



# Bodenkultur und Düngung

Pedogenese: Bodenbildende Faktoren und Prozesse

Prof. Dr. Mareike Ließ

WS 25/26

# Wiederholung

- Im Boden laufen zahlreiche physikalische, chemische und biologische Prozesse ab. Die Landwirtschaft greift in diese Prozesse ein und verändert die Bodeneigenschaften
- Die Korngrößenzusammensetzung ist eine wichtige Bodeneigenschaft. Sie ist ein Indikator für viele weitere Bodeneigenschaften
- Böden sind sehr vielfältig
- Bodentypen haben eine charakteristische Horizontabfolge. Die Bezeichnungen dienen der Verständigung
- Es gibt Labor- und Feldmethoden zur Bestimmung von Bodeneigenschaften
- Begrifflichkeiten: Bodenart, Bodentyp, Bodenhorizont



# Bodentypen: Charakteristische Abfolge von Bodenhorizonten

Braunerde



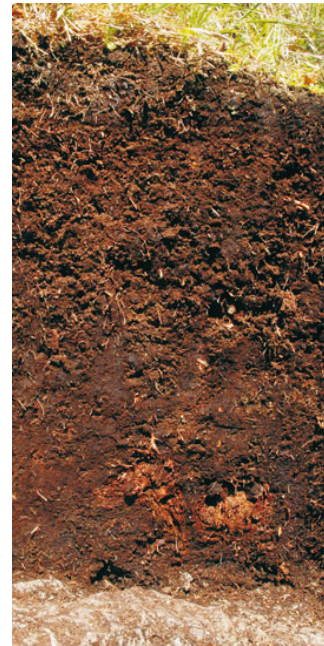
Podsol



Gley



Moorboden



Arenosol

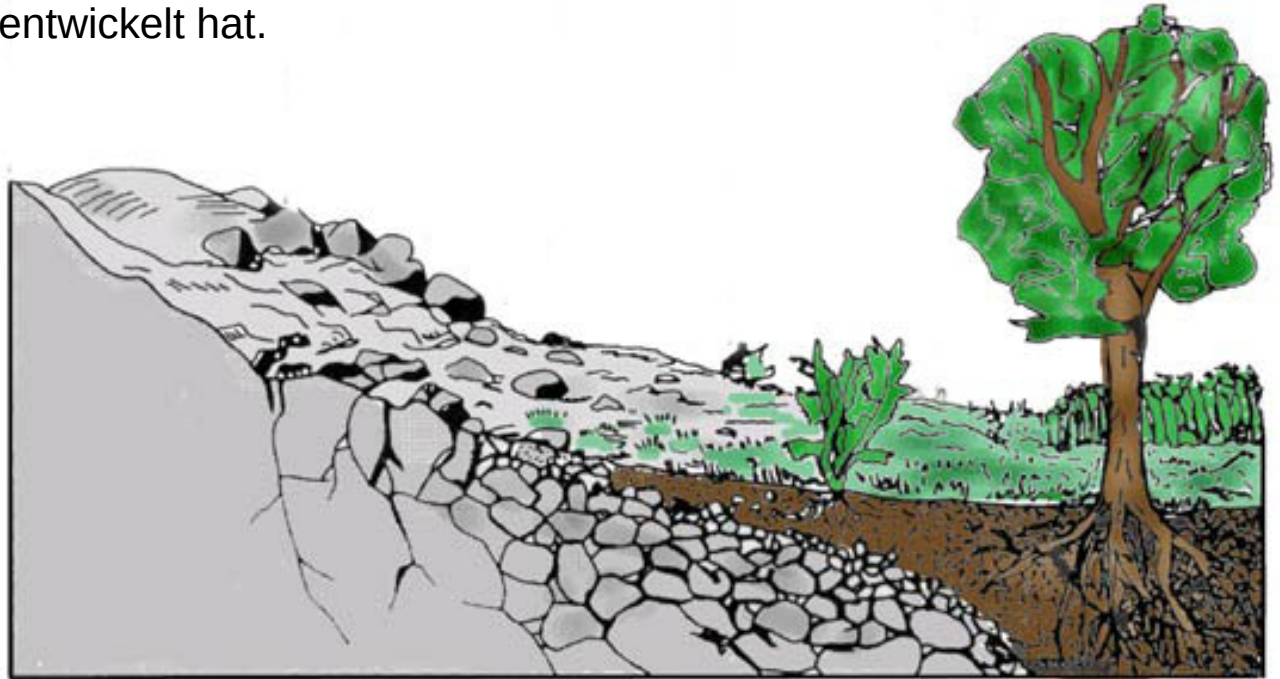


Zech et al., 2014. Böden Der Welt. Springer, Berlin. ISBN 978-3-642-36575-1

# Pedogenese

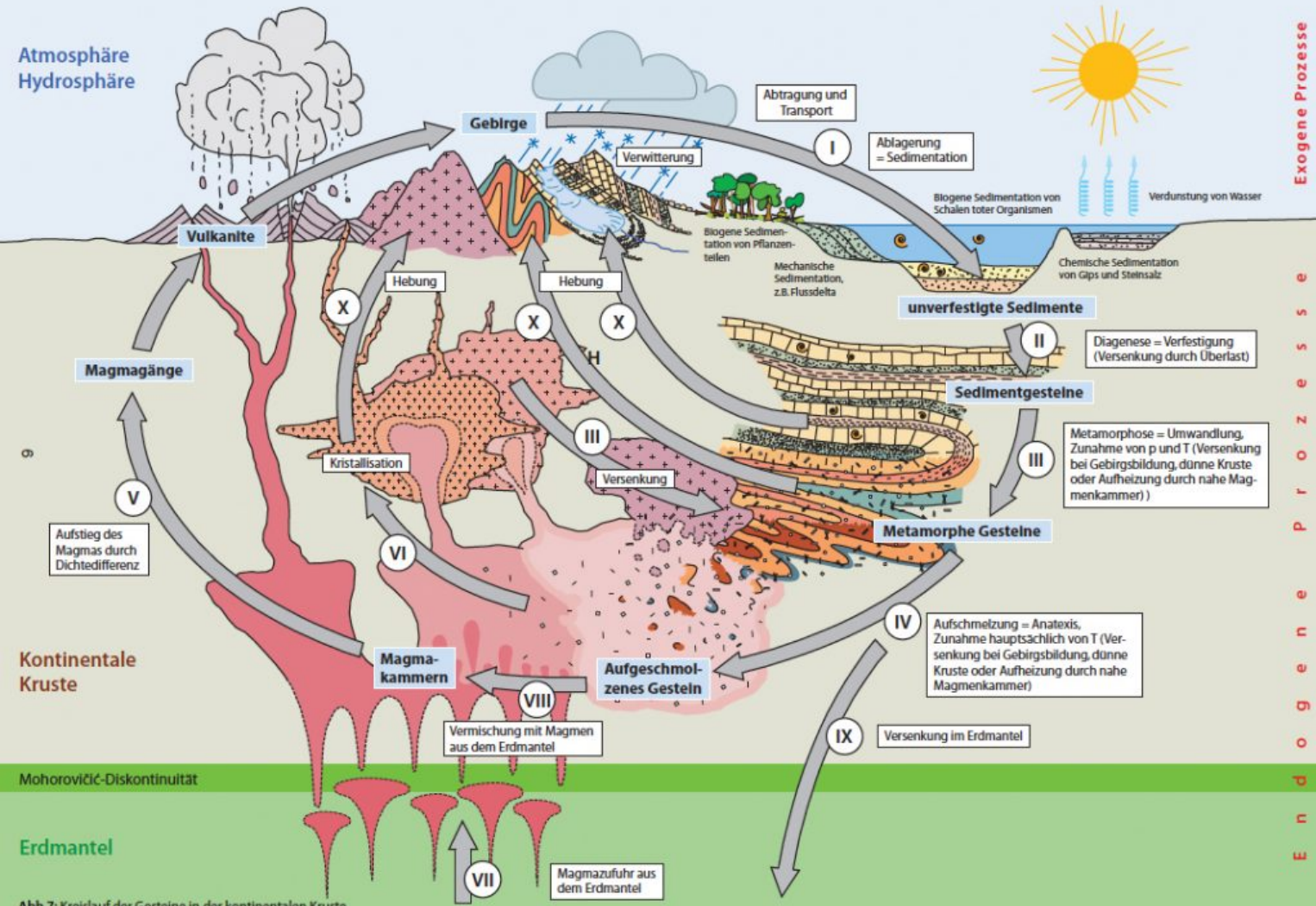
Die Pedogenese oder Bodenbildung beschreibt den Prozess der Entstehung von Böden als ausdifferenzierte Sphäre, die auf fest- oder Lockergestein aufliegt und sich maßgeblich aus diesem entwickelt hat.

Durch die Prozesse der Bodenbildung entwickeln sich spezifische Abfolgen von Bodenhorizonten.





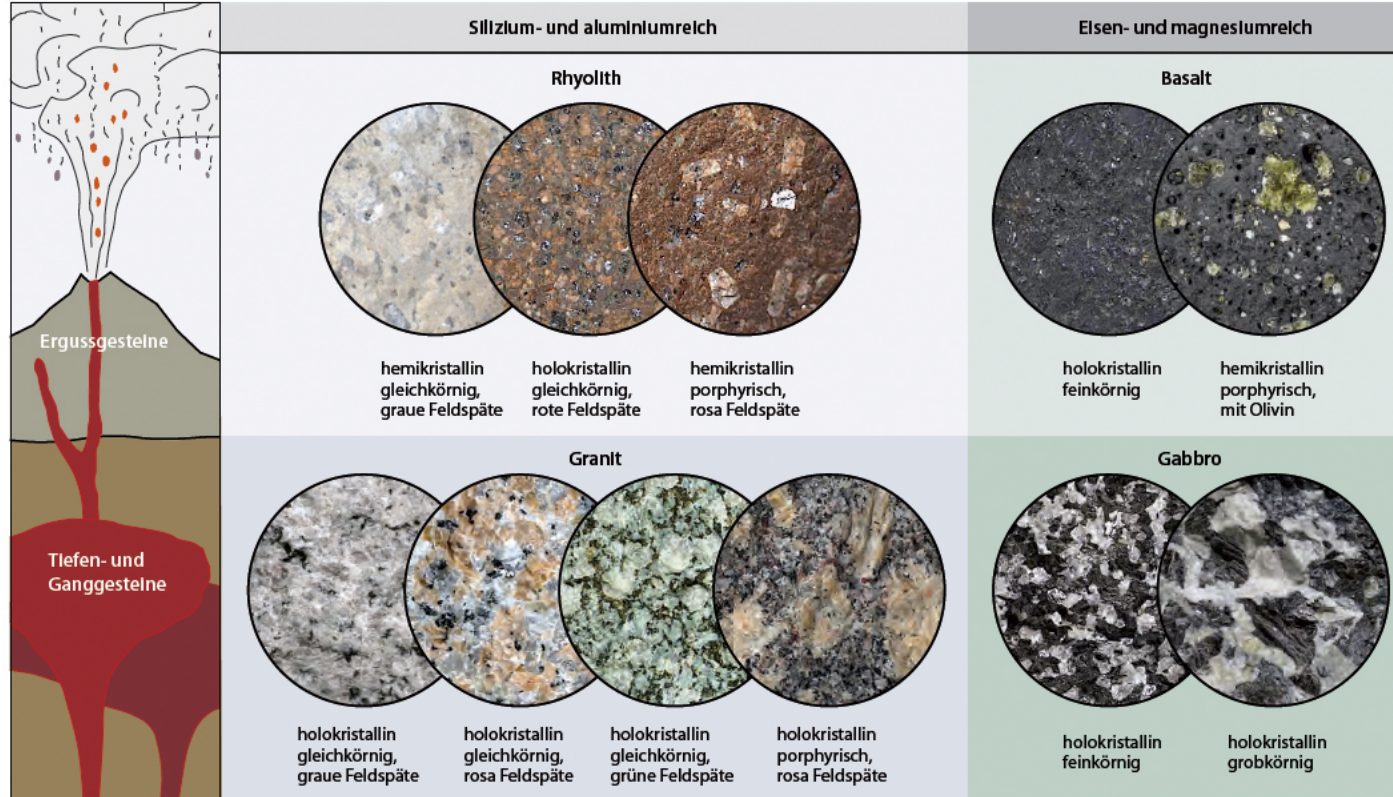
# Der Kreislauf der Gesteine



<https://www.csialps.unibe.ch>

Abb.7: Kreislauf der Gesteine in der kontinentalen Kruste

# Magmatische Gesteine



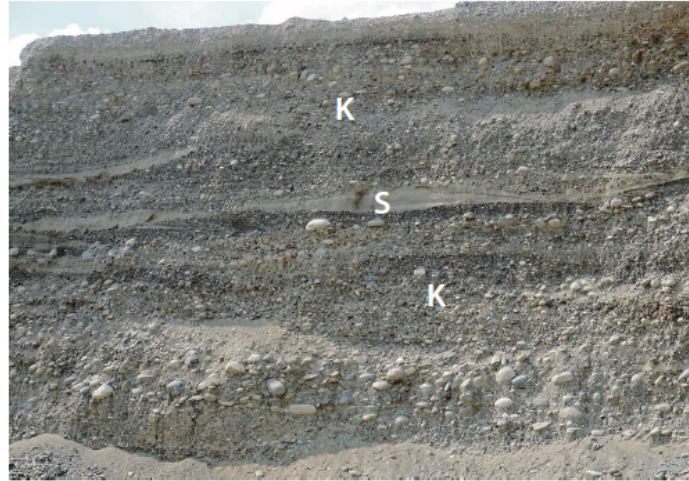
<https://www.csi-alps.unibe.ch>



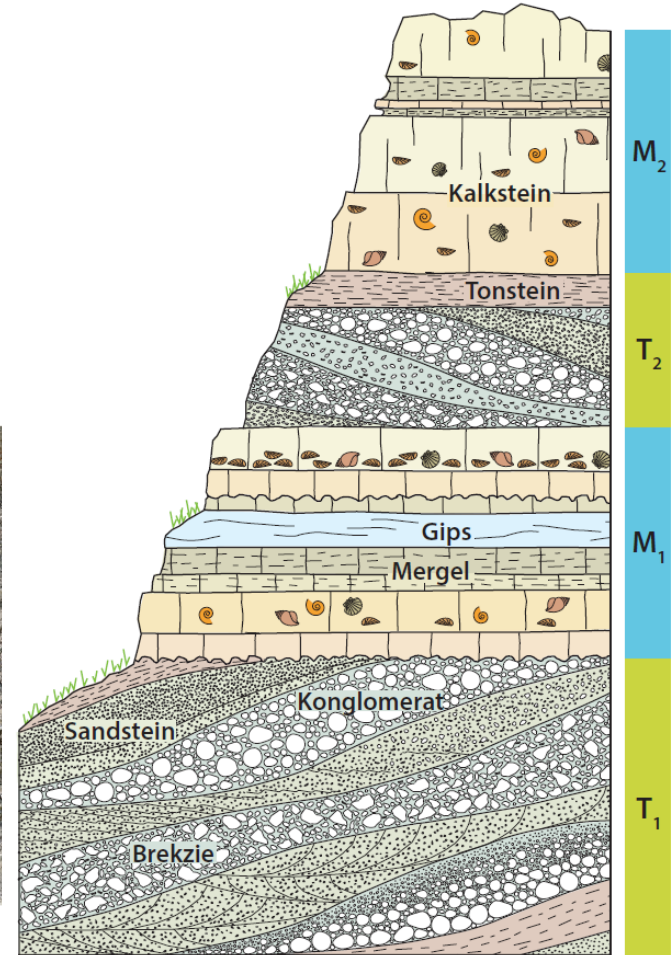
# Sedimentgesteine



Gletscherablagerungen (Moräne)

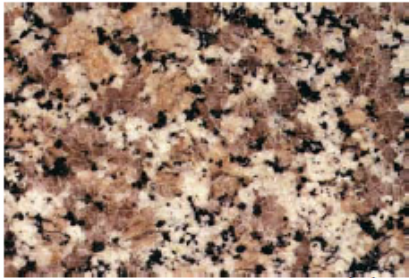


Flussablagerungen (K = Kies; S = Sand)



# Metamorphe Gesteine

Metamorphe Gesteine werden vor allem durch ihr Gefüge charakterisiert, welches durch die Beanspruchung des Gesteins durch Druck und Temperatur entsteht



massig, felsig



gneisig



schiefrig



phyllitisch

[www.geo-life.ch](http://www.geo-life.ch)

# Mittlerer Chemismus, Mineral- und Gesteinsbestand der Erdkruste

| Chemismus                      |                       |      | Elemente         |         |        | Mineralbestand  |        | Gesteinsbestand <sup>b)</sup>                  |        |
|--------------------------------|-----------------------|------|------------------|---------|--------|-----------------|--------|------------------------------------------------|--------|
| Oxide                          | Masse-% <sup>a)</sup> |      |                  | Masse-% | Vol.-% |                 | Vol.-% |                                                | Vol.-% |
| SiO <sub>2</sub>               | 57,6                  | 52,5 | O                | 47,0    | 88,2   | Plagioklase     | 39     | Basalte, Gabbros<br>u.a. basische<br>Magmatite | 42,6   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,3                  | 10,5 | Si               | 26,9    | 0,32   | Quarz           | 12     | Gneise                                         | 21,4   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,5                   | 4,0  | Al               | 8,1     | 0,55   | K-Feldspäte     | 12     | Granodiorite, Diorite<br>und Syenite           | 11,6   |
| FeO                            | 4,3                   |      | Fe <sup>3+</sup> | 1,8     | 0,32   | Pyroxene        | 11     | Granite                                        | 10,4   |
| MgO                            | 3,9                   | 3,3  | Fe <sup>2+</sup> | 3,3     | 1,08   | Glimmer         | 5      | kristalline Schiefer                           | 5,1    |
| CaO                            | 7,0                   | 11,1 | Ca               | 5,0     | 3,42   | Amphibole       | 5      | Tone, Tonschiefer                              | 4,2    |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,9                   | 2,8  | Mg               | 2,3     | 0,60   | Tonminerale     | 4,6    | Carbonatgesteine                               | 2,0    |
| K <sub>2</sub> O               | 2,3                   | 4,6  | Na               | 2,1     | 1,55   | Olivine         | 3      | Sande, Sandsteine                              | 1,7    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,8                   | -    | K                | 1,9     | 3,49   | Calcit, Dolomit | 2,0    | Marmor                                         | 0,9    |
| CO <sub>2</sub>                | 1,4                   | -    |                  |         |        | Magnetit        | 1,5    |                                                |        |
| H <sub>2</sub> O               | 1,4                   | -    |                  |         |        | andere Minerale | 4,9    |                                                |        |
| MnO                            | 0,16                  | -    |                  |         |        |                 |        |                                                |        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,22                  | -    |                  |         |        |                 |        |                                                |        |

<sup>a)</sup> Die 2. Spalte gibt die mittlere Zusammensetzung oberflächennaher Gesteine an (HUDSON, 1995).

<sup>b)</sup> Die Vormacht basischer Gesteine beruht auf der flächenmäßigen Vormacht der ozeanischen Kruste.

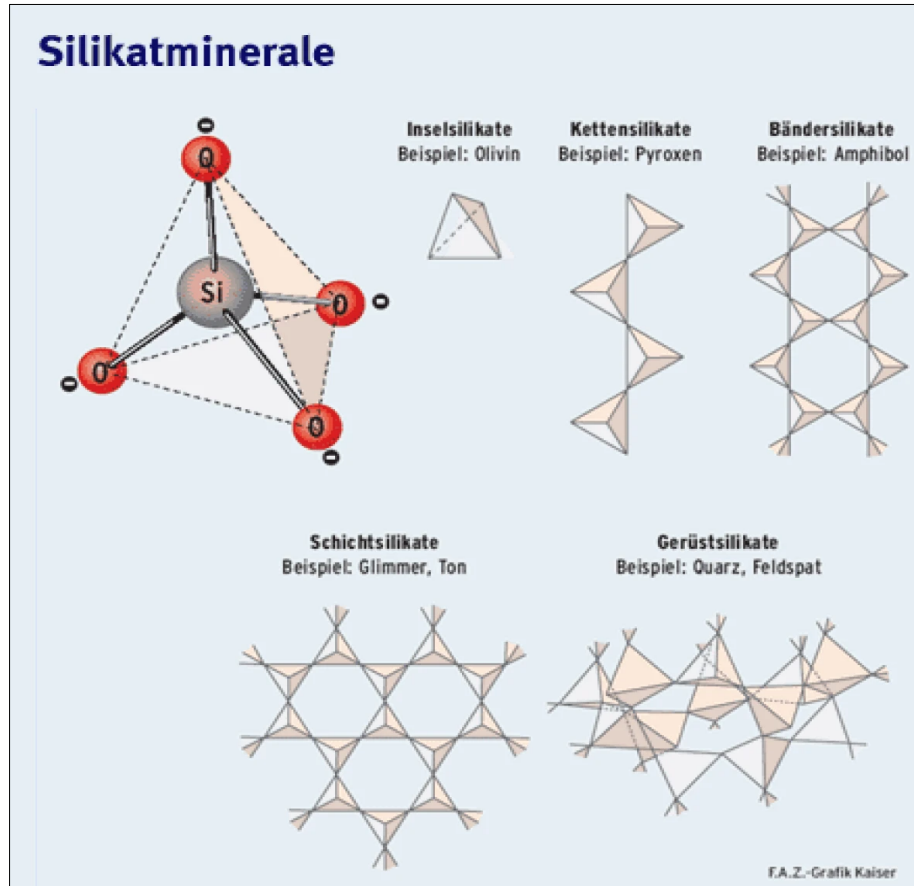
- Verbindungen aus O und Si (Salze der Kieselsäure und das reine Oxid SiO<sub>2</sub>) herrschen vor
- große Bedeutung der Silikate als Primär- und Sekundärminerale

Amelung et al., 2018

# Silikate

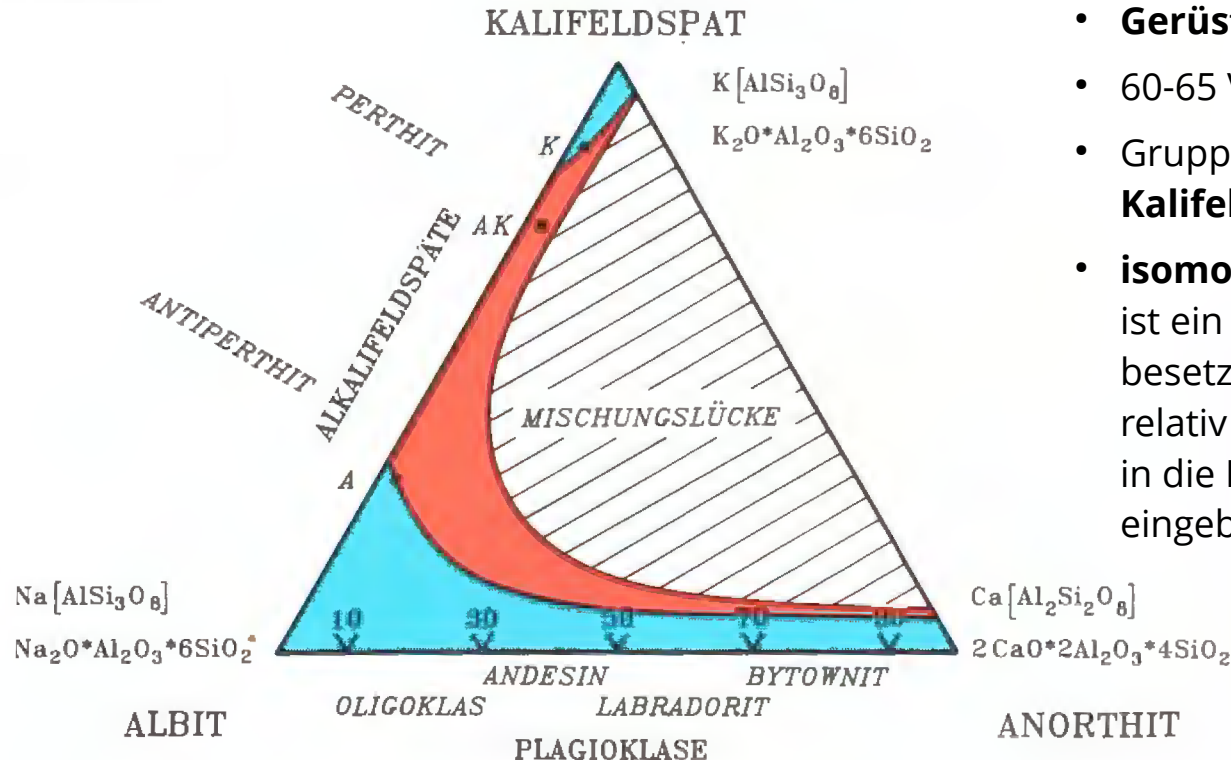
Primäre (lithogene) Silikate

- Inselsilikate
- Kettensilikate
- Bändersilikate
- Schichtsilikate
- Gerüstsilikate





# Silikate: Feldspäte



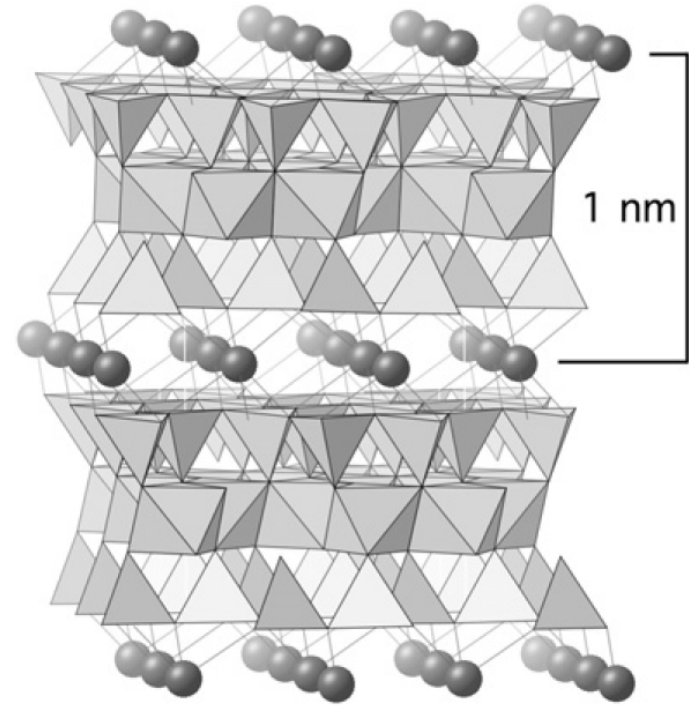
- **Gerüstsilikate**
- 60-65 Vol% der Erdkruste
- Gruppe mit drei Endgliedern: **Kalifeldspat, Albit, Anorthit**
- **isomorpher Ersatz:** in den Tetraedern ist ein Teil der Si-Zentren durch  $Al^{3+}$  besetzt. Zum Ladungsausgleich sind die relativ großen  $K^+$ -,  $Na^+$ - oder  $Ca^{2+}$ -Ionen in die Lücken der Silikatstruktur eingebaut

# Silikate: Glimmer

- Schicht-, Blatt-, Phyllosilikate
- K-Mg-Fe-Al-Silikate
- Aufbau aus Tetraeder- und Oktaederschichten
- $\text{SiO}_4$ -Tetraeder in der Fläche miteinander vernetzt. Das vierte, nicht mit Nachbar-Tetraedern vernetzte  $\text{O}^{2-}$ -Ion verknüpft die Tetraederschicht mit der Oktaederschicht, in der  $\text{Al}^{3+}$ -,  $\text{Mg}^{2+}$ - oder  $\text{Fe}^{2+}$ - Ionen sechsfach koordiniert sind.
- Die häufigsten Glimmer sind der helle Muskovit und der dunkel gefärbte Biotit.



<https://nat.museum-digital.de>



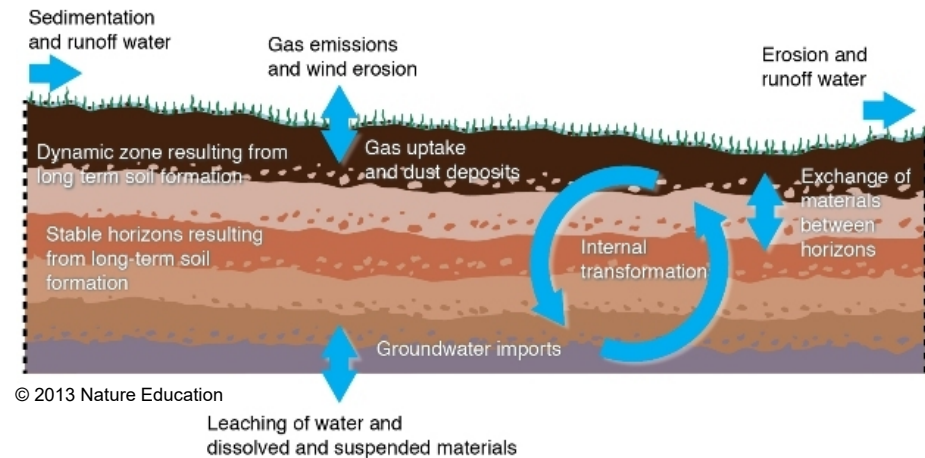
**Abb. 2.2–4** Modell einer Glimmerstruktur. Die Kugeln sind  $\text{K}^+$ -Ionen. Die Dicke einer Elementarschicht ist gekennzeichnet.

Amelung et al., 2018

# Pedogenese

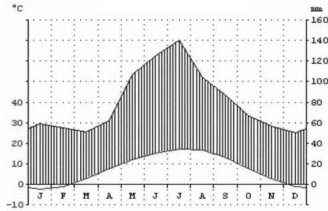
Minerale in magmatischen und metamorphen Gesteinen entstanden unter völlig anderen physikochemischen Bedingungen als denen der Pedosphäre, dem unmittelbaren Kontakt zwischen Lithosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre.

- In einem Boden laufen daher ständig **Stoffumwandlungen** und **Stoffverlagerungen** ab
- Diese beruhen auf zahlreichen zusammenwirkenden **chemischen, physikalischen und biologischen Prozessen**.

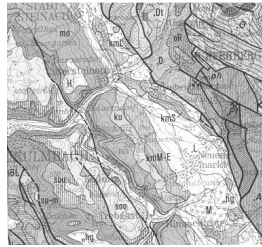


# Die 5 bodenbildenden Faktoren

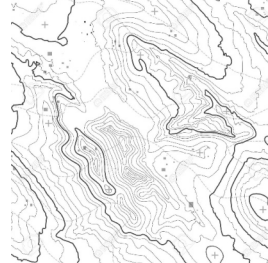
Klima



Bodenausgangsmaterial

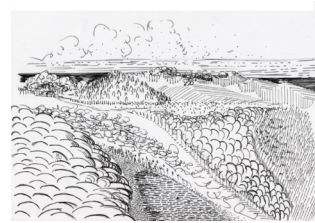


Relief



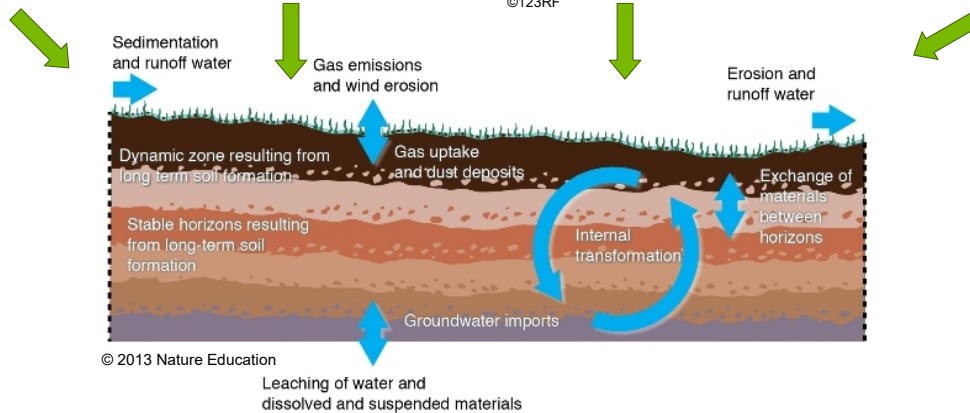
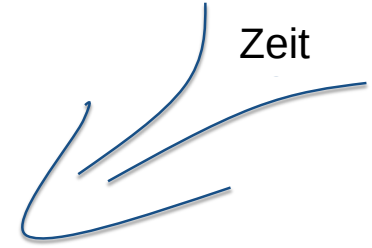
©123RF

Organismen



<http://www.croquis.eu/arts/landschaft/>

Zeit



## Konzeptmodell der Pedogenese

Jenny, H., 1941. Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology, Dover Publications, New York.

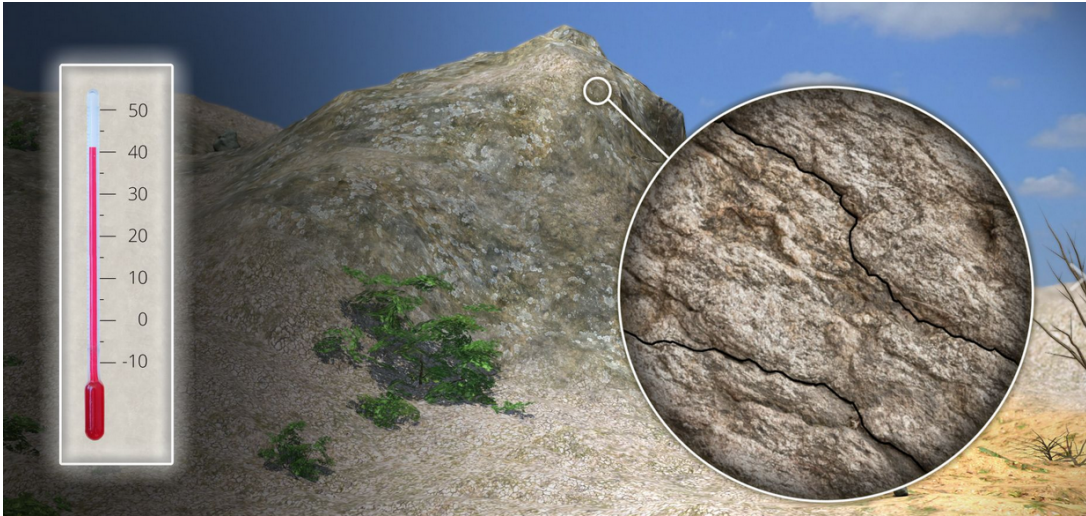


# Bodenbildende Prozesse

- physikalische Verwitterung und physikalische Prozesse
- chemische Verwitterung und chemische Prozesse
- biologische Verwitterung und biologische Prozesse

# Physikalische Verwitterung und physikalische Prozesse

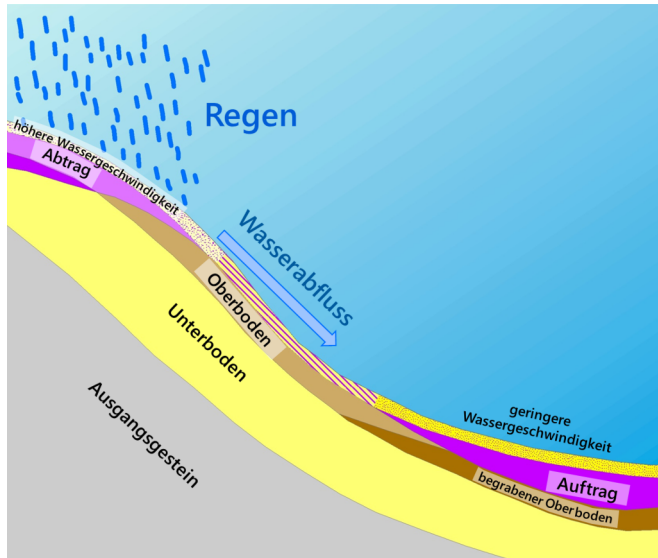
- Temperaturschwankungen
- Frostsprengung



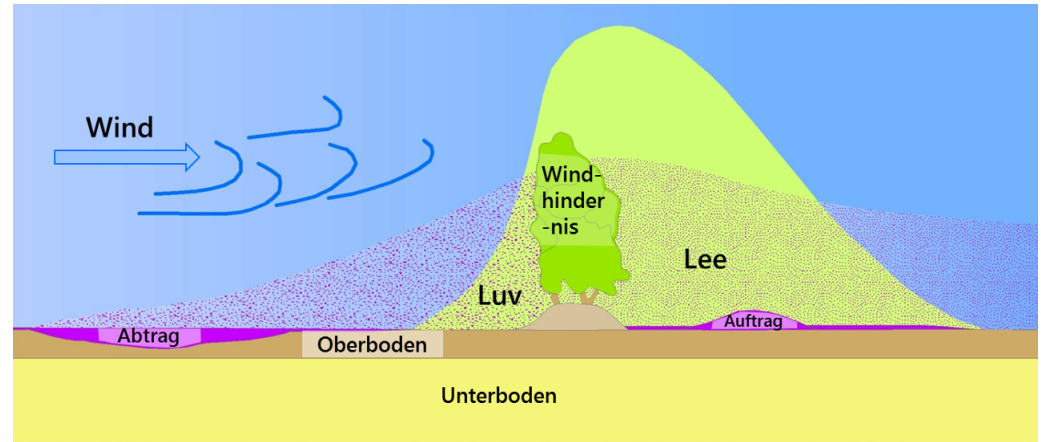
<https://lightframefx.de/verwitterung-die-zersetzung-von-gesteinen/>

# Physikalische Verwitterung und physikalische Prozesse

## Erosion/ Transport durch Wasser



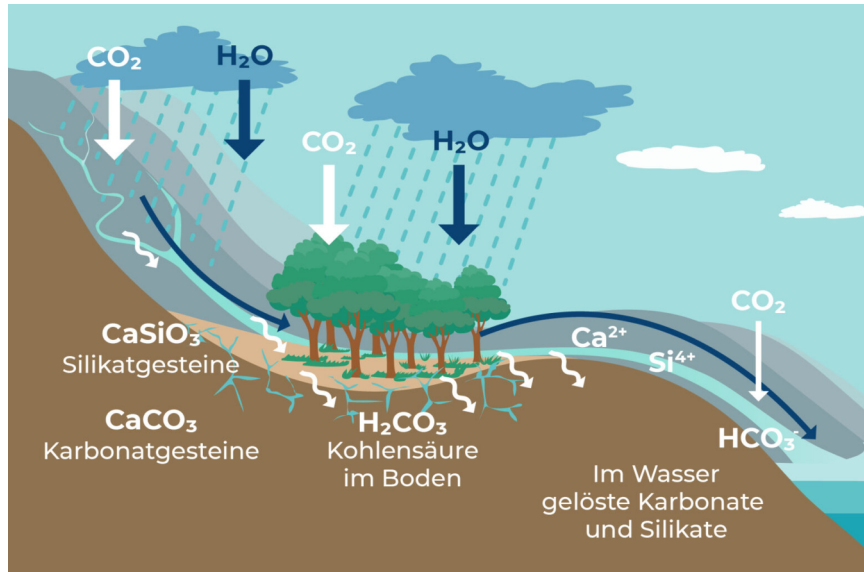
## Erosion/ Transport durch Wind



<https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/boden/bodenerosion>

# Chemische Verwitterung und chemische Prozesse

Unter chemischer Verwitterung fasst man diejenigen zwischen Lösung und Festkörper ablaufenden chemischen Reaktionen zusammen, durch die Minerale in ihrem Chemismus verändert oder vollständig gelöst werden.



<https://lernreise.klimacampus.org/>

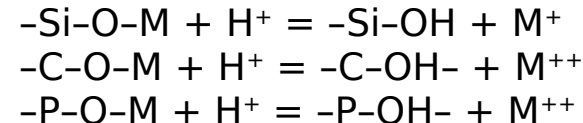
- Die Wirkung nimmt mit abnehmender **Korngröße** der Minerale zu.
- Das wichtigste Agens der chemischen Verwitterung ist neben dem **Sauerstoff** das **Wasser**, das die Minerale löst oder hydrolytisch spaltet.
- Die Wirkung des Wassers wird durch anorganische (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) und organische **Säuren** sowie durch steigende Temperatur verstärkt.



# Chemische Verwitterung und chemische Prozesse

## Hydrolyse

- die Bestandteile der Minerale **reagieren chemisch mit den  $H^+$ - und  $OH^-$ -Ionen des dissoziierten Wassers**. Hydrolytisch zersetzt werden vor allem Verbindungen, die aus einer schwachen Säure und/oder schwachen Base bestehen, also z. B. Carbonate und Silicate. Damit ist der größte Teil der gesteinsbildenden Minerale betroffen.
- In Böden des humiden Klimaraums ist die **Reaktion mit den  $H^+$ -Ionen der Lösung** die eigentliche Triebkraft dieser Verwitterungsart. Hierbei werden **Sauerstoff-Brückenbindungen** zwischen Metallen M (Fe, Al, Ca, Mg, K, Na u. a.) und Si (Silicate), C (Carbonate) oder P (Phosphate) gesprengt, die Si–O–M, C–O–M und P–O–M–Gruppen zu –Si–OH (Silanol), –C–OH (Hydrogencarbonat) bzw. –P–OH (Hydrogenphosphat) protoniert und die Metalle freigesetzt:



# Mineralneubildung: Tonminerale

- aus den Verwitterungsprodukten primärer Silikate gebildet
- Minerale, die in der Tonfraktion ( $< 2 \mu\text{m}$ ) vorkommen.
- verleihen Tongesteinen und tonigen Böden ihre Plastizität, ihre Quellfähigkeit und ihr Vermögen, Ionen und Moleküle zu sorbieren.
- von „geringer“ Kristallinität, die zusammen mit der Schichtladung die Ursache für die hohe Reaktionsfähigkeit der Tonminerale in Böden ist.

**Tab. 2.2–4** Variationsbereiche der chemischen Zusammensetzung wichtiger Tonmineralgruppen (in Masse-%).

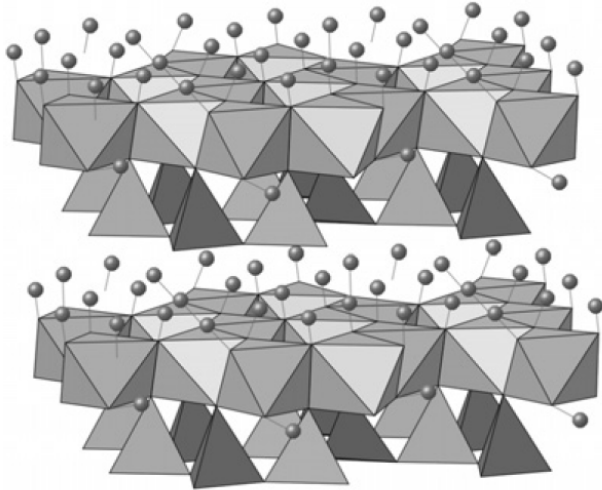
| Tonmineral  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO      | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
|-------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|----------|------------------|-------------------|
| Kaolinite   | 45...47          | 38...40                        | 0... 0,2                       | 0...0,3          | 0     | 0        | 0                | 0                 |
| Smectite    | 42...55          | 0...28                         | 0...30                         | 0...0,5          | 0...3 | 0... 2,5 | 0...0,5          | 0...3             |
| Vermiculite | 33...45          | 7...18                         | 3...12                         | 0...0,6          | 0...2 | 20...28  | 0...2            | 0...0,4           |
| Illite      | 50...56          | 18...31                        | 2... 5                         | 0...0,8          | 0...2 | 1... 4   | 4...7            | 0... 1            |
| Chlorite    | 22...35          | 15...48                        | 0... 4                         | 0...0,2          | 0...2 | 0...34   | 0...1            | 0...1             |

Amelung et al., 2018

# Mineralneubildung: Tonminerale

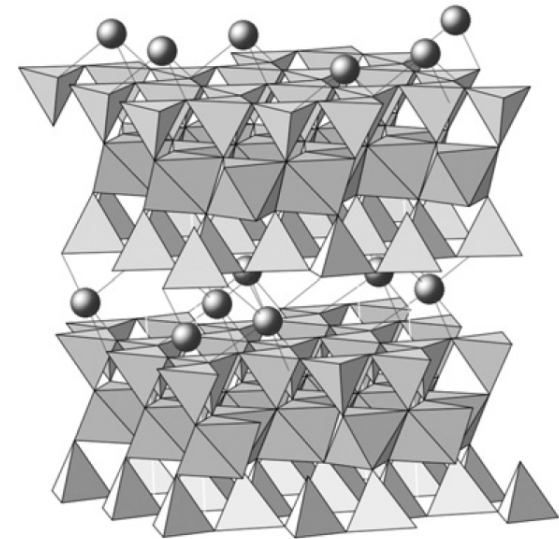
## 1:1- oder Zweischichtminerale: Kaolinit

Wasserstoffbrücken OH-O zwischen den OH-Ionen der Oktaeder und den O<sup>2-</sup>-Ionen der Tetraeder in der benachbarten Silikatschicht



**Abb. 2.2–8** Polyedermmodell eines Zweischicht-Silicats (Kaolinit). Die Kugeln symbolisieren H<sup>+</sup>-Ionen.

## 2:1- oder Dreischichtminerale: Smectit, Vermiculit, Illit



**Abb. 2.2–10** Polyedermmodell eines Smectits. Die (nicht maßstabgerechten) Kugeln zwischen den Silicatschichten sind die austauschbaren Kationen.

# Mineralneubildung: Tonminerale

| Strukturtyp                    | Beispiel   | Höhe der negativen Schichtladung pro Formeleinheit |
|--------------------------------|------------|----------------------------------------------------|
| 1:1- oder Zweischicht-Minerale | Kaolinit   | 0                                                  |
|                                | Halloysit  | 0                                                  |
|                                | Serpentin  | 0                                                  |
| 2:1- oder Dreischicht-Minerale | Illit      | >0,6                                               |
|                                | Vermiculit | 0,6...0,9                                          |
|                                | Smectit    | 0,2..0,6                                           |

Die **negative Schichtladung** der 2:1-Schichtminerale pro Formeleinheit kommt außer durch Si-Al-Ersatz in den Tetraedern durch Ersatz von  $\text{Al}^{3+}$  durch  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{2+}$  in den Oktaedern zustande.



# Chemische Verwitterung und chemische Prozesse

## Oxidation

Viele Minerale enthalten  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Mn}^{2+}$ . Sie werden daher im  $\text{O}_2$ -haltigen Verwitterungsmilieu (Kontakt mit der Atmosphäre) oxidiert. Dabei werden die Bindungen im Mineral gesprengt, das oxidierte Fe und Mn freigelegt und hydrolytisch zu Oxiden und Hydroxiden umgesetzt.

# Chemische Verwitterung und chemische Prozesse

Tab. 2.2-7 Die Oxid-, Oxihydroxid- und Hydroxidminerale von Si, Al, Fe, Mn und Ti in Gesteinen und Böden.

| Element | Name                          | Formel                                                                              | Farbe                    |
|---------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Si      | [Quarz] <sup>a)</sup>         | $\text{SiO}_2$                                                                      | farblos                  |
|         | Opal                          | $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$                                           | farblos                  |
|         | [Cristobalit]                 | $\text{SiO}_2$                                                                      | farblos                  |
| Al      | Gibbsit                       | $\gamma\text{-Al(OH)}_3$                                                            | farblos                  |
|         | (Böhmit) <sup>b)</sup>        | $\gamma\text{-AlOOH}$                                                               | farblos                  |
|         | (Diaspor)                     | $\alpha\text{-AlOOH}$                                                               | farblos                  |
|         | (Korund)                      | $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$                                                      | farblos                  |
| Fe      | Goethit                       | $\alpha\text{-FeOOH}$                                                               | gelbbraun (7,3...1,6Y)   |
|         | Lepidokrokit                  | $\gamma\text{-FeOOH}$                                                               | orange (4,9YR...7,9YR)   |
|         | Hämatit                       | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$                                                      | rot (3,5R...4,1YR)       |
|         | Maghemit                      | $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$                                                      | braunrot (6,2YR...9,4YR) |
|         | [Magnetit]                    | $\text{Fe}_3\text{O}_4$                                                             | schwarz                  |
|         | Ferrihydrit                   | $5 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$                                | rotbraun (2,8YR...9,2YR) |
|         | {Schwertmannit} <sup>c)</sup> | $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6\text{SO}_4$                                     | orange (6,2YR...0,3Y)    |
| Mn      | Vernadit                      | $\gamma\text{-MnO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$                                    | schwarzbraun             |
|         | Birnessit <sup>d)</sup>       | $(\text{Mn}^{3+}\text{Mn}^{4+})\text{O}_{18} \cdot \text{R} (\text{H}_2\text{O})_n$ | schwarzbraun             |
|         | Lithiophorit <sup>e)</sup>    | $[\text{Al}_2\text{Li}(\text{OH})_6] [\text{Mn}_5^{4+}\text{Mn}^{3+}\text{O}_{12}]$ | schwarzbraun             |
|         | (Pyrolusit)                   | $\text{MnO}_2$                                                                      | schwarzbraun             |
| Ti      | Anatas                        | $\text{TiO}_2$                                                                      | hellschwarz              |
|         | [Rutil]                       | $\text{TiO}_2$                                                                      |                          |
| Fe + Ti | [Ilmenit]                     | $\text{FeTiO}_3$                                                                    | schwarz ?                |
|         | Pseudorutil                   | $\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_3\text{O}_{9-x}(\text{OH})_{3x}$                          |                          |

Oxid- Oxihydroxid- und Hydroxidminerale von Si, Al, Fe und Ti in Gesteinen und Böden

# Chemische Verwitterung und chemische Prozesse

## Goethit, Lepidokrokit, Hämatit

### Goethit: $\alpha\text{-FeOOH}$

- An der Erdoberfläche sehr stabiles und deshalb weit verbreitetes Eisenoxihydroxid
- Verwitterungsprodukt vorwiegend in gemäßigten Klimaten
- entsteht bei langsamer Fe-Nachlieferung aus  $\text{Fe}^{2+}$ -haltigen Mineralen und niedrigen Fe-Konzentrationen in der Bodenlösung. Der Goethit verleiht vielen Böden der mittleren Breiten ihre charakteristische gelbbraune Farbe.



### Lepidokrokit: $\gamma\text{-FeOOH}$

- Eisenoxihydroxid, entsteht sekundär aus  $\text{Fe}^{2+}$ -haltigen Lösungen. Bevorzugtes Auftreten in Grund- bzw. Stauwasserbeeinflussten Bereichen. Bedingt die orange Färbung redoximorph geprägter Horizonte. Er ist metastabil und wandelt sich langsam in Goethit um.

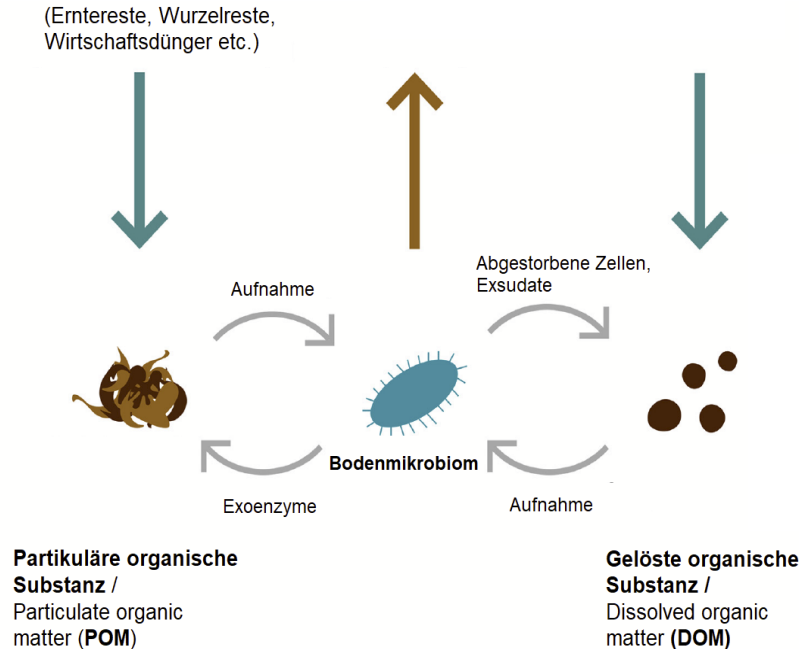


### Hämatit: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

- entsteht bei der Verwitterung in Böden wärmerer Klimate
- subtropische, tropische Böden werden dadurch oft leuchtend rot gefärbt.



# Biologische Verwitterung und biologische Prozesse



**Biologische Verwitterung:** durch Pflanzenwurzeln, Bakterien, Algen und Pilze. Die Hauptwirkung geht von biotisch produzierten Säuren aus.

**Zersetzung:** Abbau organischer Substanz

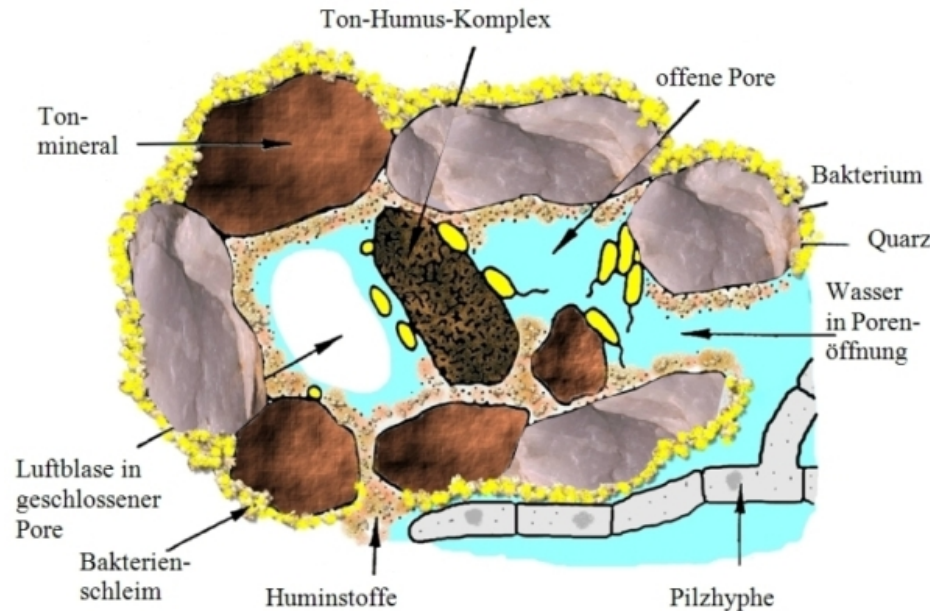
**Mineralisierung:** vollständiger mikrobieller Abbau zu anorganischen Stoffen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), bei dem auch die in den organischen Stoffen enthaltenen Pflanzennährelemente freigesetzt werden.

**Humifizierung:** Synthese amorpher, vielfach aromatischer polymerer Stoffe (Huminstoffe); Umwandlung und Bindung organischer Substanz im Boden; Stabilisierung gegenüber Mineralisierung.

<https://www.landwirtschaftskammer.de>

# Biologische Verwitterung und biologische Prozesse

## Stabilisierungsprozesse organischer Bodensubstanz



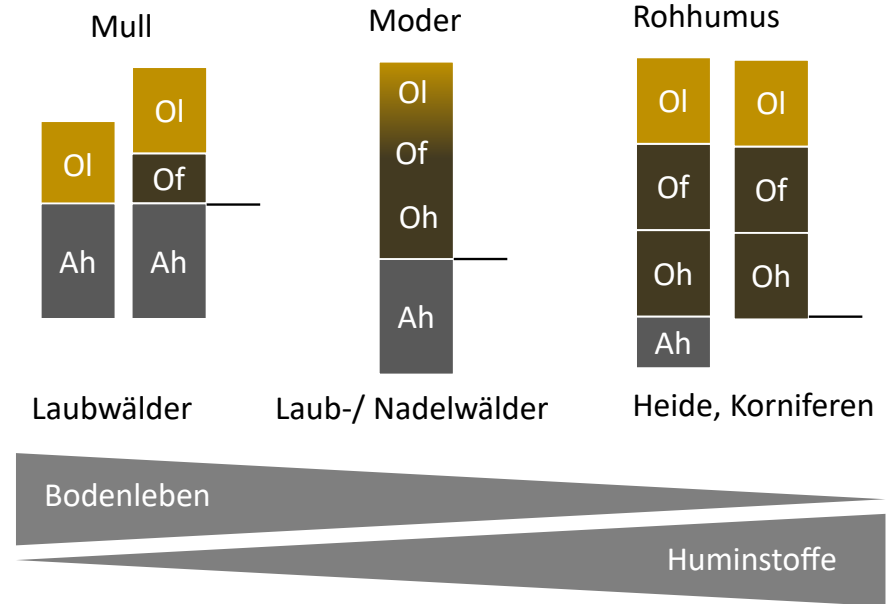
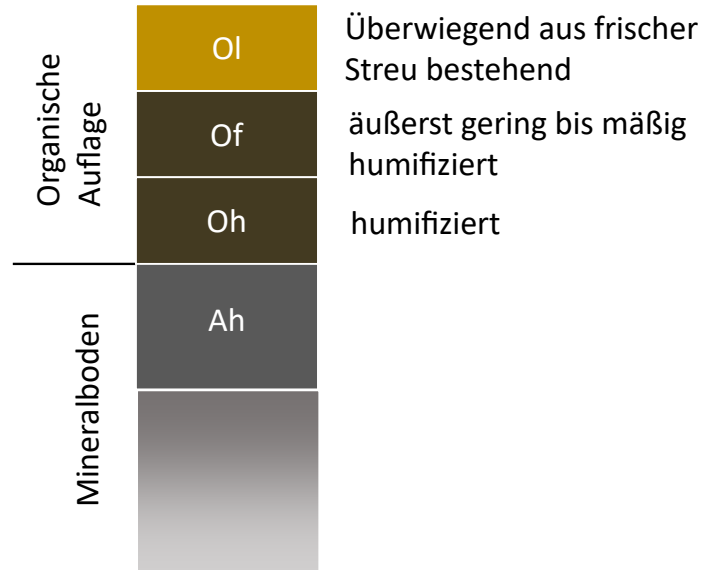
Die organische Bodensubstanz wird durch verschiedene Stabilisierungsprozesse gegen fortschreitenden Abbau (durch Mikroorganismen) geschützt.

- Von besonderer Bedeutung ist dabei eine **Bindung an Tonminerale** (Ton-Humus-Komplex).
- Zudem stellen **Bodenaggregate** einen physikalischen Schutz dar.

<https://www.lfl.bayern.de>



# Humusformen

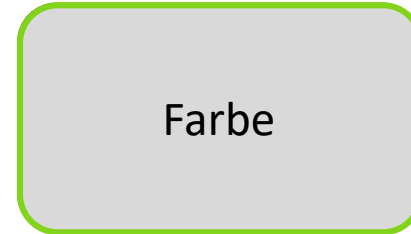


# Biologische Prozesse: Akkumulation organischer Bodensubstanz

## Rückblick



|   |                                    |
|---|------------------------------------|
|   | 0 cm                               |
| A | Mineralischer Oberboden            |
|   | 27 cm                              |
| B | Mineralischer Unterboden           |
|   | 52 cm                              |
| C | wenig verändertes Ausgangssubstrat |



Farbe

- Eisenoxide
- Organische Substanz



Feinbodenart

# Exkurs: Bodenprofilansprache

- Die Farbensprache bei Feldaufnahmen erfasst die Parameter:

- ✓ **Farbton** (engl. *Hue* )
- ✓ **Dunkelstufe** (engl. *Value* )
- ✓ **Intensität** (engl. *Chroma* )

⇒ Hue Value/Chroma      Beispiel: 7,5YR 5/4

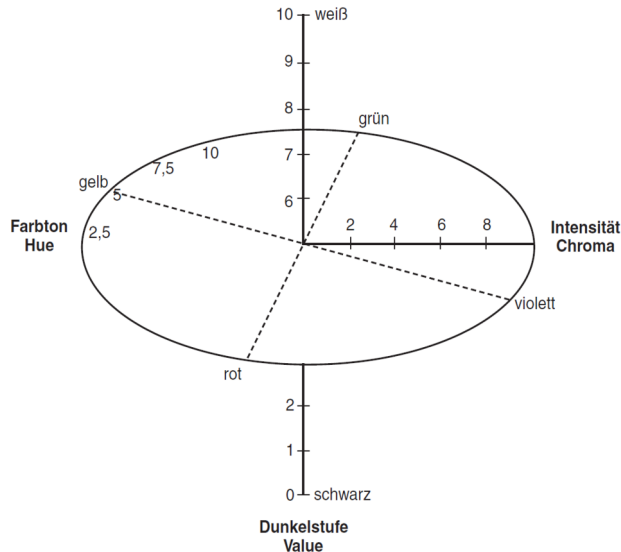
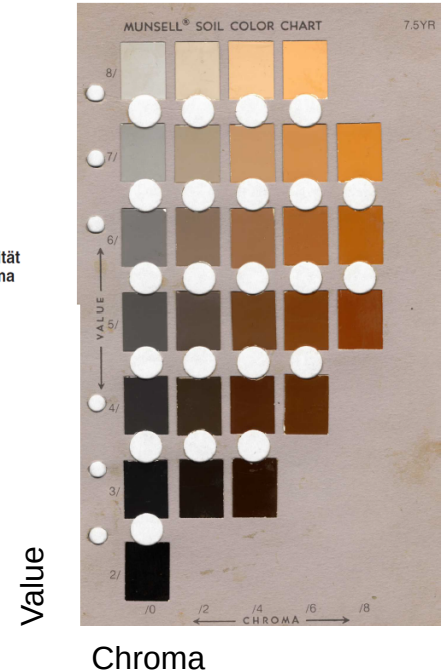


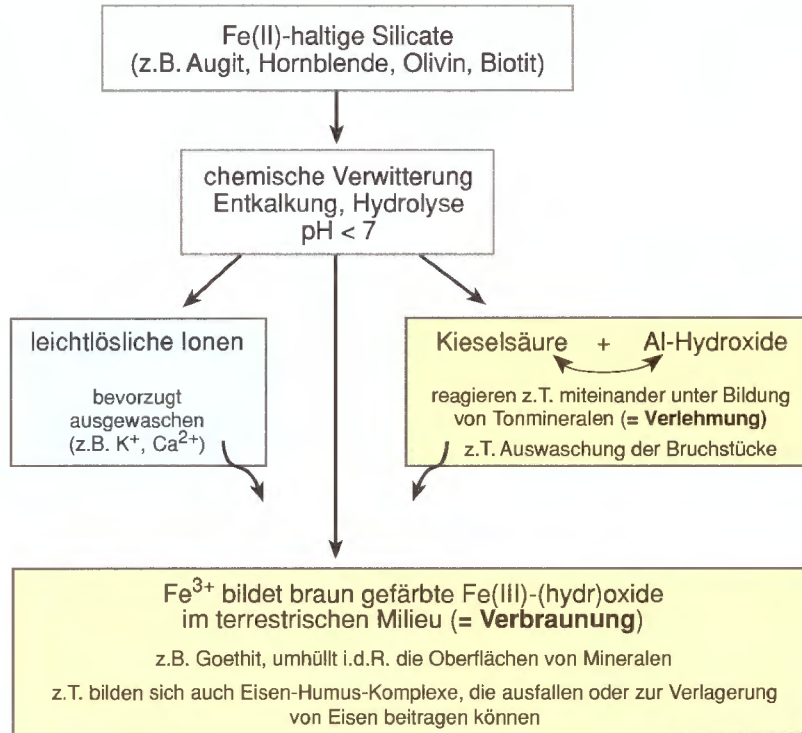
Abb. Farbbeschreibung nach Munsell  
Amelung et al., 2018

## Munsell-Farbtafel



# Verbraunung und Verlehmung

## Braunerde



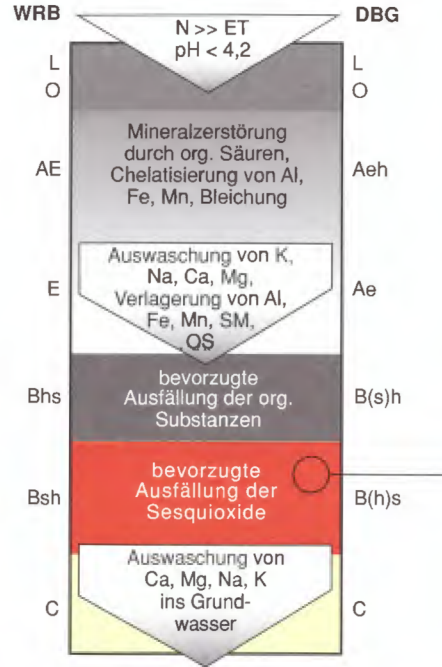
- Im Laufe der chemischen Verwitterung wird  $\text{Fe}^{2+}$  aus den Fe-haltigen primären Mineralen freigesetzt.
- Es oxidiert zu  $\text{Fe}^{3+}$  und bildet im gemäßigten Klima i.d.R. braun gefärbte Eisenoxide wie den Goethit (**Verbraunung**)
- Aus den freigesetzten Kieselsäure- und Al-haltigen Fragmenten und Ionen können in situ Tonminerale (Illite, Smectite, Vermiculite) entstehen (**Verlehmung**)

<https://www.bodenwelten.de/>

Grafik n. Hintermaier-Erhard & Zech (1997)

# Podsolierung

## Podsol



Grafik n. Bridges (1979)

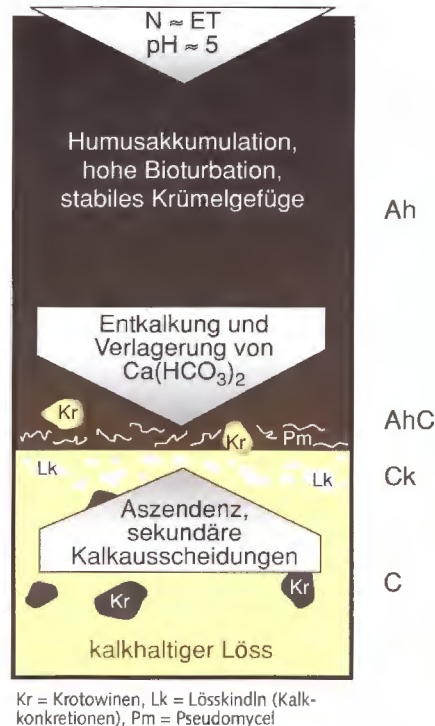
- Bei niedrigem pH-Wert werden primäre und sekundäre Minerale zerstört und die Bruchstücke zusammen mit Huminstoffen (DOM) verlagert.
- basenarmes, quarzreiches und gut durchlässiges Ausgangsgestein, schwer abbaubare Streu und fehlende Bodenwühler begünstigen die Akkumulation von Rohhumus, in dem saure, niedermolekulare organische Säuren entstehen, die als Komplexbildner wirken.
- Verlagerung: Ionar oder als organische Komplexe

# Humusakkumulation & Bioturbation

Schwarzerde



<https://www.bodenwelten.de>

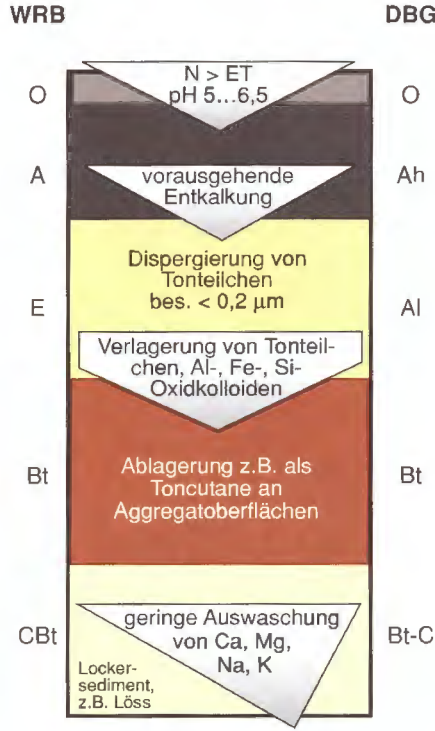


- Sehr hohe ober- und unterirdische Biomasseproduktion
- Tiefgründige Humusakkumulation durch wühlende Bodentiere
- Stabilisierung der organischen Substanz durch Ton-Humus-Komplexe



# Tonverlagerung (Lessivierung)

## Parabraunerde

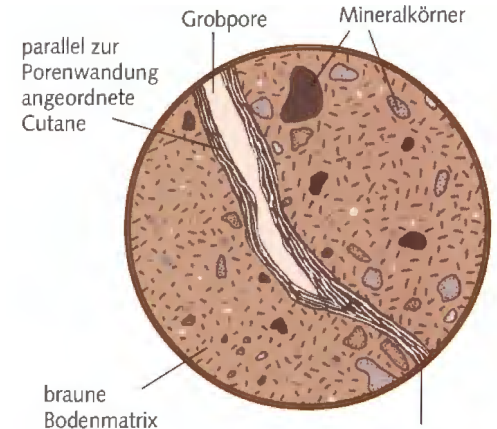


<https://boden-des-jahres.de/>

Zech et al., 2014.

- Mechanische Verlagerung insb. Der Feintonfraktion
- begünstigt durch:
  - pH-Wert zwischen 5...6,5 (Dispergierung der Tonminerale)
  - Periodische Austrocknung der Böden (Entstehung von Grobporen und Trockenrissen)

## Toncutane

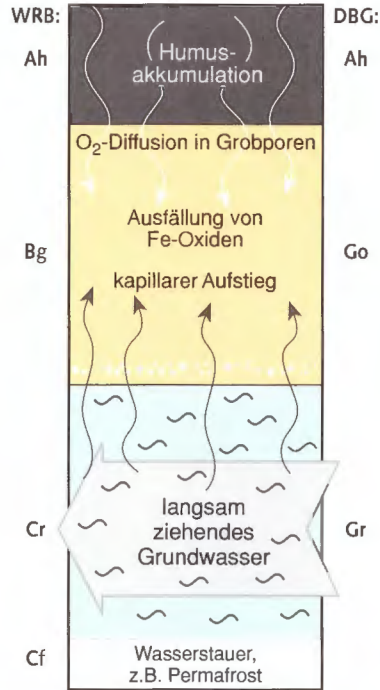


durch Toneinspülung verstopfen die Poren, was zu Wasserstau und Pseudovergleyung führen kann

ges (1979)

# Vergleyung

## Gley



Zech et al., 2014.

- Im Profil hoch anstehendes Grundwasser oder oberflächennahes Hangzugswasser
- Der Unterboden ist ständig vernässt
- redoximorphe Merkmale durch Sauerstoffmangel
- Bei niedrigem Redoxpotenzial kommt es zur Mobilisierung von Fe- und Mn-Verbindungen, die lateral mit dem Grundwasserstrom oder azendent mit dem Kapillarwasser verlagert werden



Zech et al., 2014.

# Pseudovergleyung

## Periodischer Wasserstau

Wasserstau kann unterschiedliche Gründe haben:

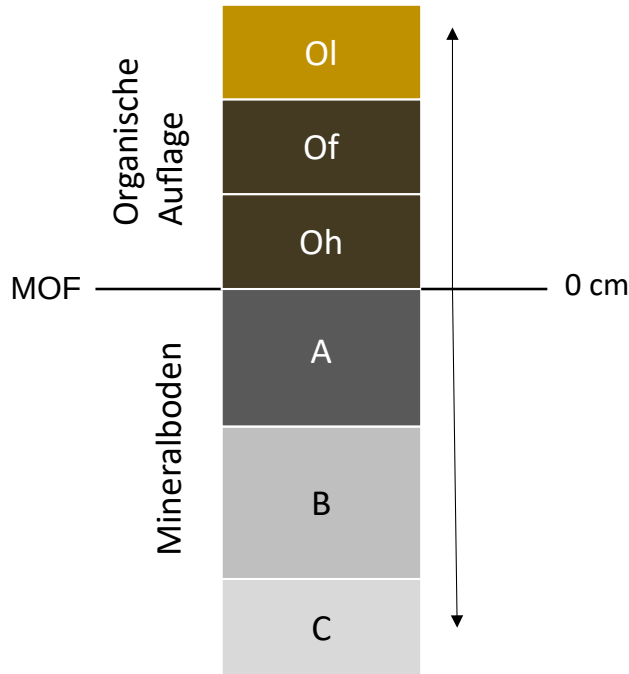
- Vorhandensein eines Bodenhorizontes mit sehr feiner, tonreicher Textur, entweder primär aus dem Bodenausgangsmaterial (Schichtung), oder sekundär durch die Pedogenese als starke Einlagerungsverdichtung, zum Beispiel durch Tonverlagerung
- Haftnässe durch extrem viele Mittelporen, die sehr langsam dränen
- anthropogene Verdichtung (Landwirtschaft)



<https://www.bmleh.de/>

# Exkurs Bodenprofilansprache

## Horizontsymbole



Die Horizonte werden mit Horizontsymbolen bezeichnet. Diese bestehen aus

- **Großbuchstaben**, die den hauptsächlichen bodenbildenden Prozess ihrer Entstehung kennzeichnen (Hauptsymbole) und
- aus ihnen zugeordneten **Kleinbuchstaben** (Zusatzsymbole). Diese kennzeichnen weitere Horizontmerkmale

MOF = Mineralbodenoberfläche

# Exkurs Bodenprofilansprache

Das Horizontsymbol kennzeichnet einen grundlegenden bodenbildenden Prozess

|                           |                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Auflagehorizont</b>    | Organische Substanz auf Mineralboden oder auf Torf aufliegend oder in Zwischenräumen von Grobbodenpartikeln liegend, die ein Gerüst bilden.                                                                    |
| <b>Oberbodenhorizont</b>  | Lage an der Mineralbodenoberfläche (soweit nicht fossil oder reliktsch) oder unter einem anderen Oberbodenhorizont, soweit die Merkmale zutreffen.                                                             |
| <b>Unterbodenhorizont</b> | Rezenter Bodenbildungshorizont, Lage zwischen Oberboden- und Untergrundhorizonten.<br><i>Hinweis: Ober- und Unterbodenhorizonte und die dazugehörigen Teile von Haupthorizonten bilden zusammen das Solum.</i> |
| <b>Untergrundhorizont</b> | Horizont ohne wesentliche von der Geländeoberfläche wirkende pedogene Veränderungen; Lage unterhalb von Ober- und Unterbodenhorizonten.                                                                        |
| <b>Haupthorizont</b>      | Mit einem eigenen Hauptsymbol bezeichneter Horizont, der sich nicht eindeutig einer der übrigen Kategorien zuordnen lässt.                                                                                     |

Ad-hoc-AG Boden (2024)

# Exkurs Bodenprofilansprache

## Horizonthauptsymbole [Auswahl]

|   |                                                                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| O | Organischer Auflagehorizont                                                                                           |
| A | Mineralischer Oberbodenhorizont mit Akkumulation org. Substanz                                                        |
| K | Mineralischer Unterbodenhorizont, durch vertikal im Profil verlagerte Stoffe angereichert (Illuvialhorizont)          |
| B | Mineralischer Unterbodenhorizont                                                                                      |
| C | Mineralischer Untergrundhorizont (aus Locker- oder Festgestein gebildet)                                              |
| E | Eluvialhorizont: Mineralischer Haupthorizont durch Verlagerung von Tonmineralen, Eisen(hydr)oxiden oder Humus verarmt |
| S | Mineralischer Haupthorizont unter Stau- oder Haftwassereinfluss entstanden                                            |
| G | Mineralischer Haupthorizont unter Grundwassereinfluss entstanden                                                      |





# Exkurs Bodenprofilansprache

Nachgestellte Zusatzsymbole für pedogene Merkmale [Auswahl]

|   |                                                                          |
|---|--------------------------------------------------------------------------|
| h | Durch Humusanreicherung geprägt;<br>kombinierbar mit A                   |
| h | humifiziert; kombinierbar mit O                                          |
| v | Durch Prozesse der Verwitterung<br>entstanden, kombinierbar mit B, C,... |
| d | wasserstauend; kombinierbar mit S                                        |
| g | durch Haftnässe geprägt,<br>kombinierbar mit S                           |
| o | mit Oxidationsmerkmalen,<br>kombinierbar mit G,...                       |
| r | mit Reduktionsmerkmalen,<br>kombinierbar mit G,...                       |

|   |                                                                                     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|
| p | gepflügt oder anderweitig<br>regelmäßig bearbeitet mit A,...                        |
| c | erkennbar mit<br>Sekundärcarbonat angereichert                                      |
| l | tonverarmt, lessiviert;<br>kombinierbar mit E                                       |
| t | durch Einwaschung mit Ton<br>angereichert (Illuvialhorizont);<br>kombinierbar mit K |



# Exkurs Bodenprofilansprache

Vorangestellte Zusatzsymbole für geogene/anthropogene Merkmale [Auswahl]

- c carbonatisch, Ausgangsgestein des Horizontes ist ein Carbonat- oder Sulfatgestein
- e mergelig, Ausgangsgestein des Horizontes ist ein mergeliges Gestein
- f fossil, Horizont, der nach seiner Entstehung begraben wurde
- m massiv, Horizont aus auch im feuchten Zustand mit dem Spaten nicht grabbares Gestein, z.B. Granit
- r reliktilsch, Horizont, dessen Bodenbildungsprozess aufgrund einer Änderung der bodenbildenden Faktoren nicht mehr aktiv ist
- s Horizont durch Hangwasser beeinflusst

# Exkurs Bodenprofilansprache

## Horizonte mit mehreren Merkmalen

Ein **Abweichungshorizont** erfüllt alle Kriterien des Stammhorizonts und zusätzlich Abweichungskriterien

- Bcv = Bv-Horizont mit sekundärer Anreicherung von Carbonat
- Srw = Sw-Horizont mit ausgeprägten Reduktionsmerkmalen

In **Übergangshorizonten** überlagern sich Merkmale unterschiedlicher pedogener Prozesse (bis zu drei Hauptsymbole, die durch Bindestriche (—) verbunden werden. Das zu Beginn stehende Symbol bezeichnet die geringste Ausprägung.

- Sw–Bv = Bv-Horizont mit <10 Flächenprozent Nassbleichungs- und Oxidationsmerkmalen

Bei Übergangshorizonten mit dem gleichen Hauptsymbol wird dieses nur einmal genannt

- Swd vereinfachend für Sw–Sd

**Reliktische oder fossile Bodenbildung**: Ein Horizont entwickelt sich aus einem anderen Horizont einer früheren, abgeschlossenen Pedogenese: Kennzeichnung durch Gradzeichen (°). Das Symbol des rezent gebildeten Merkmals steht hinten

- fAh°Sd = Stauhorizont (Sd) aus begrabenen Ah-Horizont

**Verzahnungshorizonte**: Bis zu drei Bereiche verschiedener Horizonte kommen nebeneinander vor (+).

# Horizontsymbole

| WRB |                                                                  | KA4<br>(1994) | KA6<br>(2024) |
|-----|------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| O   | N > ET<br>pH 5...6,5                                             | O             | O             |
| A   | vorausgehende<br>Entkalkung                                      | Ah            | Ah            |
| E   | Dispergierung von<br>Tonteilchen<br>bes. < 0,2 µm                | Al            | EI            |
|     | Verlagerung von Tonteil-<br>chen, Al-, Fe-, Si-<br>Oxidkolloiden |               |               |
| Bt  | Ablagerung z.B. als<br>Toncutane an<br>Aggregatoberflächen       | Bt            | Kt            |
| CBt | geringe Auswaschung<br>von Ca, Mg,<br>Na, K                      | Bt-C          | Kt-C          |
|     | Locker-<br>sediment,<br>z.B. Löss                                |               |               |

Unterschiedliche Versionen der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA) bedingen unterschiedliche Horizontsymbole

national versus international

WRB = World Reference Base for Soil Resources  
Internationale Bodenklassifikation

FAO Guidelines for Soil Description  
Internationales Rahmenwerk für die Bodenprofilansprache

# Exkurs Bodenklassifikation

Braunerden haben einen durch Verwitterung, Verbraunung und Verlehmung entstandenen Bv-Horizont mit ausgebildetem Bodengefüge.

Standard-Horizontfolge des Normsubtyps: Ah/Bv/..C..

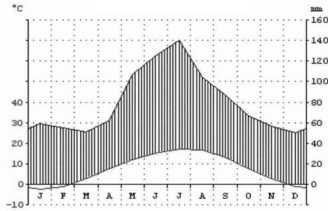
1. a) Bv-Horizont vorhanden und  $< 4$  dm unter MOF beginnend **oder**  
b) Ah-, Ax-, Au- oder A..p-Horizont vorhanden und bis  $\geq 4$  dm unter MOF reichend und unmittelbar über Bv-Horizont **und**
2. keine dominanten P.- oder T.-Horizonte  $< 3$  dm unter MOF vorhanden **und**
3. unter dem Bv-Horizont keine dominanten V.-Horizonte bis  $\geq 4$  dm unter MOF reichend vorhanden **und**
4. keine dominanten S.- und G.-Horizonte  $< 4$  dm unter MOF vorhanden **und**
5. Ks- oder Kh-Horizonte, sofern vorhanden, bis  $< 1,5$  dm unter MOF reichend

MOF = Mineralbodenoberfläche

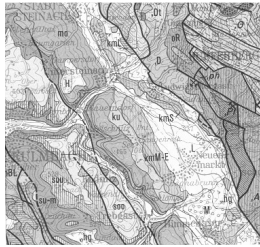


# Die bodenbildenden Faktoren steuern die Pedogenese

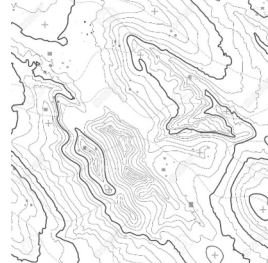
Klima



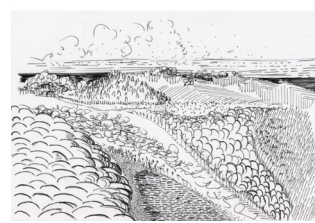
Bodenausgangsmaterial



Relief

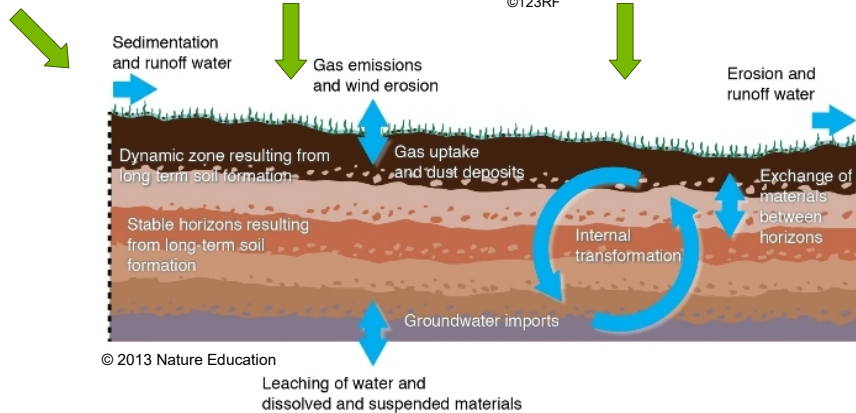
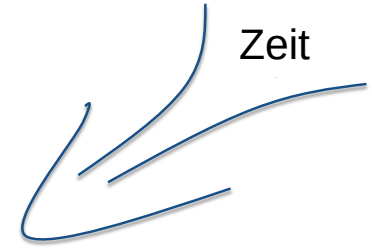


Organismen



<http://www.croquis.eu/arts/landschaft/>

Zeit

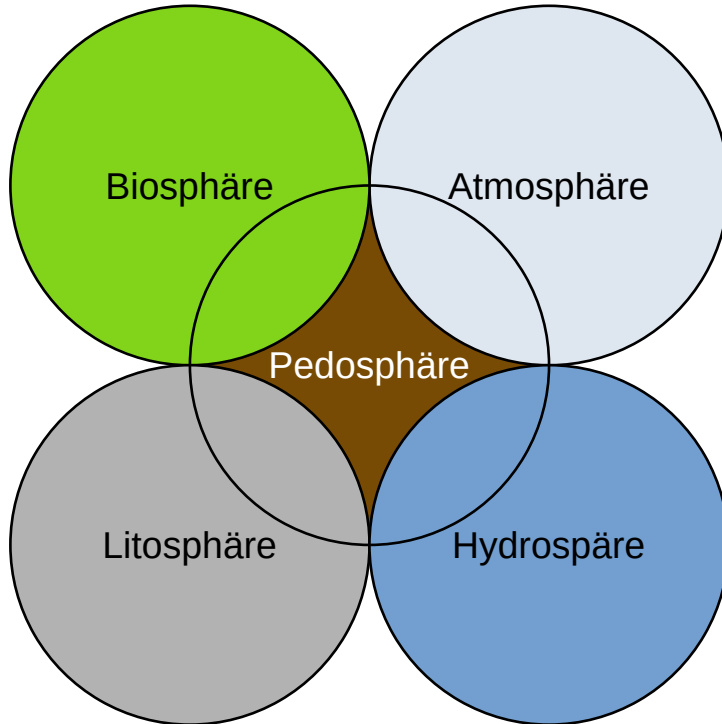


## Konzeptmodell der Pedogenese

Jenny, H., 1941. Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology, Dover Publications, New York.



# Die Pedosphäre



## Was ist Boden?

„Die **Pedosphäre** ist die Gesamtheit aller Böden. Sie ist ein zusammenhängender Bereich der oberen Erdkruste, der Bodendecke. Sie bedeckt das Festland und den Grund der Gewässer. Überall dort, wo sich die **Lithosphäre**, die **Atmosphäre**, die **Biosphäre** und die **Hydrosphäre** durchdringen, ist Boden bzw. Pedosphäre.“ (Amelung et al., 2018)

Wo ist kein Boden?

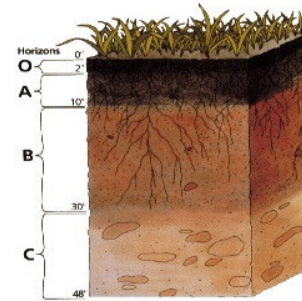
# Begriffe: Pedon, Bodentyp und Bodenprofil

Die kleinste räumliche Einheit einer Bodendecke ist das **Pedon**. Es nimmt eine Grundfläche von etwa 1...100 m<sup>2</sup> ein.

Ein **Bodentyp** hat eine charakteristische Abfolge von Bodenhorizonten spezifischer Eigenschaften. Die Horizonte müssen dafür oftmals bestimmte Mindestkriterien erfüllen hinsichtlich ihrer Mächtigkeit, Ausprägung und Lage im Profil.

Beispiel: (Norm-)Braunerde mit Ah/Bv/C – Profil.  
Weitere Vorgaben gemäß KA6 siehe Folie 44.

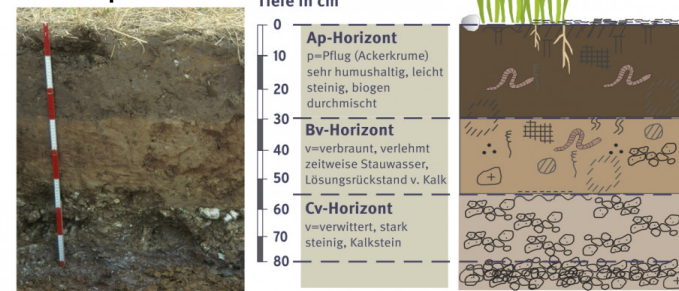
Die Bodenprofilansprache erfolgt anhand eines **Bodenprofils** in einer Schürfgrube (oder mittels Bohrstock).



Pedon

DOI:10.21428/594757db.77e18bfa

## Bodenprofil



**Bodentyp: Braunerde; Ausgangsgestein: Kalkstein**

A-Horizont: Oberboden

B-Horizont: Unterboden mit Besonderheiten: T (Lösungsrückstand von Kalkstein)

# Bedeutende Bodenkundler (Pedogenese, Bodenvergesellschaftung)

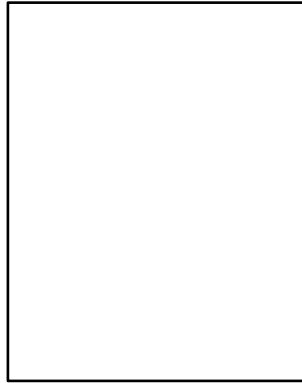
Wassili Dokutschajew  
(1846 – 1903)



## Bodenbildende Faktoren

Dokuchaev, V. (1893); The russian steppes: study of the soil in Russia - its past and present. (ins Englische übersetzt von John Martin Crawford)

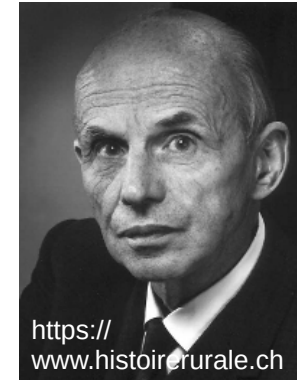
Geoffrey Milne  
(ca. 1899 - 1942)



## Catena = Reliefsequenz: Charakteristische, relief- bestimmte Abfolge von Böden

Milne, G. (1935): Some suggested units for classification and mapping, particularly for East African soils. In Soil Research, Band 4. S. 183–198.

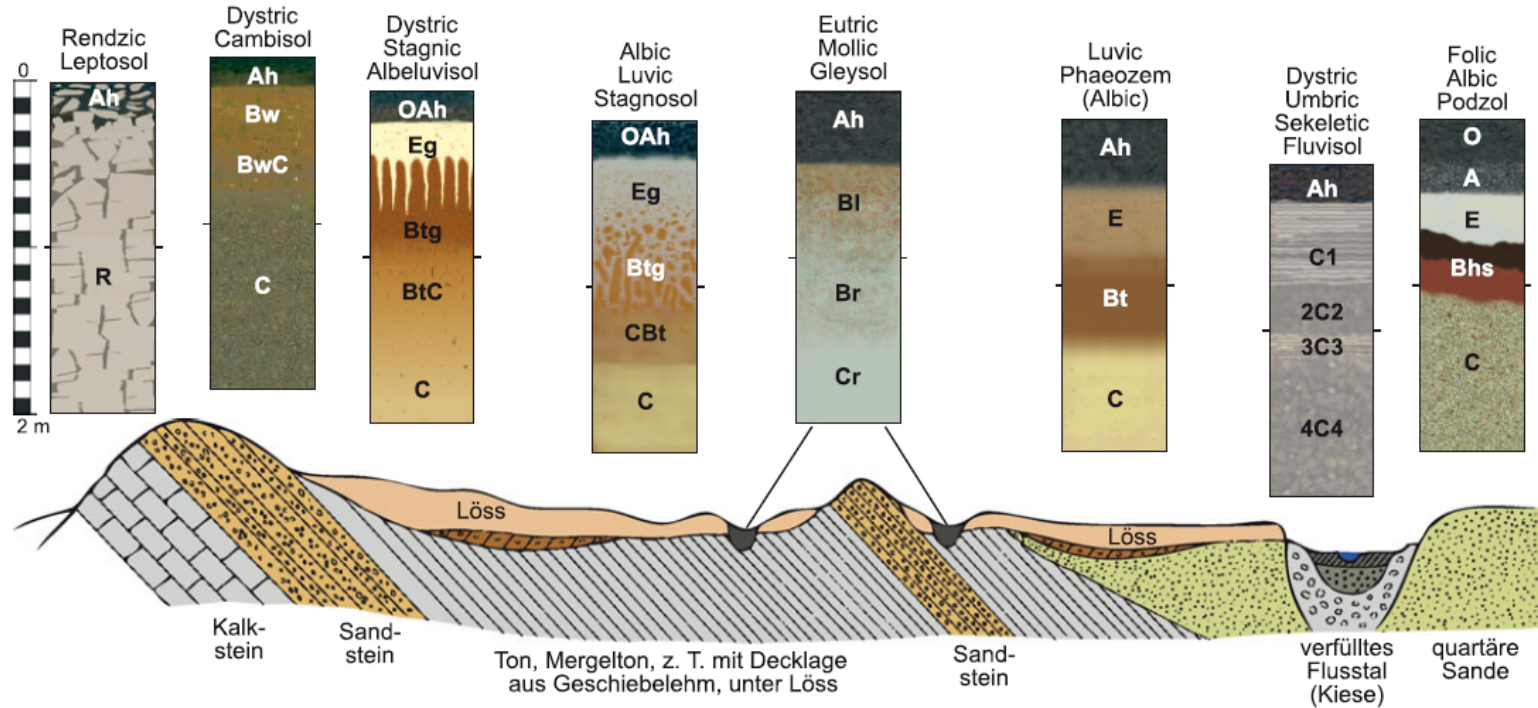
Hans Jenny  
(1899-1992)



## Konzeptmodell der Pedogenese $S = f(cl, o, r, p, t)$

Jenny, H. (1941). Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology

# Bodenvergesellschaftung, Bodenlandschaften



Zech et al., 2014.

# Zusammenfassung

- Bodenbildende Faktoren
- Silikate
- Physische, chemische und biologische Prozesse der Pedogenese:
  - P: phys. Verwitterung, Erosion, Transport
  - C: chem. Verwitterung, Hydrolyse, Oxidation, Tonmineralneubildung
  - B: biol. Verwitterung, Zersetzung, Mineralisierung, Humifizierung
  - Zusammenwirken phys., chem. und biol. Prozesse:  
Lessivierung, Podsolierung, Vergleyung,...
- Exkurs Bodenprofilansprache: Horizontsymbole, Farbe

# Quellen

Ad-hoc-AG Boden (2024). Bodenkundliche Kartieranleitung, KA6. Band 1 & Band 2. Hannover. ISBN 978-3-510-96869-5

Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H. et al. (2018). Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Auflage, Springer Spektrum, Berlin. ISBN 978-3-662-55870-6

Zech, W., Schad, P., Hintermaier-Erhard, G. (2014). Böden Der Welt. 2. Auflage, Springer Spektrum, Berlin. ISBN 978-3-642-36574-4

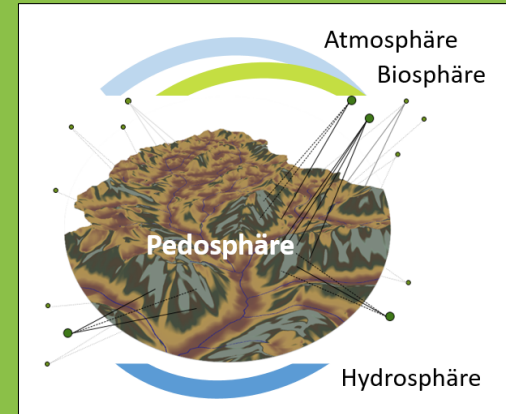


# DANKE

für die Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Mareike Ließ

WS 25/26



*Applied Sciences  
for Life*