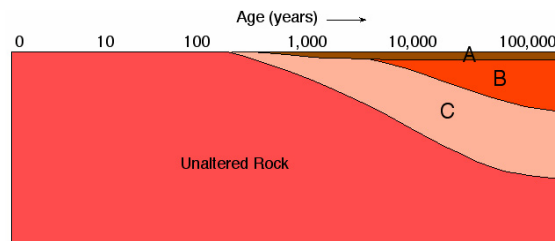


Gesetzmäßigkeiten der Bodenentwicklung



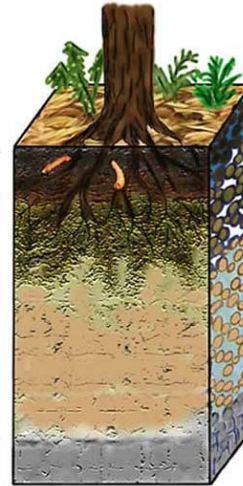
L
Streu, weitgehend unzer-
setztes organisches Aus-
gangsmaterial (vom engl.
litter)

O
Organischer Horizont auf
dem Mineralboden auf-
legend

A
Oberer mineralischer, mit
organischer Substanz ver-
mischter Horizont;
"Oberboden"

B
Mineralischer Horizont,
durch Ver-/Umlagerungen
mit Ton, freiem Eisen (Fe),
Aluminium (Al) und/oder
mit organischer Substanz
angereichert;
"Unterboden"

C
Unverwittertes Ausgangs-
gestein



29.04.11

kuzyakov@gwdg.de

Gliederung

1. Einleitung

- Begriffsdefinitionen: Gesetze, Böden, Bodenentwicklung
- Faktoren → Prozesse → Merkmale

2. Bodenentwicklung als Funktion von

- Gestein (Lithosequenzen)
- Klima (Klimasequenzen)
- Vegetation
- Relief (Toposequenzen)
- Zeit (Chronosequenzen)

- Raum- und Zeitskalen ausgewählter bodenbildender Prozesse
- Probleme der Erforschung der Entwicklung eines Bodens
- Welche Methoden stehen zur Verfügung?

3. Elementare bodenbildende Prozesse und die Bodengese

Ziele

- Gibt es allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Bodenentwicklung?
- Bodenentwicklung als eine Prozess-Abfolge
- Gekoppelte Entwicklung von benachbarten Böden = Bodenvergesellschaftung und ihre Gesetzmäßigkeiten
- Effekt der bodenbildenden Faktoren auf die Bodenentwicklung
- Selbst an einem Fallbeispiel die Bodenentwicklung zu charakterisieren

Einleitung

- Begriffsdefinitionen:
 - Gesetze
 - Böden
 - Bodenentwicklung
- Bodenbildende Faktoren
- Faktoren → Prozesse → Merkmale
- Probleme der Erforschung eines Bodens
- Welche Methoden stehen zur Verfügung?



Gesetze

- Juristische Gesetze
- Alltagsregularitäten
- Theoretische Gesetze
- Naturgesetze
- Statistische Gesetze
- Gesetzmäßigkeiten
- Generalisierungen

Zu welchen Gesetzen können die Gesetzmäßigkeiten der Bodenentwicklung eingliedert werden?

Naturgesetz

ist ein kausaler Zusammenhang, der unter bestimmter Konstellation der Faktoren und Bedingungen immer zu gleichem Ergebnis führt



Sphären

- Stratosphäre
- Troposphäre
- **Atmosphäre**
- **Lithosphäre**
- **Pedosphäre**
- **Morphosphäre**
- **Hydrosphäre**
- **Biosphäre**
- **Kriosphäre**
- **Anthroposphäre**
- Noosphäre

Pedosphäre ist ein überall an der Erdoberfläche auftretendes, durch Verwitterung der Gesteine hervorgegangenes mechanisches Gemenge von Gesteins- und Mineralbruchstücken und deren Umwandlungsprodukten, vermischt mit einer mehr oder minder großen Menge sich zersetzender und schon zu Humus umgebauter organischer Bestandteile

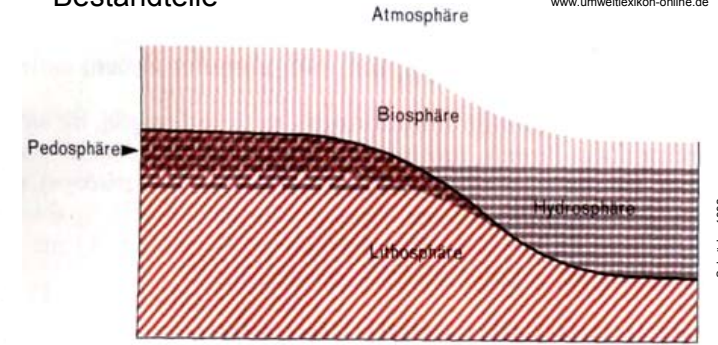
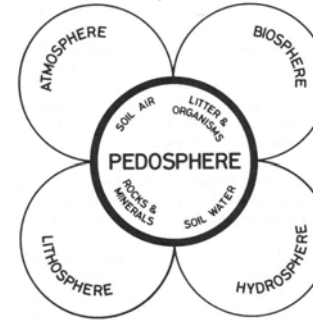
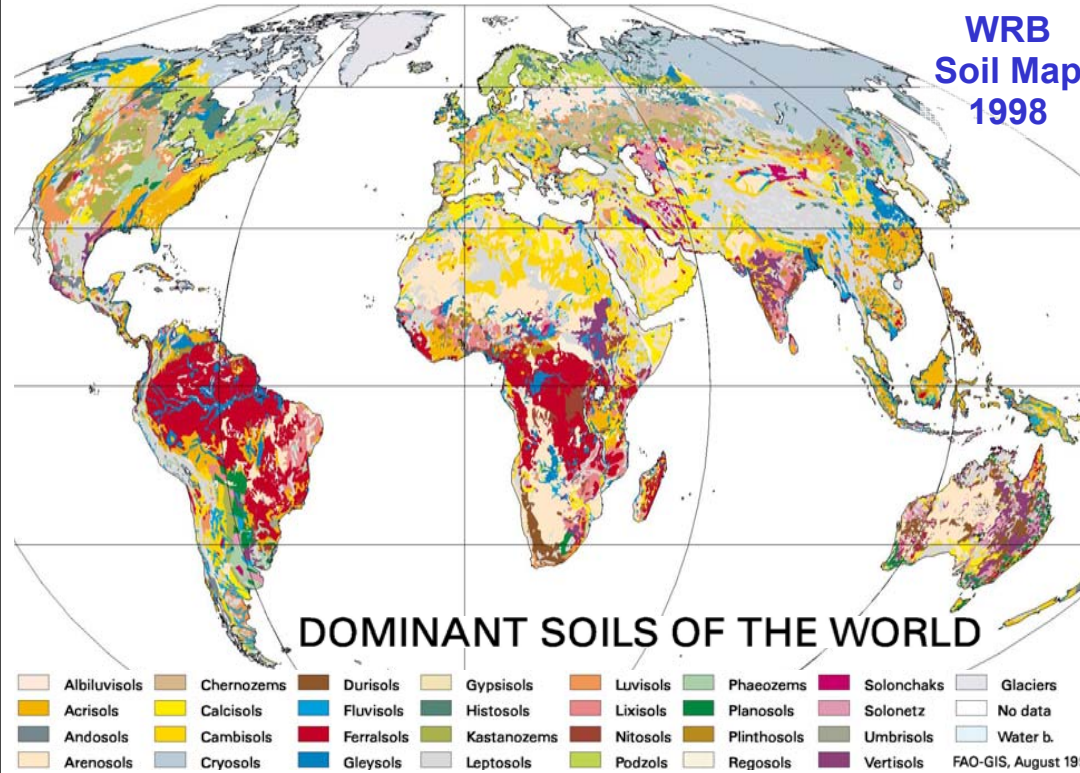
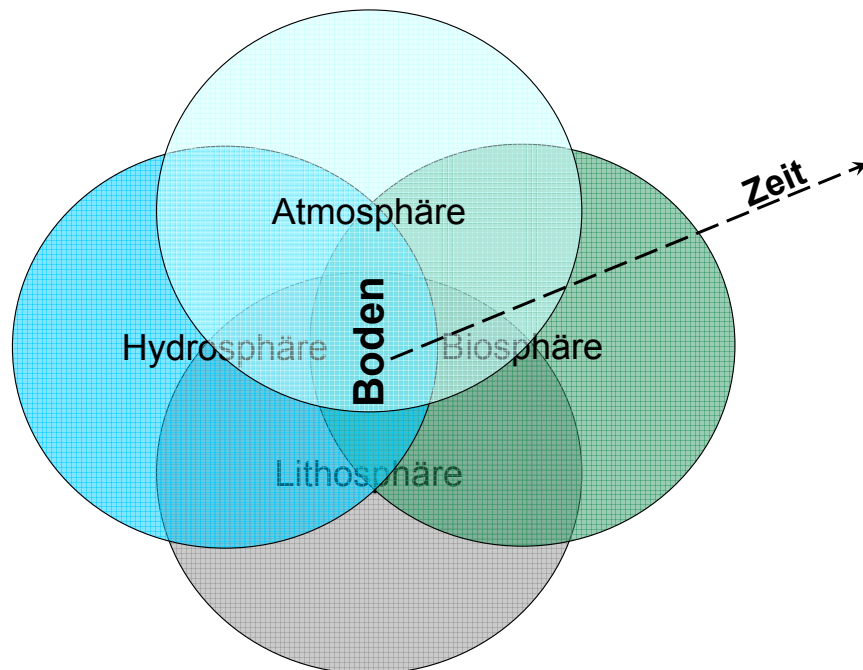


Abb. 1 Die Pedosphäre als Grenzphänomen der Erdoberfläche



Boden als Schnittpunkt der Sphären





Strukturelle Gliederung der Pedosphäre

Bereich	Erläuterung
Pedospäre	Gesamte Bodendecke; sie stellt ein Kontinuum dar
Bodenlandschaft	Teilbereich der Pedosphäre, der von einer typischen Bodengesellschaft eingenommen wird
Pedon	Bodenelementarzelle
Polypedon	Räumlicher Ausschnitt aus der Pedosphäre, der sich durch eine charakteristische innere Struktur von benachbarten Bereichen unterscheidet
Horizont	Durch Bodenbildungsvorgänge entstandene, mehr oder minder oberflächenparallele Lage eines Bodenkörpers
Solum	Gesamtheit der Horizonte über dem Ausgangsgestein
Bodentyp	Böden mit gleichartigen pedogenen Merkmalen, die sich in charakteristischer Weise von Böden eines anderen Entwicklungszustandes unterscheiden.



Definitionen des Bodens

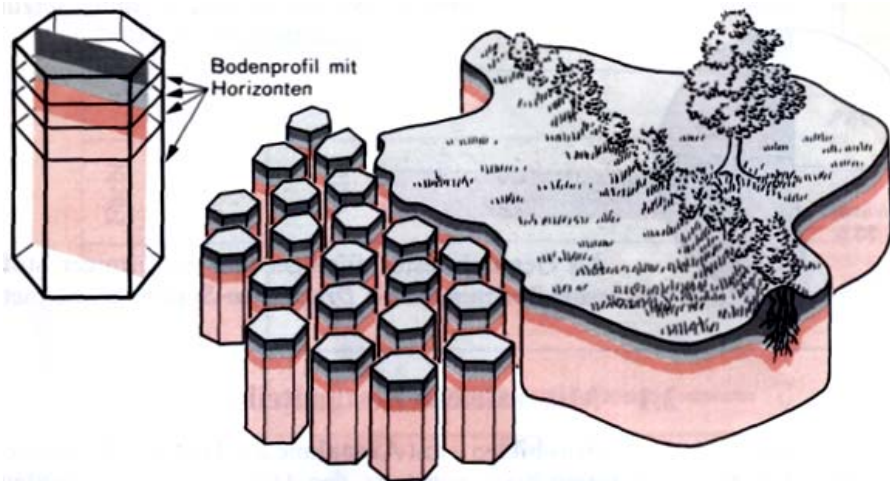
Zitat	Definition	Besonderheit
Ramann 1893	Boden ist die oberste Verwitterungsschicht der festen Erdrinde	Geologisch
Dokuchaev 1899 (Jenny 1941)	Soil is a function of climate, vegetation and other organisms, parent material, relief, and time or age	Faktoren, Zeit
Bodenschutzkonzeption 1985	Der Boden ist Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen, Teil der Ökosysteme mit ihren Stoffkreisläufen ..., prägendes Element der Natur und Landschaft	Funktion
Tucker 1985	Böden entstehen durch physikalisch-chemische sowie biologische Prozesse und sind in Horizonte unterteilt	Prozesse und Eigenschaften
Schlichting 1986	Boden ist ein poröses, den Organismen Wasser und Luft sowie Nährelemente vermittelndes natürliches Medium	Funktion + Anwendung
Driessen & Dudal 1991	Soil is a 3-dimensional body with properties that reflect the impact of climate, the vegetation and fauna, and topography on the soils' parent material over a variable time span	Faktoren, Raum, Zeit
Stahr 1995	Böden sind Naturkörper und als solche vierdimensionale Ausschnitte aus der Erdkruste, in denen sich Gestein, Wasser, Luft und Lebewelt durchdringen	Geologisch + Biologisch + Raum



Pedon

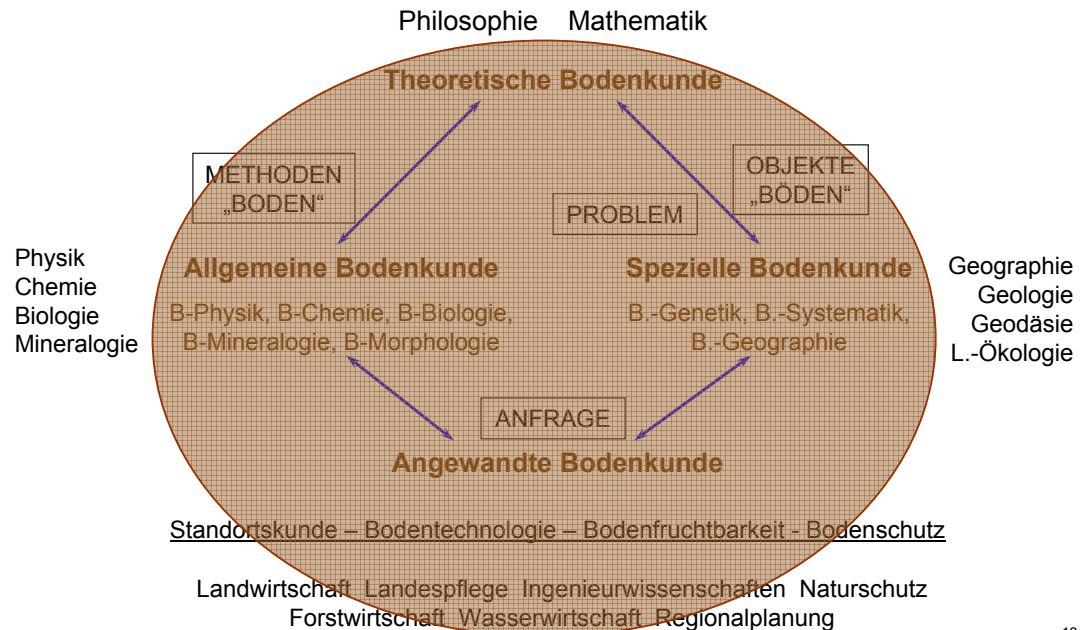
Idealisiertes Einzelpedon mit Horizonten

Aufteilung eines Ausschnittes aus der Pedosphäre in Pedons



Gliederung der Bodenkunde

unter Bezug auf die verwandten Naturwissenschaften und Anwendungsbereiche



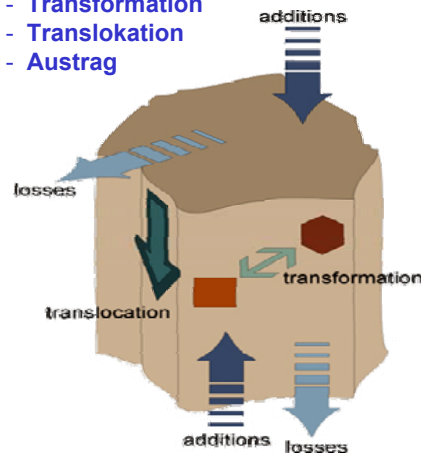


Bodenentwicklung

ist eine zeitliche Abfolge pedogener Prozesse, die das Ausgangsgestein oder den Ausgangsboden verändern und zur Ausprägung von Bodenhorizonten, pedogenen Merkmalen und Bodenvergesellschaftung führt, und den Boden in Gleichgewicht mit umgebenden Klima, Vegetation und Nutzung bringt

4 Prozessgruppen:

- Eintrag
- Transformation
- Translokation
- Austrag



Calcaric Regosol

www.agsci.ubc.ca/soil200/classification/soilformation_process.htm

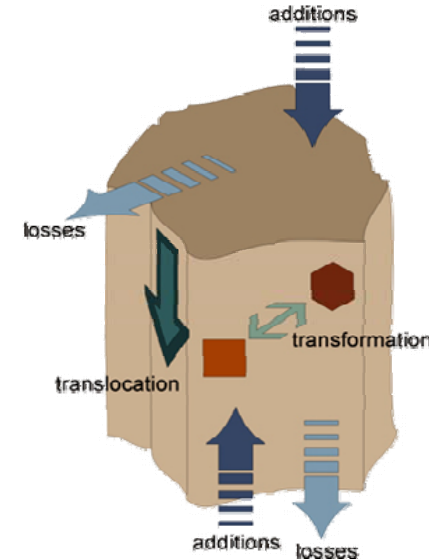


Haplic Chernozem



4 Prozessgruppen

- **Additions** of material to the developing soil profile from outside sources, such as organic matter from leaves, dust from the atmosphere, or soluble salts from groundwater
- **Losses** of material from the soil profile by leaching to groundwater, erosion of surface material, or other forms of removal (often transformation and translocation result in the accumulation of material in a particular horizon)
- **Translocation** (transportation) of inorganic and organic materials from one horizon to another, either up or down (material is primarily moved by water but may also be moved by soil organisms)
- **Transformation** of soil constituents from one form to another, such as through mineral weathering and organic matter breakdown



www.agsci.ubc.ca/soil200/classification/soilformation_process.htm 15



Faktoren → Prozesse → Merkmale

Bodenfunktionsgleichung

$$B = f(K, O, G, R, M, t)$$

$$S = f(Cl, O, P, R, M, t)$$

Vasily Dokuchaev 1883
Hans Jenny 1941

- K Cl = Klima
- O = Organismen (Flora + Fauna)
- G P = Gestein, parent material
- R = Relief
- t = Zeit
- M = Mensch



Vasily Dokuchaev
1846 - 1903



Hans Jenny
1899 - 1992

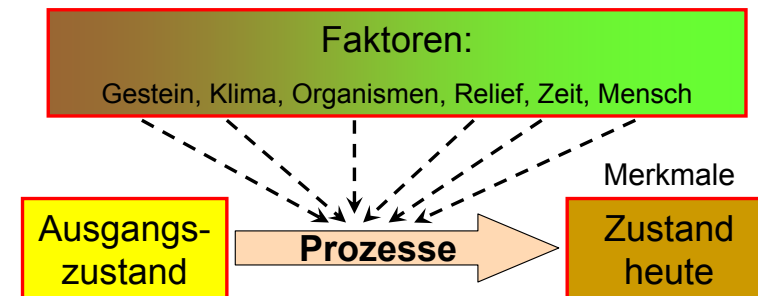


Faktoren → Prozesse → Merkmale

$$S = f(Cl, O, P, R, M, t)$$

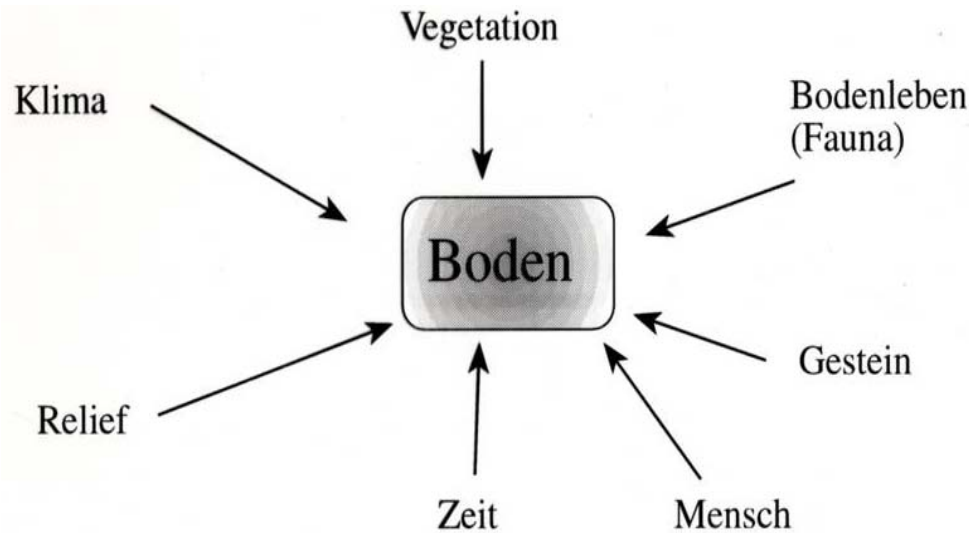
Vasily Dokuchaev 1883
Hans Jenny 1941

- Cl = Climate
- O = Organisms (Flora + Fauna)
- P = Parent material
- R = Relief
- t = Time
- M = Man





Faktoren der Bodenentwicklung

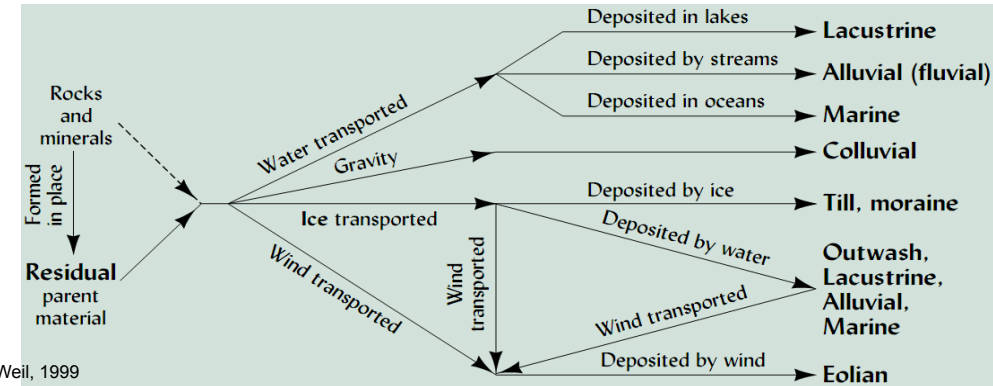
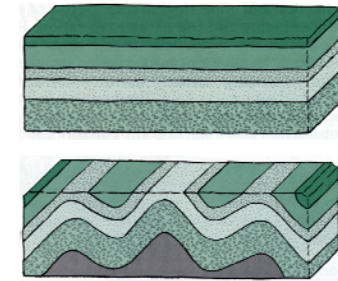


18



1. Ausgangsgestein

- Chemische Zusammensetzung
 - Basen, Nährstoffe,
 - pH
- Verwitterungsrate, -resistenz
- Mechanische Festigkeit
- Wasserkapazität
- Permeabilität



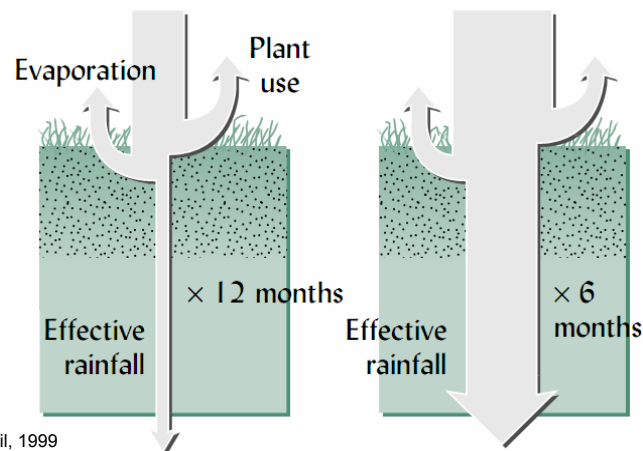
Brady & Weil, 1999



2. Klima

- Niederschlag** ↑
- Auswaschung ↑
 - Verwitterung ↑
 - Austrag von Basen ↑
 - Eintrag von organischen Säuren ↑
 - Bodenversauerung ↑
 - Eintrag von OS ↑
 - Durchlüftung ↓
 - Atmung ↓
 - Organische Substanz ↑

- Temperatur** ↑
- Verwitterung ↑
 - Evapotranspiration ↑
 - Abbau ↑
 - Organische Säuren ↓



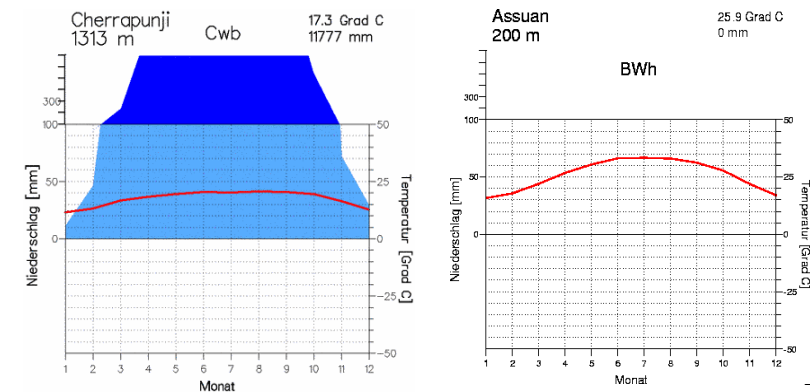
Brady & Weil, 1999

21



2. Klima

- Einfluss des Klimas überdeckt oft andere Faktoren
- Klimaabhängige Bodenzonen
- T und Niederschlag, Saisonalität
- Sickerwässer
- Stärkste chemische Verwitterung in den Tropen
- Schwächste chemische Verwitterung in polaren und subpolaren Bereichen und Wüsten

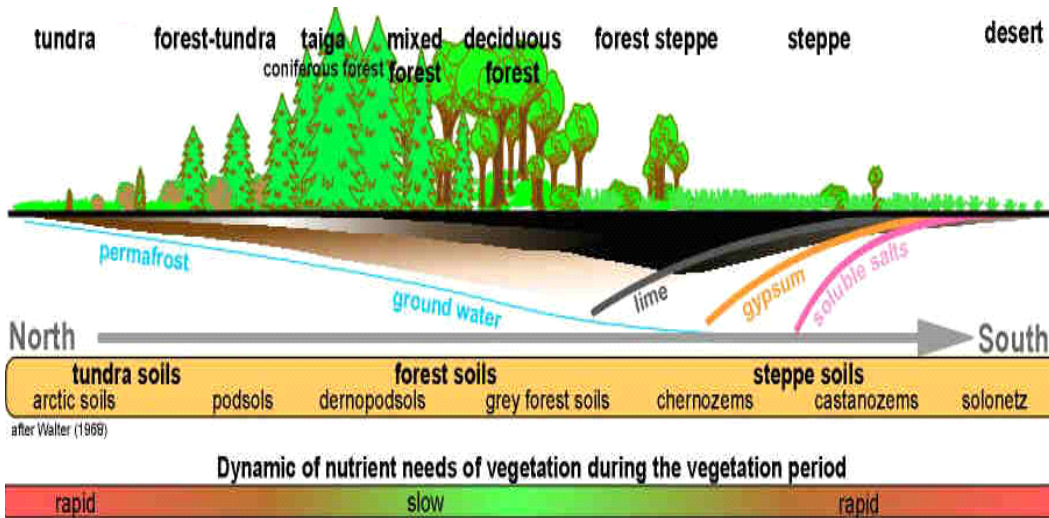


22



2. Klima

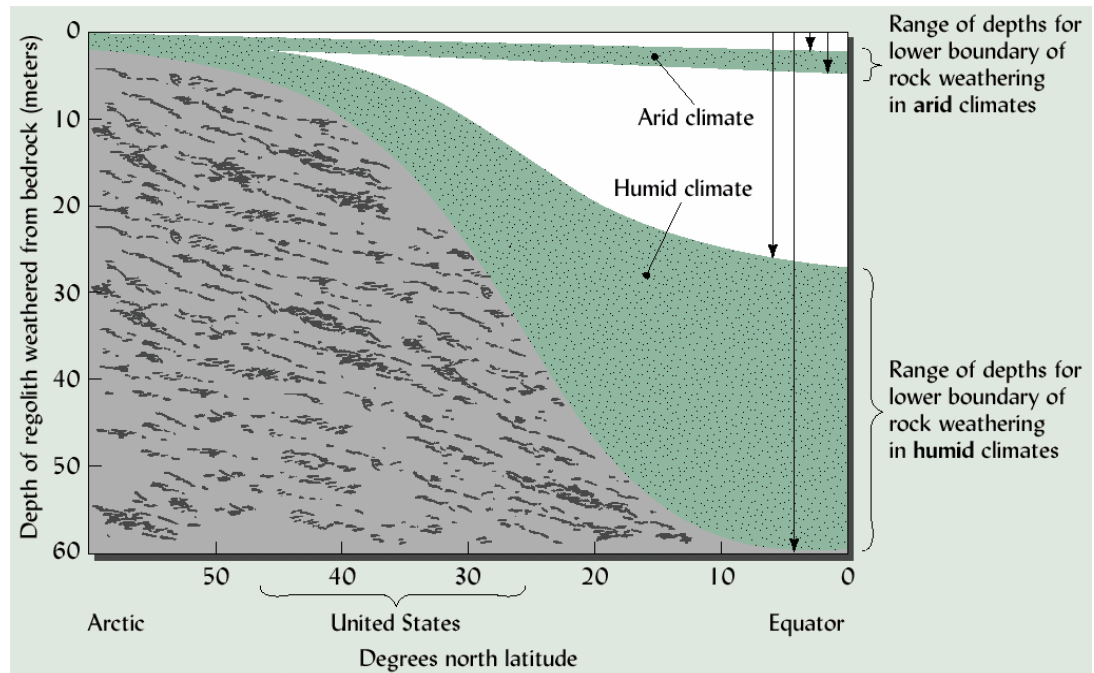
Bodenzonalität 1



23



2. Klima



3. Organismen

Fauna und Flora

Pflanzen

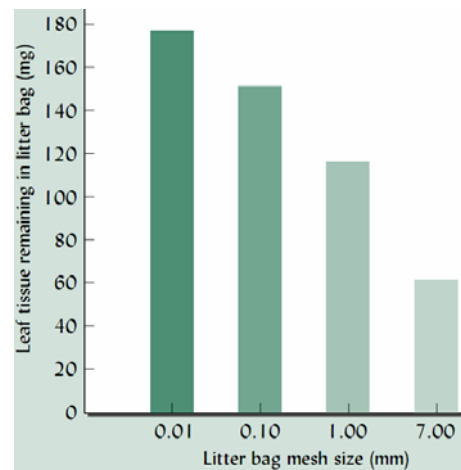
- Quelle der OS → Humus
- Energiequelle
- Eintrag von organischen Säuren
- Bodenversauerung
- Verwitterung
- Aggregation
- Wasserhaushalt
- Erosionsschutz

Mikroorganismen

- Abbau
- N-Fixierung
- Abbau ↑
- Organische Säuren ↓

Tiere

- Durchmischung
- Zersetzung / Abbau

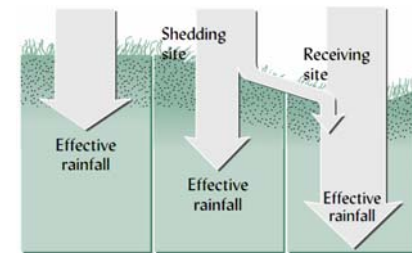


5

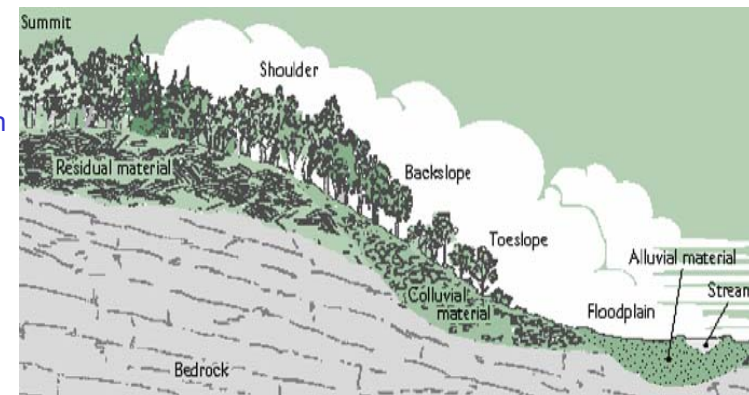


4. Relief

- Hangneigung und Hanglänge
- Abtragung
- Exposition
- Reliefelement: Kuppenlage, Dellenlage
- Großeinheiten des Reliefs: Berg-, Tal-, Flusslandschaften

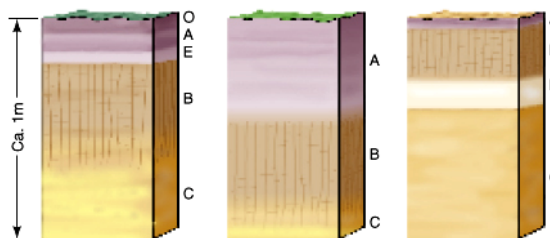
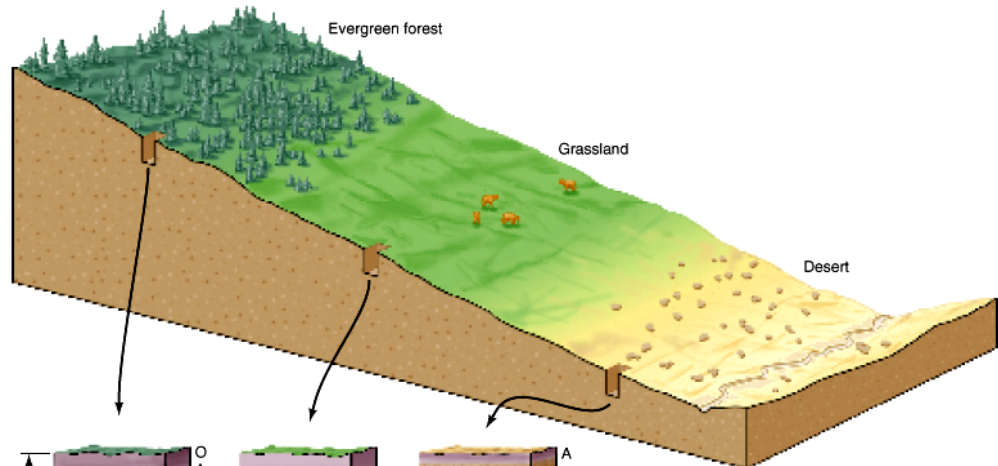


- Modifikation von Klima
- Modifikation von Gestein
- Austrag / Eintrag von
 - Wasser
 - Stoffen
- Durchlüftung ↑ ↓
- Atmung ↓
- Organische Substanz ↑





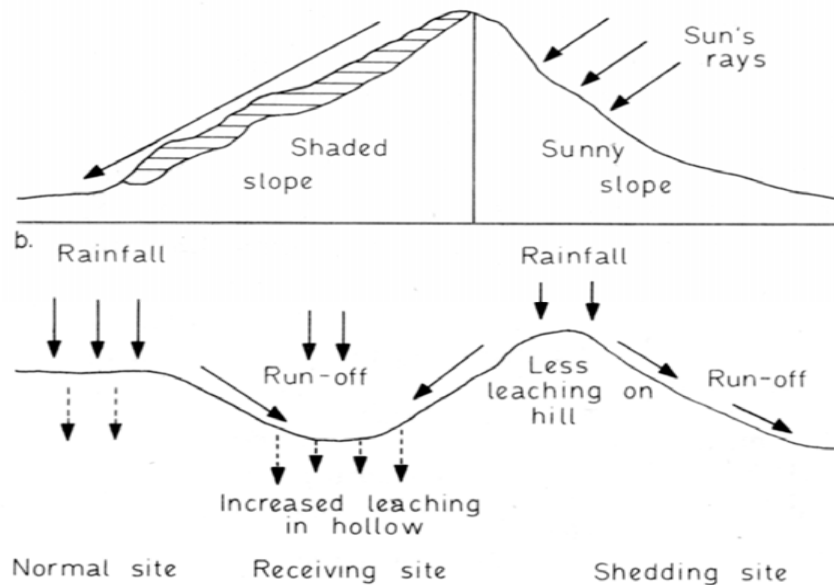
4. Relief



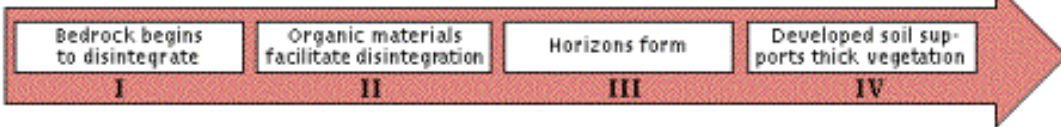
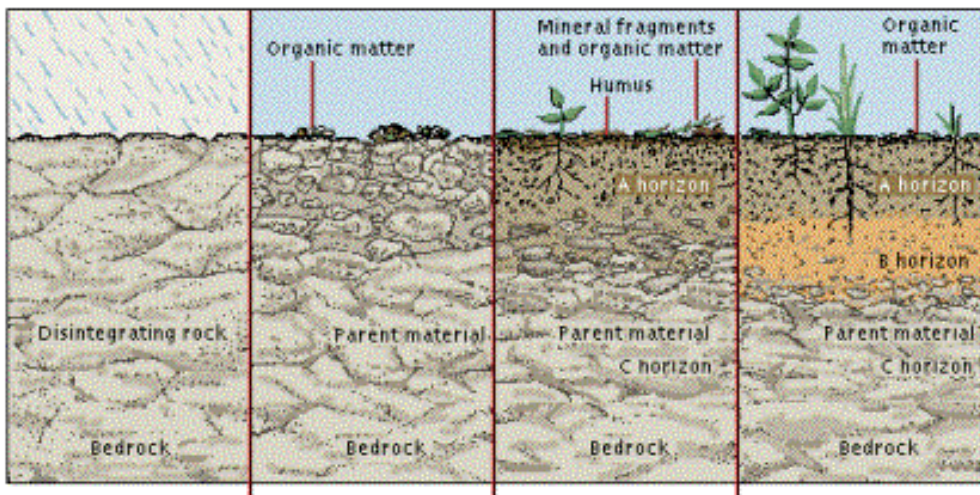
Verschiedene Böden und Bodentiefen in Catena



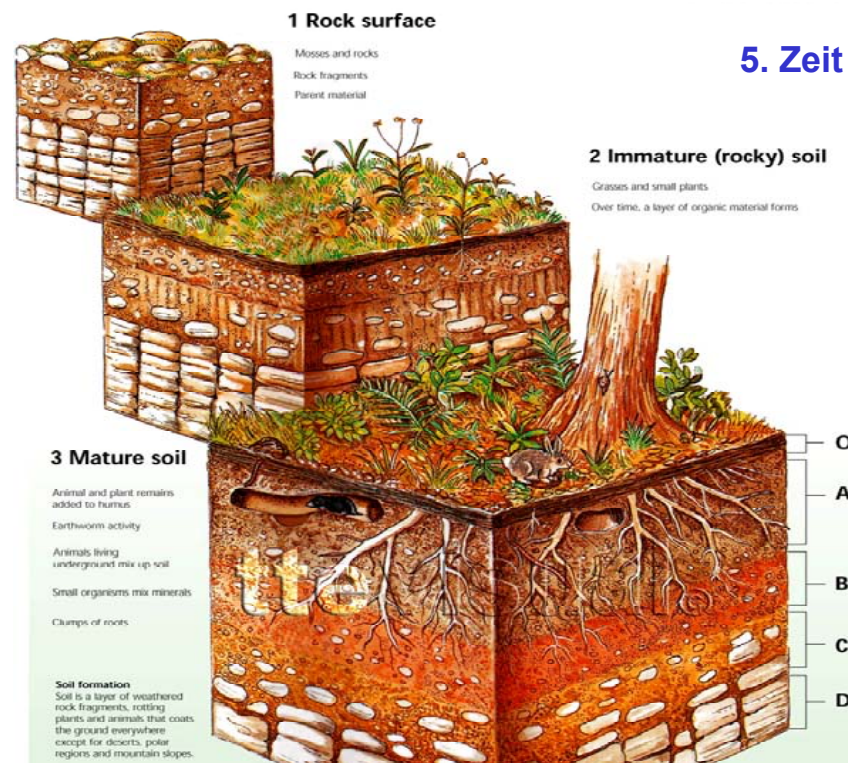
4. Relief



5. Zeit



5. Zeit





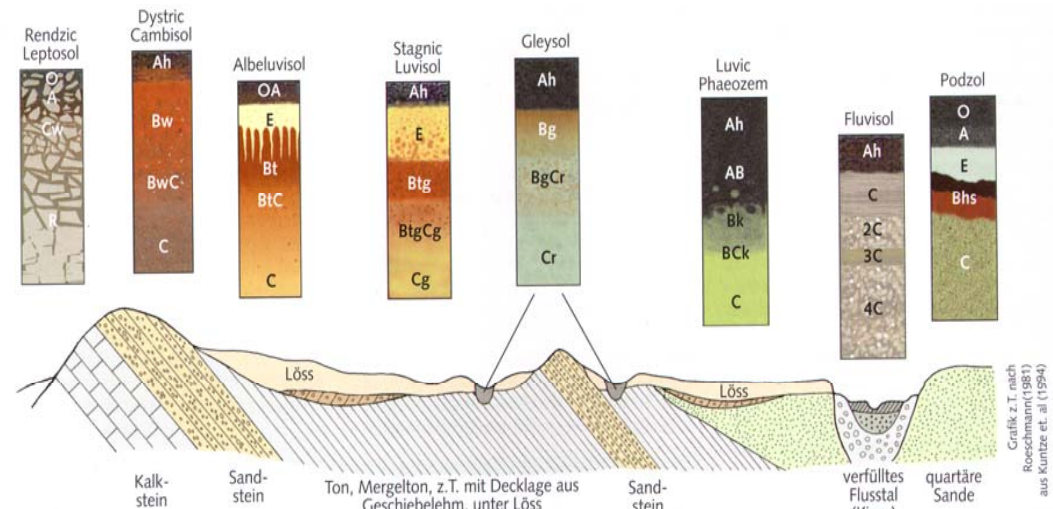
6. Mensch

- Modifikation von:
 - Gestein, Klima, Organismen, Relief, Zeit - ?
- Beschleunigung der Zyklen
- Eintrag und Austrag von Stoffen:
 - Nährstoffen
 - Balaststoffen
 - Schadstoffen
- Rodung
- Agrarische Nutzung, Pflug
- Bodenversauerung
- Bodenverdichtung
- Baugrund, Flächenversiegelung



Wechselwirkungen der Faktoren

Ausgangsgestein und Relief

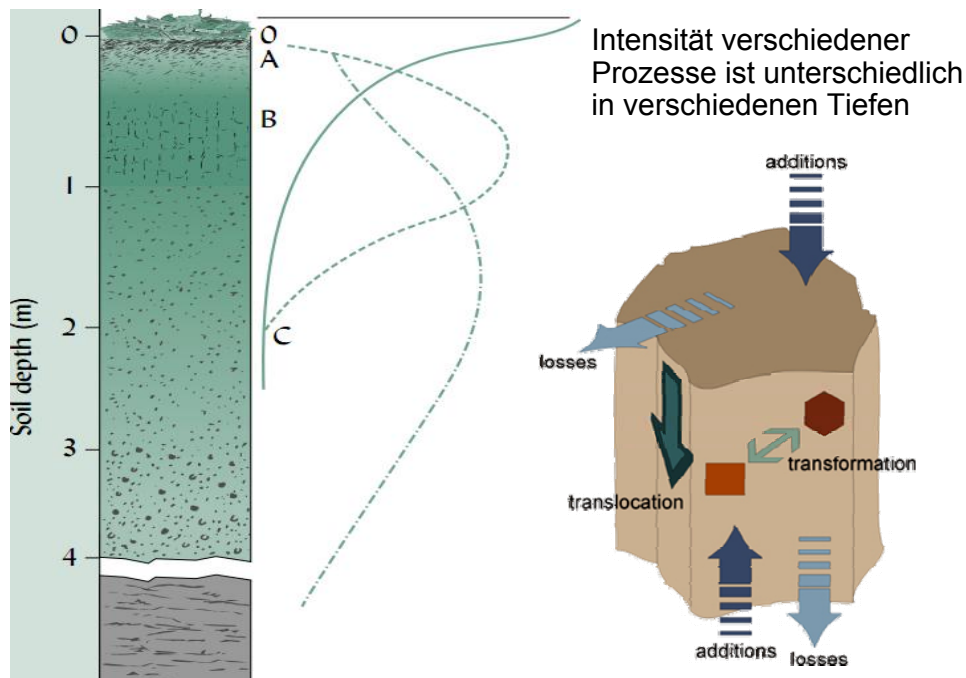


Bodengesellschaft in den Niedersächsischen Lössgebieten

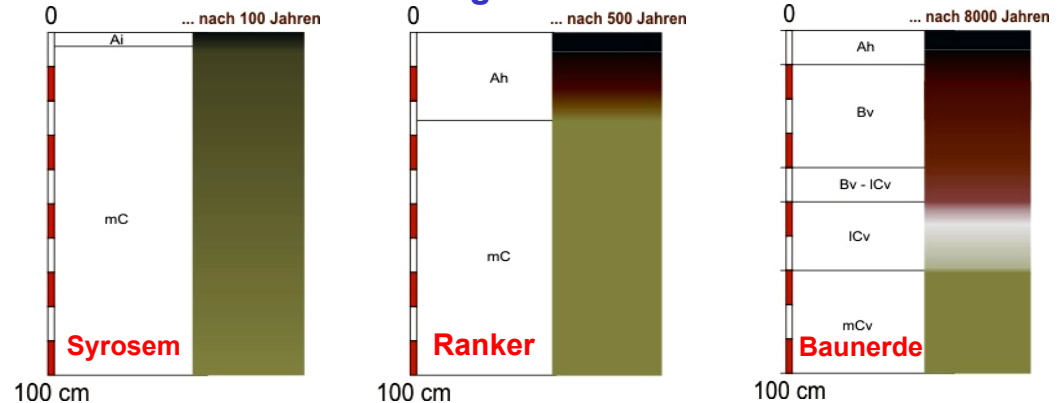
Zech & Hintermaier-Erhard, 2002



Differenzierung → Bodenhorizonte



Differenzierung → Bodenhorizonte



- Beginn der sichtbaren Bodenentwicklung
- Besiedlung mit Flechten, Moosen und Gräsern.
 - Anreicherung von Humus an der Oberfläche (zum größten Teil Pflanzenreste).
 - **A**: humose Oberboden
 - **i**: "initial", also beginnend.
 - **C**: Ausgangsgestein der Bodenbildung
 - **m**: "massiv"

- Physikalische Zerkleinerung des Bodensubstrates
- Einarbeitung von Humus in den Mineralboden
- Ausbildung eines Bodengefüges.
- Beginn der Verbraunung und Verlehmung

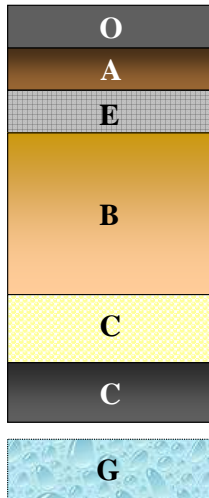
- Ausbildung mehrerer Horizonte
- Starke physikalische Zerkleinerung zu Lehm (+ chemische Vorgänge)
- Verlehmung mit Verbraunung (Färbung durch freigesetzte Fe-Verbindungen)
- **Bv**: verwitterte und verbrauchte Unterboden
- **v**: "verwittert" "verbraunt", "verleht",
- Beginnende Nährstoffauswaschung
- **ICv**: verwitterte und gelockerte Ausgangsgestein (**I**: "locker").



Bodenhorizonte

Hauptsymbole

- O** organischer Auflagehorizont (außer Torf), O von organisch
- A** terrestrischer Oberbodenhorizont
- B** terrestrischer Unterbodenhorizont
- C** terrestrischer Untergrundhorizont (= Ausgangsgestein der Bodenbildung)
- G** semiterrestrischer Horizont mit Grundwassereinfluss, G von Grundwasser
- S** terrestrischer Unterboden mit Stauwassereinfluss, S von Stauwasser
- M** Horizont aus abgelagertem Bodenmaterial, M von "migrare" (wandern)
- P** mineralischer Unterbodenhorizont aus Ton- oder Tonmergelgestein
- R** Mischhorizont durch bodenmischende Maßnahmen (Rigolen), R von Rigolen
- E** Mineralbodenhorizont aus aufgetragenen Plaggen



Zusatzsymbole für Horizontmerkmale (werden dem Hauptsymbol nachgestellt)

- h** humos
- p** gepflügt
- l** lessiviert (tonverarmt)
- e** eluvial (ausgewaschen, sauergebleicht)
- t** tonangereicht
- v** verwittert, verbraunt, verlehmt
- o** oxidiert
- r** reduziert
- i** initial (beginnend)
- g** haftnässebeeinflusst
- w** wasserleitend
- d** dicht
- x** biologisch (biogen) gemixt

Deutsche Bodenklassifikation KA-5



Bodenentwicklung

Bei Deutung des Bodenprofils 2 Fragen:

- Wie hat sich dieses Boden entwickelt? anhand von:
 - Merkmalen im Profil
 - Horizontabfolge
 - Bodenbildendem Substrat
 - Klimafaktoren
 - Zeit
- Wie wird sich dieser Boden weiterentwickeln?
 - Unter vorhandenen Umweltbedingungen
 - Unter Ackerbau
 - Unter bestimmten Belastungen



Haplic Chernozem

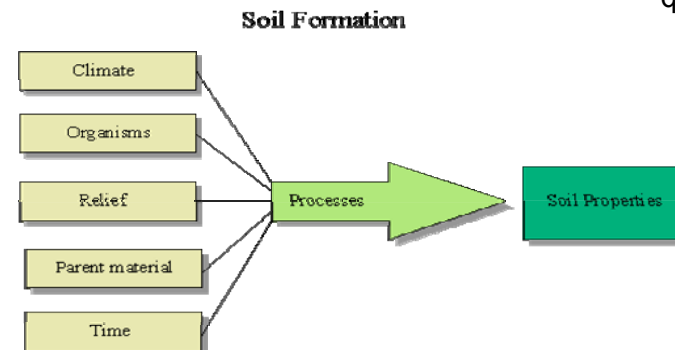
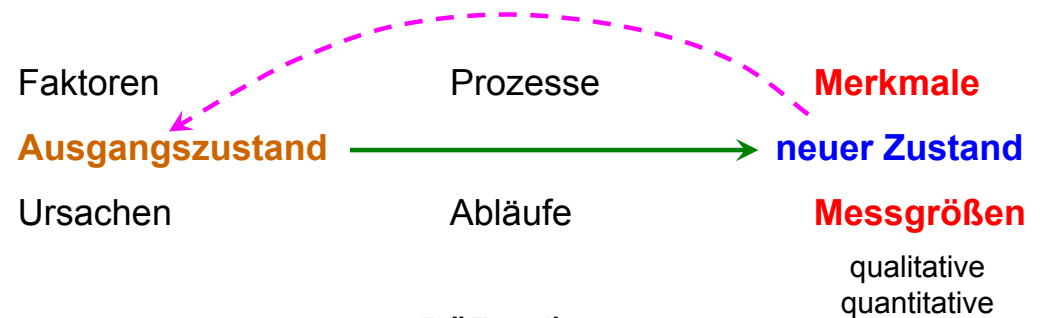


Ausgewählte Prozesse in Raum- und Zeitskalen

Prozess	Element	Zeit	Richtung	Raum
Humusakkumulation	C _t , N _t	N0 – N000	0 ↓	Horizont, Pedon
Bio-, Kryoturbation	Gesamtmaterial	N0 – N00	↑ ↓ ↔	Pedon
Physikalische VW	Gesamtmaterial	N00 – N000	0 ↓	Horizont
Chemische VW	Gesamtmaterial	N00 – N0000	0 ↓	Horizont, Pedon
Verbraunung	Fe, Mn	N00 – N0000	0 ↓	Horizont
Verlehmung	Si, Al, Fe, ...	N00 – N0000	0	Horizont
Vergleyung	Fe, Mn	N0 – N000	↑ →	Pedon, Landschaft
Nassbleichung	Fe, Mn	N0 – N00	0 →	Pedon, Landschaft
Podsolierung	Fe, Al, C _t , N _t	N0 – N000	0 ↓ →	Pedon, Landschaft
Lessivierung	Gesamtmaterial	N00 – N000	↓	Horizont, Pedon
Entkalkung, Entbasung	Ca, K, Mg	N00 – N000	↓	Pedon
Salzakkumulation	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻	N00 – N0000	↑	Horizont, Pedon
Alkalisierung	Na ⁺ , Mg ²⁺ , CO ₃ ²⁻	N00 – N000	↑	Horizont, Pedon
Versauerung	H ⁺	N0 – N000	0 ↓	Horizont, Pedon
Erosion	Gesamtmaterial	N0 – N00	→	Landschaft



Was bedingt Bodenentwicklung?

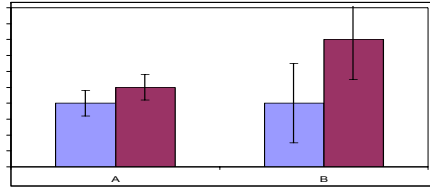




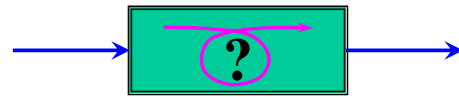
Probleme der Erforschung der Bodenentwicklung

• Sehr langsam → Mehrere Jahrzehnte und länger

• Natürliche Variabilität



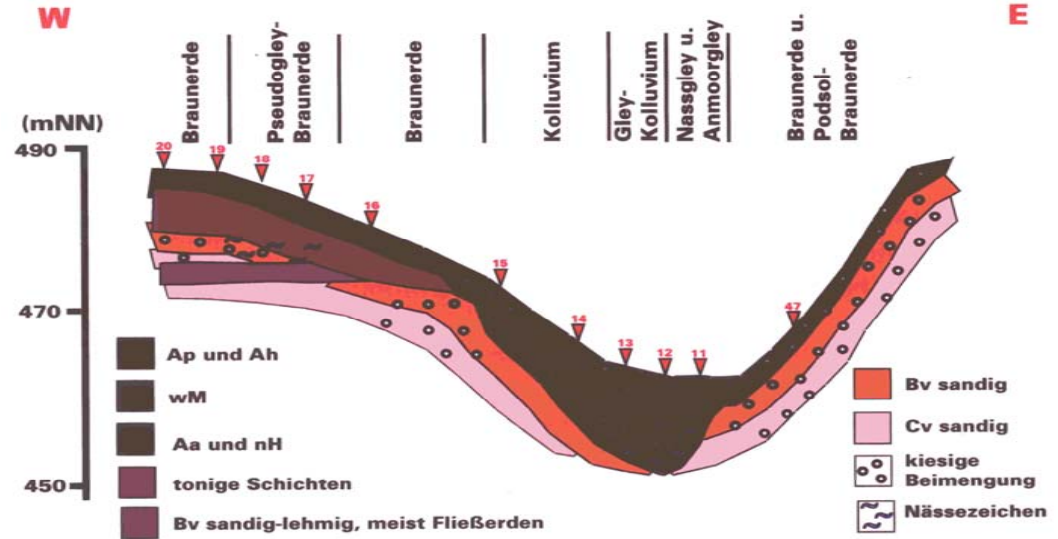
• *Steady state*



• Scharfe Grenzen fehlen, mehrere Übergangsformen
 Luvic Calcisol ← → Calcic Luvisol
 Andic Gleysol ← → Gleyic Andosol



Problem: Aggregation und Grenzfindung

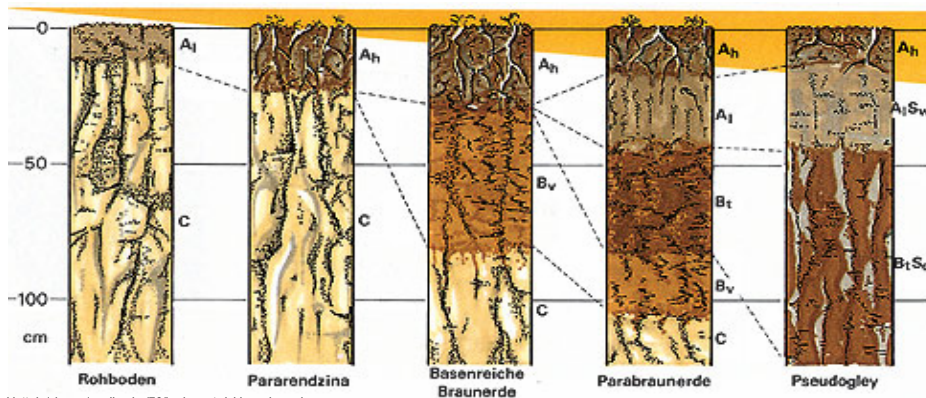


• Scharfe Grenzen fehlen, mehrere Übergangsformen
 Luvic Calcisol ← → Calcic Luvisol
 Andic Gleysol ← → Gleyic Andosol



Probleme der Erforschung der Bodenentwicklung

- Die Funktion: $S = f(C, O, P, R, M, t)$ ist nicht gelöst
- Zusammenwirken und Wechselwirkung von Faktoren
- **Merkmal** → Prozess (?) → Faktor (?) → Ausgangszustand (?)



Methoden zur Erforschung der Bodenentwicklung

Dynamische

- Beobachtung = Monitoring (*in situ*)
- Experiment
 - Feld
 - Labor
- Modellierung

Statische

- Profilvergleich (Ort-für-Faktor-Substitution)
- Bodenverbreitung
- Massenbilanz
- Quotientenmethode



Profilvergleich

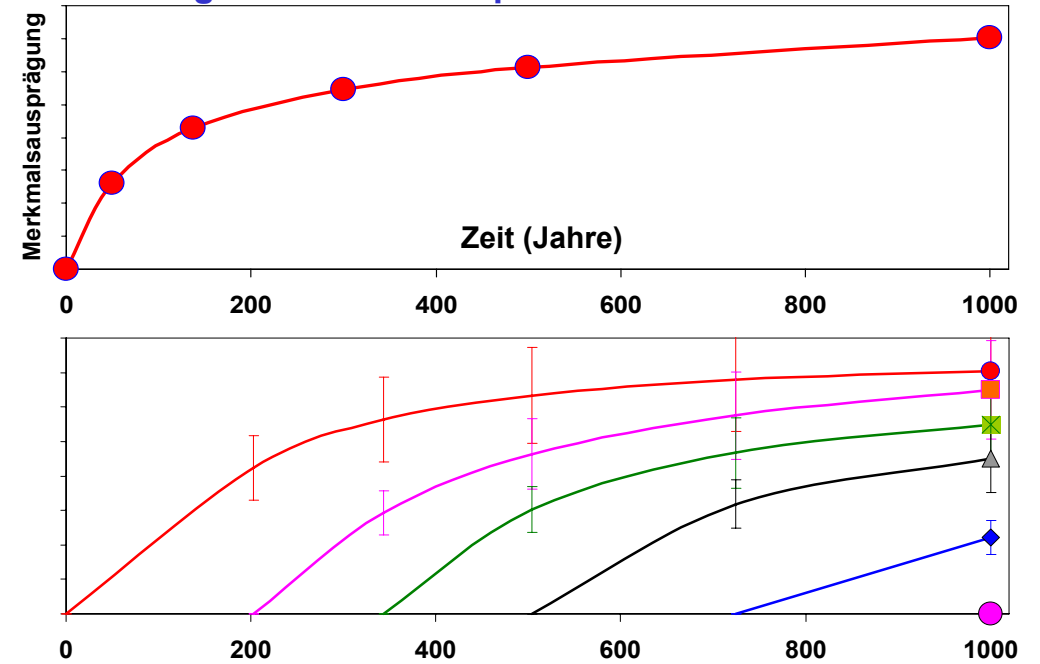
Ort-für-**Faktor**-Substitution
Ort-für-Zeit-Substitution

- Klimasequenzen → Bodenregionen, -zonen
- Lithosequenzen → Bodenprovinzen
- Toposequenzen → Bodengesellschaften, Catena
- Chronosequenzen → Pedon

43



Vergleich von Bodenprofilen und -merkmalen



44

Probleme beim Profilvergleich

- an einer Stelle,
- auf gleichem Substrat,
- unter gleichen Klima
- etc.

**unterschiedliche Böden kommen
in engster Nachbarschaft vor ?**



Zusammenfassung

- Böden - Naturkörper
- Bodenentwicklung als eine Prozess-Abfolge
- Bodenbildende Faktoren
 - Ausgangsgestein
 - Klima
 - Organismen
 - Relief
 - Zeit
 - Mensch
- Bodenbildende Prozesse
- Ungelöste Probleme

46