroxid (Ferrihydrit) aus (→ Verbraunung)

S 51

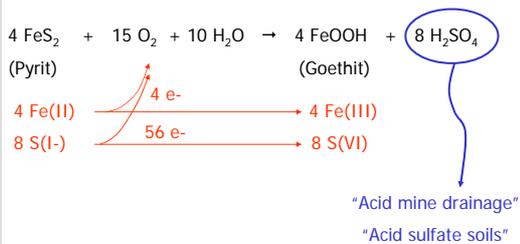
3. Verwitterung von Olivin zu Goethit





S 50

4. Oxidative Verwitterung von Pyrit zu Goethit



Acid mine drainage:

- Extrem sauer (pH 1-2) durch H_2SO_4
- Hohe Schwermetallkonzentrationen
- Ausfällung von Fe Hydroxiden



S 51

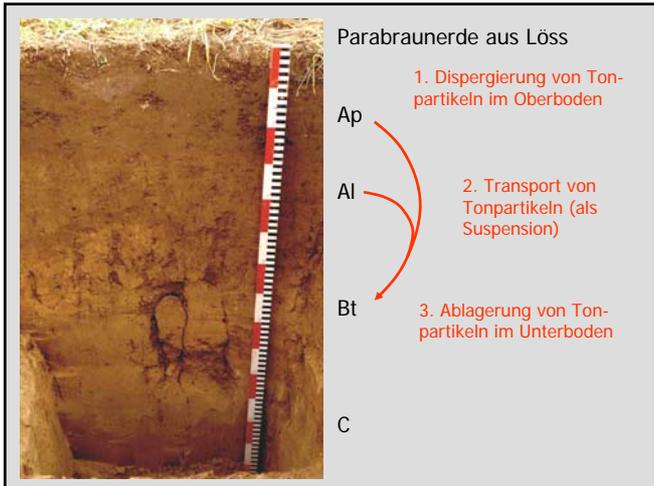
Bodenbildende Prozesse

- Verwitterung und andere Umwandlungsprozesse
 - Physikalische Verwitterung
 - Chemische Verwitterung und Verbraunung
 - Gefügebildung
 - Humusanreicherung
- Verlagerungsprozesse
 - Auswaschung von Salzen
 - Entcarbonatisierung
 - Tonverlagerung**
 - Podsolierung
- Anreicherungsprozesse
 - Carbonatisierung
 - Salzanreicherung
- Redoximorphose
 - Pseudovergleyung
 - Vergleyung
- Turbationsprozesse
 - Bioturbation
 - Kryoturbation
 - Peloturbation

S 52

Tonverlagerung (Lessivierung):

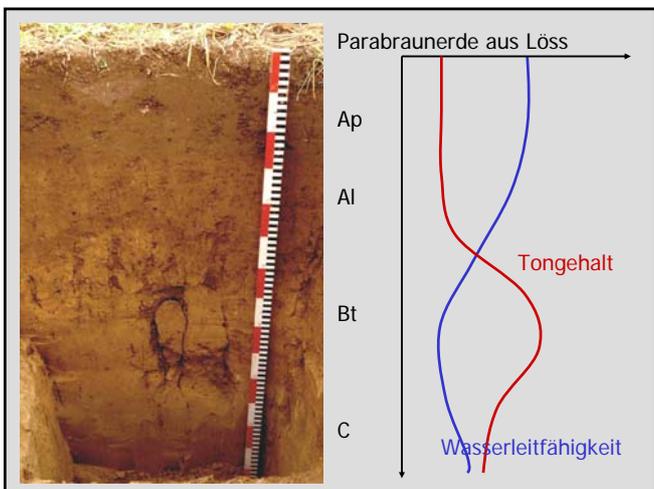
- **Abwärtsverlagerung von Tonpartikeln** mit dem Sickerwasser und **Deposition in tieferen Bodenhorizonten**.
- im Oberboden entsteht eine **Al Horizont** (l = lessiviert), der an Ton verarmt ist.
- im Unterboden entsteht ein **Bt Horizont** (t = Tonanreicherung), der einen erhöhten Tongehalt aufweist.
- im Bt Horizont findet man eingeregelteten Ton, z.B. in Form von **"Tonhäutchen"**.
- Folge: die Wasserleitfähigkeit im Bt Horizont sinkt durch die Einlagerung von Ton in die grösseren Poren.



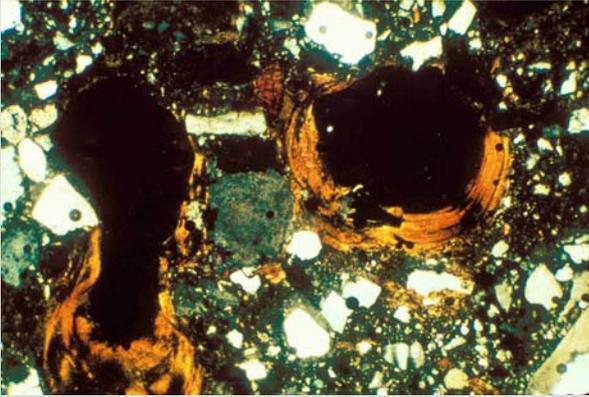
S 52

Voraussetzungen für Tonverlagerung:

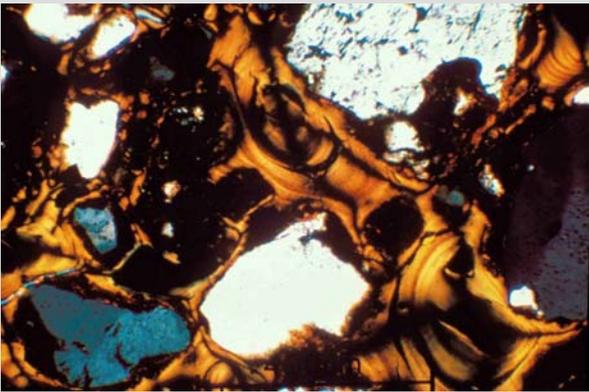
- 1.) Dispergierung von Tonpartikeln im Oberboden
 - niedrige Ca^{2+} Konzentration
 - niedrige Al^{3+} Sättigung
 - geringe Aggregatstabilität
- 2.) Transport mit Sickerwasser
 - rasche Versickerung durch grobe Poren
 - Wechsel Austrocknung - starke Niederschläge
- 3.) Ablagerung der Partikel im Unterboden
 - steigende Ca^{2+} Konzentration → Flockung
 - abnehmende Fließgeschwindigkeit
 - enger werdende Poren



Eingeregelte "Tonhäutchen" in Poren



Toneinwaschung zwischen größeren Partikeln



S 53

Bodenbildende Prozesse

- Verwitterung und andere Umwandlungsprozesse
 - Physikalische Verwitterung
 - Chemische Verwitterung und Verbraunung
 - Gefügebildung
 - Humusanreicherung
- Verlagerungsprozesse
 - Auswaschung von Salzen
 - Entcarbonatisierung
 - Tonverlagerung
 - Podsolierung**
- Anreicherungsprozesse
 - Carbonatisierung
 - Salzanreicherung
- Redoximorphose
 - Pseudovergleyung
 - Vergleyung
- Turbationsprozesse
 - Bioturbation
 - Kryoturbation
 - Peloturbation

S 53

Podsolierung:

- Abwärtsverlagerung von **gelösten** (oder kolloidalen) **organischen Substanzen**, zusammen mit **komplexierten Fe und Al**, und deren Anreicherung im Unterboden.
- im Oberboden entsteht ein gebleichter **Ae Horizont** (e = eluvial), der an Fe Hydroxiden verarmt ist.
- im Unterboden entsteht ein dunkler **Bh Horizont** (h = Humusanreicherung), der einen erhöhten Gehalt an organischer Substanz aufweist.
- darunter findet man einen rötlich-braunen **Bs Horizont** (s = Sesquioxide), in dem Fe/Al Hydroxide angereichert sind.

S 54

Podsol



- L / Of / Oh } organische Säuren komplexieren Fe, Al
- Ae } Polymerisieren, fallen aus
- Bh } Fe/Al Hydroxide fallen aus
- Bs
- C

S 54

Voraussetzungen für Podsolierung:

- Auswaschung von gelösten organischen Säuren**
 - niedriger pH Wert
 - gehemmter Abbau (z.B. kühles Klima)
 - Humusform Moder oder Rohhumus
- Transport mit Sickerwasser**
 - humides Klima
 - ungehemmte Versickerung (z.B. sandige Böden)
- Bleichung im Ae, Ausfällung im Bh und Bs**
 - niedriger pH Wert, sandige Textur (Quarzreich)
 - Fe und Al Sättigung führt zur Ausflockung
 - Fe und Al werden noch etwas weiter transportiert

Podsols



auf Sandstein (Schwarzwald, D)



auf Gneis (Davos, CH)

S 54

Bodenbildende Prozesse

- Verwitterung und andere Umwandlungsprozesse
 - Physikalische Verwitterung
 - Chemische Verwitterung und Verbraunung
 - Gefügebildung
 - Humusanreicherung
- Verlagerungsprozesse
 - Auswaschung von Salzen
 - Entcarbonatisierung
 - Tonverlagerung
 - Podsolierung
- Anreicherungsprozesse
 - Carbonatisierung
 - Salzanreicherung
- Redoximorphose
 - Pseudovergleyung
 - Vergleyung
- Turbationsprozesse
 - Bioturbation
 - Kryoturbation
 - Peloturbation

S 54

Carbonatisierung:

→ Bildung und Anreicherung von CaCO_3 im Boden als

- feiner, flaumartiger Sekundärkalk ("Pseudomycel")
- Kalkkonkretionen (z.B. "Lösskindel") oder harte Kalkbänke ("calcrete")

Ursachen:

- Wasserentzug
- Verringerung des CO_2 Partialdruckes der Bodenluft

Folgen:

- kalkreiche Horizonte, im Extremfall verhärtet.

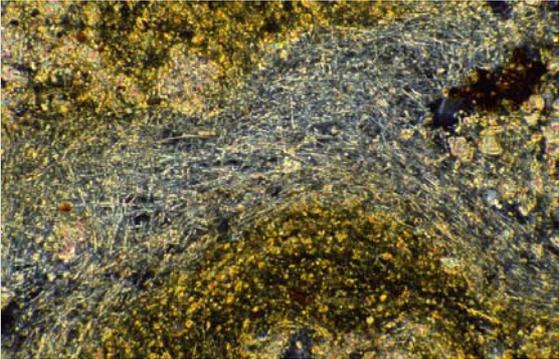


Kalkauswaschung
 $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$

Kalkanreicherung
 $\text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

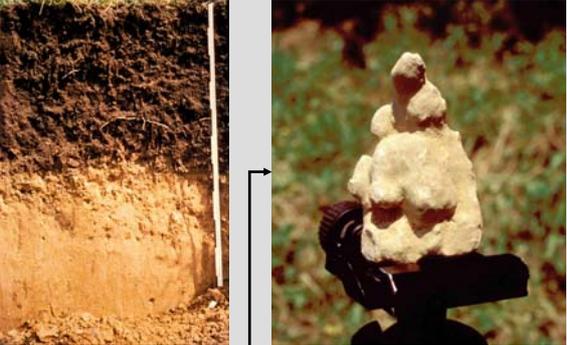
The diagram shows a blue arrow pointing from the top reaction to the bottom reaction, and a green dotted arrow pointing upwards from the bottom reaction.

Ausfällung von "Kalkmycel" (Calcit) im Unterboden



Schwarzerde auf Löss

"Lösskindel" entstehen im Unterboden von Lössböden





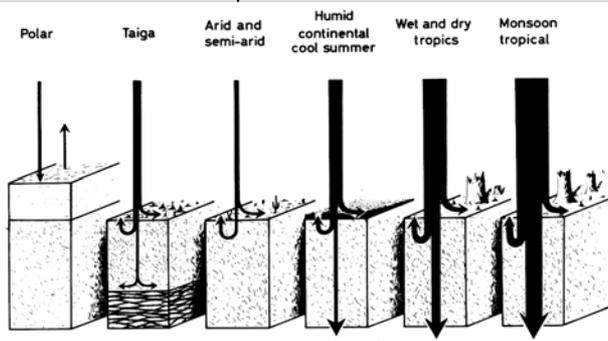
Durch Kalkanreicherung
verhärtete Kalkbank
("calcrete").

Durch Erosion freigelegt.

(Süd-Spanien)

S 55

Anreicherung von leicht löslichen Salzen





Salzanreicherung in Ariden
Gebieten durch Bewässerung
oder natürlich in Niederungen.



(Oase bei Nefta, Tunesien)

S 55

Bodenbildende Prozesse

- Verwitterung und andere Umwandlungsprozesse
 - Physikalische Verwitterung
 - Chemische Verwitterung und Verbraunung
 - Gefügebildung
 - Humusanreicherung
- Verlagerungsprozesse
 - Auswaschung von Salzen
 - Entcarbonatisierung
 - Tonverlagerung
 - Podsolierung
- Anreicherungsprozesse
 - Carbonatisierung
 - Salzanreicherung
- Redoximorphose
 - Pseudovergleyung
 - Vergleyung
- Turbationsprozesse
 - Bioturbation
 - Kryoturbation
 - Peloturbation

S 55

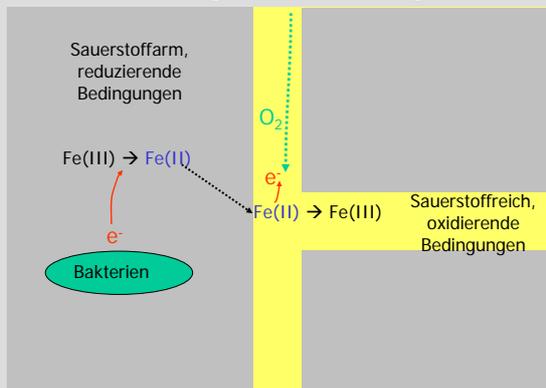
Redoximorphose:

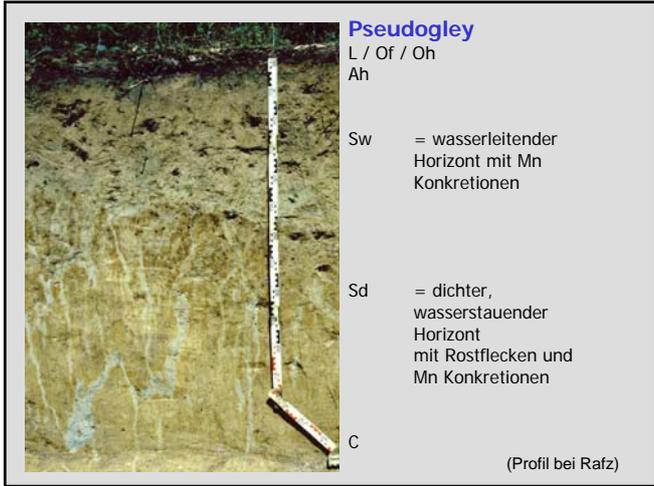
→ "Rostfleckung" oder "Marmorierung" durch kleinräumige Umverteilung von Fe und Mn (Hydr)oxiden, infolge von Sauerstoffmangel.

Ursachen:

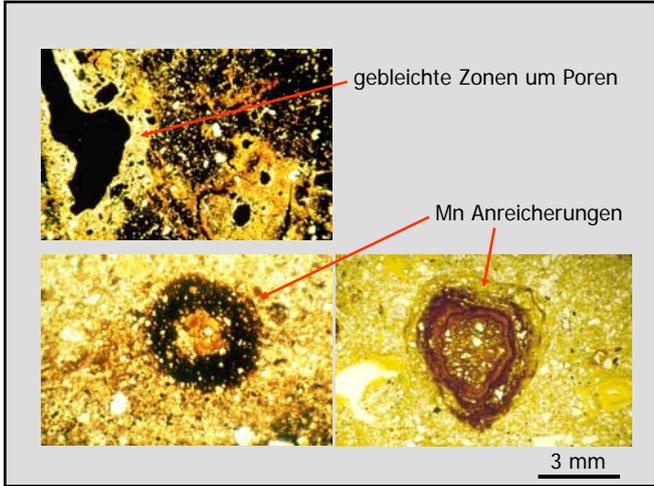
- Vergleyung: permanente Vernässung durch Grundwasser
- Pseudovergleyung: zeitweise Vernässung durch Stauwasser
- selten andere Ursachen (z.B. Gasleitung)

Entstehung von Fe-Rostfleckung

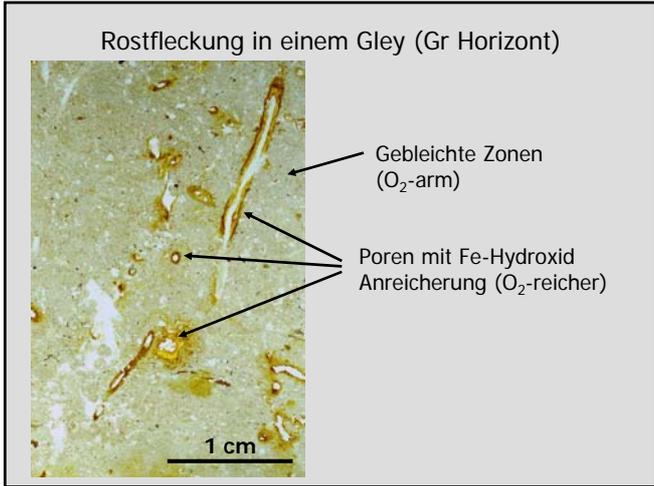


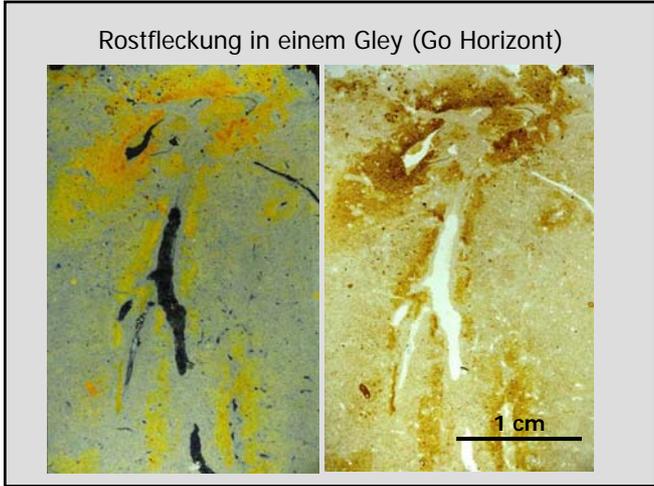












S 57

Bodenbildende Prozesse

- Verwitterung und andere Umwandlungsprozesse
 - Physikalische Verwitterung
 - Chemische Verwitterung und Verbraunung
 - Gefügebildung
 - Humusanreicherung
- Verlagerungsprozesse
 - Auswaschung von Salzen
 - Entcarbonatisierung
 - Tonverlagerung
 - Podsolierung
- Anreicherungsprozesse
 - Carbonatisierung
 - Salzanreicherung
- Redoximorphose
 - Pseudovergleyung
 - Vergleyung
- Turbationsprozesse
 - Bioturbation**
 - Kryoturbation**
 - Peloturbation**

S 57

Turbationsprozesse:

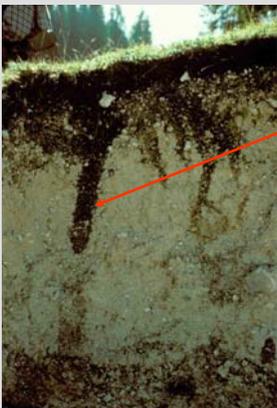
→ Vermischung des Bodens durch Tiere, Frost, oder Quellung/Schrumpfung.

“Bioturbation”: Regenwürmer, Ameisen, Maulwürfe, Mäuse, Hamster, u.a.

“Kryoturbation”: Durch Bodenfrost werden Steine nach oben gedrückt, der Boden wird langsam durchmischt.

“Peloturbation”: Durch Quellung und Schrumpfung von Tonreichen Böden wird Boden durchmischt.

Bioturbation: Bodenvermischung durch Organismen



durch Nagetiere,
Gänge wurden mit
Oberboden verfüllt.

Andere wühlende Tiere:
Regenwürmer, Ameisen,
Termiten, Mäuse,
Maulwürfe, u.a.

Bioturbation: Bodenvermischung durch Organismen



(degradiertes Niedermoor über Seekreide, NO-Polen)

Kryoturbation: Bodenvermischung durch Frost



Eiskeil in einem Boden mit Permafrost (Kanada)



"Polygone", durch Permafrost entstanden

Kryoturbation

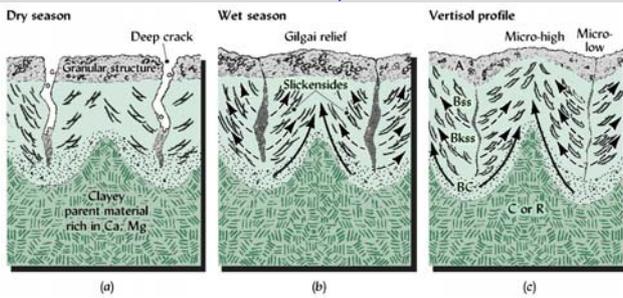


Vermischung durch Frost (reliktisch)

"Pingo"



S 57 Peloturbation: Vermischung durch Quellen und Schrumpfen



- Hoher Tongehalt (viel Smektit)
- Ausgeprägter Wechsel zwischen trockenen und feuchten Perioden
- Entstehung von Pelosol (bzw. Vertisol)

Schrumpfrisse in einem Vertisol (Spanien)