

**Kapitel 04.10: Ökosystem Boden - abiotischer Faktor und Lebensraum**



Freies Lehrbuch der Biologie von H. Hoffmeister und C. Ziegler  
(unter GNU Free Documentation License, Version 1.2 (GPL)).

Die jeweils aktuellste Fassung finden Sie unter: <https://hoffmeister.it/index.php/biologiebuch>

## Inhalt

Kapitel 04.10: Ökosystem Boden - abiotischer Faktor und Lebensraum.....	1
Inhalt.....	2
Was versteht man unter „Boden“?.....	3
Warum ist der Boden so wichtig?.....	3
Bodenprofile.....	4
Bodenhorizonte.....	4
Bodenzusammensetzung:.....	5
Die Erdfärbung lässt Rückschlüsse auf den Humusgehalt des Bodens zu:.....	5
Man unterscheidet Bodentypen nach ihrer Korngröße.....	6
Wasserhaushalt und Nährstoffhaushalt des Bodens.....	7
Was gilt also für Kalkböden:.....	7
Die 3 Hauptbodenarten.....	8
Die Schlämprobe - eine Untersuchungsmethode für die Bodenart.....	9
Wie entsteht fruchtbare Erde?.....	10
I. Entstehung des Bodens.....	10
Mineralstoffe - unentbehrlich für jede Pflanze.....	11
Quantitativ bedeutsame Kationen für die Pflanze sind:.....	11
Wichtig sind ebenso die nur in geringen Mengen notwendigen Spurenelemente:.....	11
Mineralsalzgehalt von Böden und ihre Auswirkungen (die Minimalfaktoren).....	12
Mangelsymptome bei Pflanzen.....	13
Ältere Blätter zuerst und am meisten betroffen.....	13
Nur jüngere Blätter und Sprossspitze betroffen.....	13
Die Hoagland Nährlösung (1933).....	14
Zubereitung von Hoagland-Nährlösung.....	14
<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Hoagland_solution">https://en.wikipedia.org/wiki/Hoagland_solution</a> .....	14
Der Boden, seine Fruchtbarkeit und ihre Nutzung in der Landwirtschaft.....	15
Liebig-Modell zur Versorgung mit Mineralsalzen: Die Minimum-Tonne.....	16
Mangelerscheinungen bei Pflanzen.....	16
Mineralsalze als Dünger der Landwirtschaft.....	17
1) Notwendigkeit der Mineralstoffdüngung.....	17
Man unterscheidet verschiedene Düngerarten:.....	17
2) Dosierung des Mineralstoffdüngers.....	17
Veränderung des Bodens.....	18
a) Ursache für die zunehmende Versauerung des Bodens:.....	18
1. Humides Klima:.....	18
3. Protonen aus Abbau organischer Substanz durch Bakterien.....	18
4. Durch die Ernte (Holzernte, Ackerernte).....	19
5. Anthropogene Einflüsse:.....	19
Die Reaktion des Bodens auf die Versauerung.....	19
Puffersysteme im Boden.....	20
1. Kohlensäure-Carbonatpuffersystem (pH 6,5 - 8,5).....	20
2. Kohlensäure-Silikat-Puffersystem (pH 5,0 - 6,5).....	20
4. Aluminium-Puffersystem (pH 3,8 - 4,2):.....	21
5. Eisen-Puffersystem (pH < 3,8):.....	21

### **Was versteht man unter „Boden“?**

Der Boden unter unseren Füßen besteht aus lebendiger Erde und ist ein nur wenige meter dünnes Ökosystem, darunter liegt Felsen und Gestein als Untergrund.

„Boden stellt das unter dem Einfluss zahlreicher Umweltfaktoren entstandene Umwandlungsprodukt aus mineralischen und organischen Substanzen dar, das mit Wasser und Lebewesen durchsetzt ist und höheren Pflanzen als Standort dient.“ (Hofmeister & Garve 1986)

Der Boden wird von Hobbybiologen oftmals als abiotischer Faktor unterschätzt. Allerdings ist das Gegenteil der Fall. Durch seine Zusammensetzung und individuelle, ganz eigene Mischung an Elementen, Wasserhaltefähigkeit und Festigkeit bestimmt die Bodenart maßgeblich die auf ihm wachsende Pflanzengesellschaft und somit auch die Art der Tiere, die sich von diesen ernähren.

### **Warum ist der Boden so wichtig?**

Der Boden ist besonders für Pflanzen einer der entscheidenden Faktoren. Durch seine Korngröße und seine chemische Zusammensetzung bestimmt er maßgeblich, welche Pflanzen auf ihm wachsen. Der Boden wird gebildet aus dem darunter liegenden Gestein. Dieser Jahrhunderte dauernde Prozess wird Verwitterung genannt.

### **Die Qualität eines Bodens ist abhängig von:**

1. dem Gestein (bestimmt auch den pH-Wert! Z.B. verwittert Granit sauer, Kalk hingegen alkalisch)
2. dem Relief
3. dem Klima
4. der Wassermenge
5. den Lebewesen, welche in ihm leben (Regenwürmer, Humusbildner, Destruenten, usw...?)
6. der Durchlüftung
7. der Alter des Bodens
8. Schadstoffeintrag

Der in Europa vorliegende Boden ist oft nährstoffreich und in seiner biologisch wichtigen Schicht ca. 30-150cm tief. Darunter liegt das Gestein.

Durch Wind und Wasser kann der Boden abgetragen werden (=Erosion), so kommt es, vor allem durch den menschlichen Einfluss auch zu einer Abnahme dieser Bodenschichten. Dies trägt zu einer weiteren Bildung von kahlen Bergen, Wüsten und Halbwüsten deutlich bei.

Menschen benötigen Boden zum Wohnen, für den Verkehr, Anbau von Lebensmitteln, Freizeitaktivitäten, Viehzucht und vielem mehr.

Durch diese menschlichen Einflüsse kommt es zu Erosion, Versiegelung von Bodenflächen (Betonieren, Teeren usw.), Verseuchung mit Giftstoffen und vielem mehr.

## Bodenprofile

### **Bodenhorizonte**

Gräbt man mit einem Spaten tief in den Boden, sieht man unterschiedliche Farben des Erdreichs. Es handelt sich um sogenannte Horizonte.

Man unterteilt die Horizonte nach ihrer Entstehungsgeschichte. So findet man oben den A-Horizont, nachdem ein B-Horizont<sup>1</sup> folgen kann und der einen Abschluss erfährt durch einen C-Horizont.

- A** Oberboden
- B**
- C** Unterboden (Gestein)

Mit Indices gibt man weitere Informationen, z.B.

- A<sub>h</sub>** Oberboden mit Humusanreicherung
- C<sub>n</sub>** Unterboden nicht verwittert
- C<sub>v</sub>** Unterboden angewittert



Auf dem Foto sieht man einen Abhang im Fichtenwald, der für einen neuen Forstweg vor ca. 2 Jahren aufgebaggert wurde.

Die Auflage auf der obersten Schicht wird durch ein großes **O** gekennzeichnet.

**Allgemeine Arten von Auflagen sind:**

- Mull
- Moder
- Rohhumus

**Aus der Profilbeschreibung des Bodens kann ein guter Biologe auf die vorkommende Vegetation schließen.**

<sup>1</sup> Beachte: Der B-Horizont hat durch Gesteinverwitterung Veränderungen der mineralischen Struktur erfahren.

**Bodenzusammensetzung:**

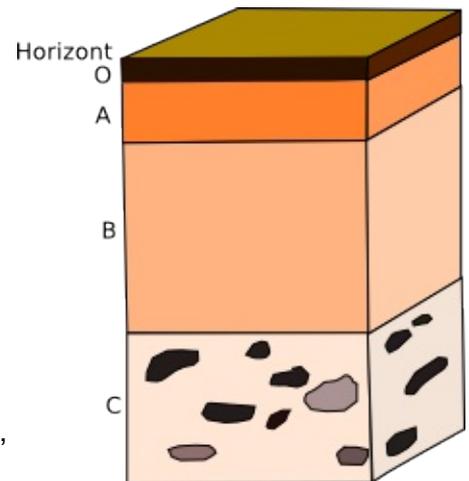
Die Zusammensetzung der Horizonte ist verschieden:

**Auflagehorizont (O-Horizont):** Enthält v.a. Humus, Tiere und Wurzeln

**A-Horizont:** stark humushaltiger (=humoser) Bodenhorizont, besser zersetzt, ca. 50% Hohlräume (!), Lebensraum für Wurzeln und Tiere => Mutterboden

**B-Horizont:** Kennzeichen ist die starke Mineralverwitterung und der nur geringe Humusanteil. => Verwitterungsschicht

**C-Horizont:** Ausgangs- oder Bodengestein  
Während bei uns das Gestein oft erst in einigen Metern Tiefe beginnt, liegt im tropischen Regenwald, dies oft nur 30cm tief. => kaum Speicherung von Nährstoffen möglich.



**Die Erdfärbung lässt Rückschlüsse auf den Humusgehalt des Bodens zu:**

Organische Substanz	Farbe	Humusanteil
1-2%	hellgrau - grau	geringer Anteil
2-5%	grau - braun	mittlerer Anteil
5-30%	braun - schwarzgrau	hoher Anteil

**Der Boden ist Lebensraum, Wasserspeicher, Nährstoffspeicher und Verankerungsgrundlage für Pflanzen und Tiere. Je kleiner dabei das Bodenmaterial in seiner Körnung ist, desto besser speichert der Boden Wasser.**

**Zusatzinformationen:**

- <https://de.wikipedia.org/wiki/Bodenkunde>
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Boden\\_%28Bodenkunde%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Boden_%28Bodenkunde%29)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Bodenprofil>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Bearbeitungshorizont>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Bodengefüge> ; <https://de.wikipedia.org/wiki/Bodenklasse>

**Man unterscheidet Bodentypen nach ihrer Korngröße**

Der Boden ist Wasserspeicher, Nährstoffspeicher und Verankerungsgrund. Die Speicherkapazität ist von der Mächtigkeit (Dicke) und der Art des Feinmaterials abhängig. Je größer das Bodenmaterial, desto schneller läuft das Wasser ab.

- Definitionen:**
- > 63 µm => Sand (grobkörnig)
  - 2 -63 µm => Schluff (mit Lehm)
  - < 2µm => Ton

Bodenart	Kies	Sand	Schluff	Ton
Korngröße	>2mm	(2mm - 0,063mm)	(0,063mm - 0,002mm)	(<0,002mm)
Merkmale	mineralsalzzarm, wasserdurchlässig, hält kein Wasser, Für Landwirtschaft ungeeignet	mineralsalzzarm, wasserdurchlässig leicht zu bearbeiten	mineralsalzreich, etwas wasserdurchlässig, hält Wasser lange im Boden, gut zu bearbeiten, da er locker ist	mineralsalzreich, wasserundurchlässig, hält viel Wasser, schwer zu bearbeiten,

**Humus** ist Boden, der noch totes organisches Material beinhaltet (Pflanzenreste, tierische Exkremente, Tierkadaver usw.). Humus stellt in der Regel die obere Auflagen des Bodens dar. Seine Qualität ist maßgeblich durch tierische und bakterielle Aktivität bestimmt.

**Lehm** ist eine Mischung aus Sand (Partikel > 63 µm), Schluff (Partikel > 2 µm) und Ton. Die Mischungsverhältnisse von Sand, Schluff, und Ton können innerhalb definierter Grenzen schwanken.

**Löss:** vom Wind transportiertes und abgelagertes Sediment. Hauptbestandteil ist Schluff.

**Ton** kann man übrigens leicht erkennen. Ist er etwas feucht, so kann man mit den Fingern ihn zu einer „Wurst“ drehen. Andere Bodentypen zerbröseln dabei.

**Schluff** hat eine günstige Korngrößenfraktion für den Wasserhaushalt. Allerdings ist auf flachgründigen Böden dieser auch eingeschränkt.

**Je kleiner die Korngröße, desto besser kann der Boden das Wasser festhalten. Sandige Böden sind demzufolge trockene Böden und erlauben kaum Pflanzenwuchs.**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Humus>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lehm>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Löss>

### **Wasserhaushalt und Nährstoffhaushalt des Bodens**

In Deutschland gibt es viele verschiedene Bodentypen. Vor allem nördlich der Alpen ist der Boden kalkhaltig. Aufgrund seiner Entstehung aus sedimentierten Meerestieren und Muscheln im Trias (also vor 243 bis 235 Mio. Jahren) wird dieser Bodentyp auch Muschelkalk genannt.

Die heutigen Bodensalze sind also durch die enorme Ablagerung der damaligen Zeit verursacht.

Der Muschelkalk wurde also im Trias marin abgelagert. Er enthält viel durch die Muschelschalen viel Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) und zahlreiche andere Nährstoffe (das Phosphat wird immer aus der Streu aufgenommen).

Ein Problem der Klassifizierung stellt die große Ungleichheit der Ionenverteilung dar. Es existiert viel  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$ .  $\text{K}^+$  hingegen ist nur in geringen Mengen vorhanden. Die geringe Menge an  $\text{K}^+$  konkuriert mit  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  in der Verteilung um die Wurzel.

#### **Was gilt also für Kalkböden:**

- Es gibt viele Pflanzen, die auf Kalkböden nicht wachsen können. Zum Beispiel verhindert  $\text{Ca}^{2+}$  das Wachsen von Heide.
- Typische Kalkpflanzen können aber durchaus auch auf anderen Böden wachsen!
- Ein dunkler Boden lässt auf einen hohen Humusgehalt schließen (5-10%), der durch einen hohen Eintrag an organischer Substanz entsteht (also viel Abbau organischen Materials). So bildet sich ein für Mineralisierung günstiges Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N-Verhältnis).
- Im Sommer stoppt in der Regel die Mineralisation. Deshalb findet man Laub und halbzersetztes Laub vom Vorjahr.

#### **Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lithostratigraphie>

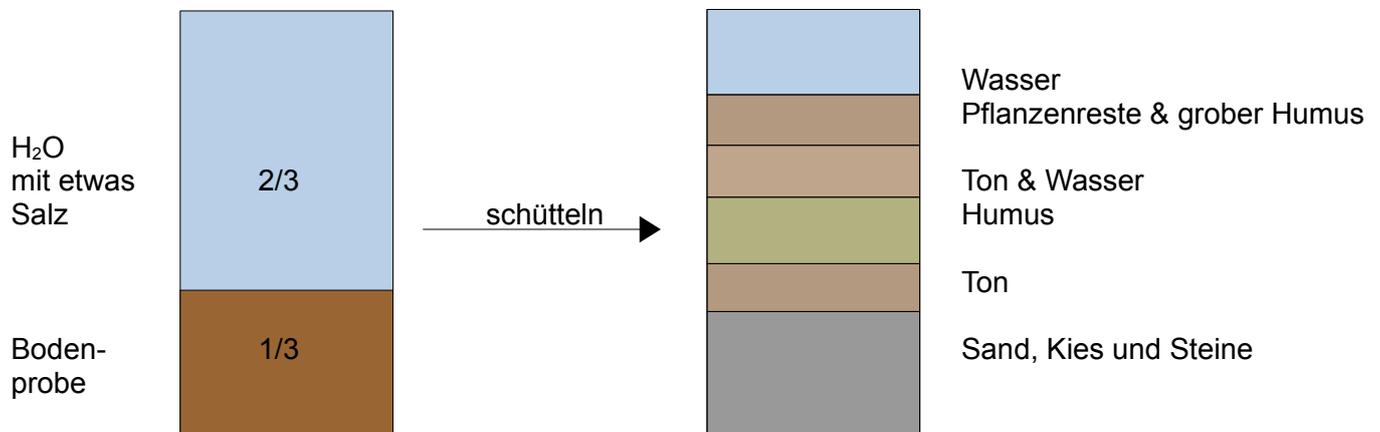
<https://de.wikipedia.org/wiki/Muschelkalk>

### Die 3 Hauptbodenarten

	<b>Sandboden</b>	<b>Lehmboden</b>	<b>Tonboden</b>
<b>Korngöße und Reinheit</b>	große Körner, oft relativ rein und nicht vermischt mit anderen (feineren) Bodenarten	Mittlere Körner, oft gemischt aus Sand-Schluff und Ton-Anteilen.	Feinere Körner, oft nicht gut vermischt mit anderen Körnern. Hin und wieder mit Schluff-Anteilen
<b>Wasserabfluss</b>	schnell	ziemlich schnell	langsam bis garnicht!
<b>Wasserhaltung</b>	kaum	gut bis sehr gut	sehr gut!
<b>Versorgung mit Sauerstoff</b>	Viele Poren und lockeres Gefüge => sehr gut Durchlüftung	viele ähnlich große Poren, Krümelgefüge => ziemlich gute Durchlüftung	wenig Poren, Boden oft sehr dicht und mit Wasser u.U. "verstopft" => schlechte Durchlüftung.
<b>Gehalt an organischen Nährstoffen und Mineralsalzen</b>	relativ wenig Humus vorhanden sowie starker Wasserdurchfluss => Nährstoffarm	viel Humus und nur langsamer Wasserabfluss => hoher Nährstoffgehalt	viel Humus und kaum Wasserabfluss => hoher Nährstoffgehalt
<b>Pflanzenwachstum</b>	trockener Boden, der aber leicht durchwurzelt werden kann => nur Standort für anspruchslosere Arten mit guter Anpassung	wasserhaltender Boden mit guter Durchwurzelbarkeit => guter Standort	oft zu feucht und nur schwer Durchwurzelbar => Nur angepasste Pflanzen, welche keine tiefen Wurzeln benötigen => Wiesen und Weiden

### Die Schlämmprobe - eine Untersuchungsmethode für die Bodenart

Durch eine Schlämmprobe werden Bodenbestandteile aufgetrennt. Dazu gibt man zu einer Bodenprobe in ein genügend großes Gefäß ca. die doppelte Menge Wasser hinzu. Alles wird dann geschüttelt und dann wartet man, bis die die Bestandteile abgesetzt haben (Sedimentation).



Unten lagern sich dabei die schwersten Bodenpartikel ab. Nicht zersetzte Pflanzenteile schwimmen auf dem Wasser. Die freigesetzte Luft stammt aus den Bodenporen.

Diese Luft im Boden wird z.B. von den Wurzeln der Pflanzen für ihre Zellatmung sowie von den dort lebenden Tieren benötigt. Ist der Boden zu dicht (z.B. wenn der Tonanteil sehr hoch ist), dann können Wurzeln und Tiere, besonders bei Regen, absterben.

### Wie entsteht fruchtbare Erde?

Die Entstehung unserer heutigen Böden findet seit der letzten Eiszeit vor ca. 10 000 Jahren statt. Die Bodenbildung ist ein sehr langsamer Vorgang, welcher von Klima, Höhenlage und Grundwassernähe abhängt. Die Umwandlung von Gestein in weiche Erdschichten nennt man Verwitterung.

Trotz des alljährlichen Laubfalls liegt es im Wald nicht meterhoch! Was passiert eigentlich mit dem Laub? Durch Destruenten, wie Bodenbakterien und zersetzende Tiere wie Würmer und Insekten wird organisches Material in Humus umgewandelt. Dabei gilt, dass die tieferen Schichten stärker zersetzt sind.

#### I. Entstehung des Bodens

##### **1. Zersetzung des Gesteins**

Durch Wassereinwirkung, Temperaturschwankungen und durch „Sprengung“ des Gesteins bei Frost kann Gestein zersetzt werden. Auch das Sickerwasser der Streu greift die Mineralien an. Es entsteht Gesteinszersatz. Man spricht vom Prozess der Verwitterung.

Es bilden sich zuerst größere Brocken, dann Geröll, Sand schließlich Lehm und dann Tonminerale.

##### **2. Bildung von Humus**

Bakterien, Pilze und Bodentiere ernähren sich von der auf dem Boden aufliegenden Schicht aus Laubstreu. Diese organischen „Abfälle“ der Bäume werden zu Mineralsalzen und Dauerhumus abgebaut. Der Humus besteht aus der Streu und den neugebildeten Huminstoffen.

Betrachtet man die Zersetzungstätigkeit bei Laubstreu mit und ohne Beteiligung von Bodentieren so sieht man deutlich den Unterschied:

	<b>Anfangsgewicht</b>	<b>nach 140 Tagen</b>	<b>nach 1 Jahr</b>
ohne Bodentiere	373 g	339 g	298 g
mit Bodentieren	373 g	167 g	91 g

### **Mineralstoffe - unentbehrlich für jede Pflanze**

Die im Boden befindlichen chemischen Elemente liegen in fester Form vor. Durch versickerndes Regenwasser lösen sich diese heraus. Man nennt sie dann auch Mineralsalze. Grundwasser und Quellwasser enthalten also die Mineralsalze, die in darüber liegenden Bodenschichten zu finden sind.

Für die Entstehung bestimmter Pflanzengesellschaften oder auch für ertragreiche Böden sind bestimmte Bodenverhältnisse Voraussetzung, z.B. ein bestimmter pH-Wert und bestimmte Ionen in Mindestkonzentrationen.

### **Quantitativ bedeutsame Kationen für die Pflanze sind:**

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $(\text{NH}_4^+)$

Als Alkali- und Erdalkalimetallionen sind diese Kationen eher basisch. Die Pflanze nimmt basische Ionen selektiv auf und schleust im Austausch dazu Protonen  $\text{H}^+$  (sowie falls vorhanden unerwünschte  $\text{Al}^{3+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$ ) aus. Das führt zu einer zunehmenden Versauerung im Boden.

### **Wichtig sind ebenso die nur in geringen Mengen notwendigen Spurenelemente:**

Bor, Eisen, Germanium, Chlor, Kupfer, Kobalt, Molybdän, Mangan, Selen, Schwefel, Silizium, Vanadium, Zink

### **Gelegentlich benötigen Pflanzen auch kleinste Mengen an:**

Arsen, Cadmium, Chrom, Fluor, Iod, Nickel, Titan, Zinn

Beachte: Diese Elemente werden nur in ionogener Form (als Ion) aufgenommen!

### Mineralsalzgehalt von Böden und ihre Auswirkungen (die Minimalfaktoren)

Böden unterscheiden sich hinsichtlich ihres Gesteins. Je nach Gestein, werden durch Verwitterung also andere Mineralsalze freigesetzt. Dies bestimmt maßgeblich das Aussehen und Vorkommen der auf dem Boden wachsenden Vegetation. Die Vegetation ihrerseits bestimmt welche Tierarten in dem Gebiet vorkommen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Vergesellschaftungen bzw. Pflanzengesellschaften. In Mitteleuropa liegt als Pflanzengesellschaft oft ein Luzulo-Fagetum<sup>2</sup> vor.

Stimmt die Mischung an Mineralsalzen für eine bestimmte Pflanzenart, so sind bei guter Versorgung mit Mineralsalzen die Wurzellänge, das Blattwachstum und die Pflanzengröße optimal ausgebildet.

Wenn beispielsweise eine Pflanze keimt, dann kann der Keimling von den im Samen gespeicherten Nährstoffen eine Zeit lang leben. Wenn diese verbraucht sind, muss der jungen Pflanze eine andere Quelle für Salze zur Verfügung stehen. Mineralsalze werden mit dem Wasser über die Wurzeln aufgenommen.

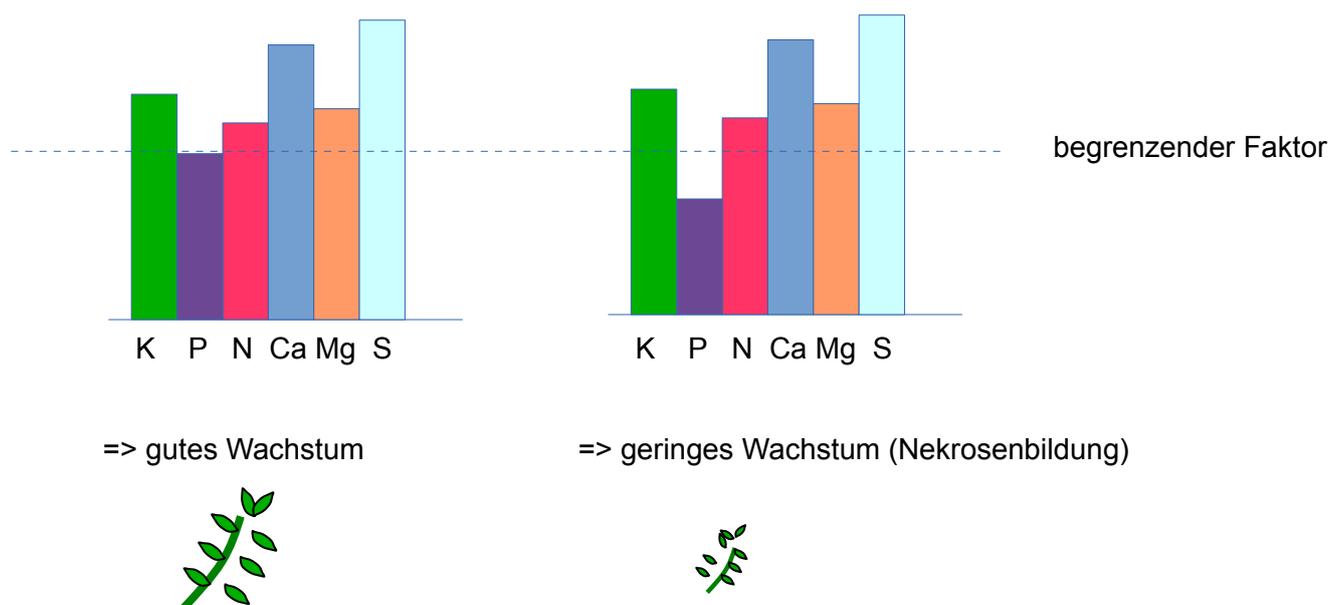
Aufmerksam wurde man schon in der Antike auf die Wichtigkeit des Bodens und seiner enthaltenen Salze. Wurde auf einem Acker mehrere Jahre das gleiche Getreide gepflanzt, wurden die Pflanzen von Jahr zu Jahr kleiner. Der Pflanzenwechsel (Fruchtwechselwirtschaft: z.B. Getreide - Rüben - Kartoffeln - Klee (ohne Brache!)) und eine unterstützende Düngung beugen diesem heute vor. Im Mittelalter verwendete man die Dreifelderwirtschaft.

Fehlen bestimmte Salze im Boden, so äußert sich dies in einem anormalen Längenwachstum des Sprosses, so wie fehlender oder unvollständiger Ausbildung der Blattpigmente oder kümmerhaften Wuchses. Die wichtigsten Salze sind K, P, N, Ca, Mg, S, Fe.

Der Darmstädter Chemiker Justus von Liebig (1803-1873) fand heraus, dass das Pflanzenwachstum unmittelbar vom Angebot an Mineralsalzen abhängt:

**Zeigt eine Pflanze trotz ausreichender Sonnenstrahlung und Wasserversorgung kein normales Aussehen, dann fehlen in der Regel Mineralsalze und Spurenelemente.**

**Die wichtigsten sind: Calcium-, Eisen-, Kalium-, Phosphor-, Magnesium-, Natrium-, Schwefel- und Stickstoffionen<sup>3</sup>.**



<sup>2</sup> =Hainsimsen-Buchenwald

<sup>3</sup> bitte beachten, bei Spurenelementen (der Name ist schon Unsinn!) und Mineralsalzen meint man immer die Ionen!

## Mangelsymptome bei Pflanzen

### Ältere Blätter zuerst und am meisten betroffen

Die ganze Pflanze ist betroffen: die unteren Blätter vergilben, werden trocken und fallen dann ab. Das Wachstum ist gehemmt, die Stängel oft dünn. Die Wurzel wächst eher lang mit wenigen Seitenwurzeln:

- Pflanzen hellgrün => **Stickstoffmangel (N)**
- Pflanzen dunkelgrün, Anthocyanbildung => **Phosphormangel (P)**

Die Mangelsymptome sind nur an einigen Stellen (lokal), Die untere Blätter sind meistens nicht trocken, dafür aber fleckig (chlorotisch):

- Blätter sind von der Form sehr typisch und haben keine tote, eingetrocknete Stellen (= Nekrosen). Blattadern sind grün, Anthocyanbildung, Blattspitzen aufwärts gerollt, Stängel auffallend dünn => **Magnesiummangel (Mg)**
- Blätter haben wenige und kleinen Nekrosen, meist an Blattspitzen und Rändern, Stängel sind auffallend dünn => **Kaliummangel (K)**
- Blätter haben große Nekrosen, welche über das ganze Blatt verteilt sind. Auch die Blattadern sind betroffen. Die Blätter sind meist dick, aber die Internodien kurz. Bei Obstbäumen liegen sehr kleine Blätter vor („Zwergblatt“) => **Zinkmangel (Zn)**

### Nur jüngere Blätter und Sprossspitze betroffen

Die Sprossspitzen sterben ab, junge Blätter sind anfangs verformt:

- Die Spitzen der jungen Blätter sind zuerst hakenförmig aufgebogen, sterben dann aber von der Spitze und den Rändern her ab. Wurzeln extrem kurz (mikrig!) => **Calciummangel (Ca)**
- junge Blätter sind erst hellgrün, sterben dann von der Basis her ab. Pflanze brüchig => **Bormangel (B)**

B. Sprossspitzen verbleiben am Leben, junge Blätter chlorotisch:

- Nekrosen sind über das ganze Blatt verteilt, Blattadern netzartig grün => **Manganmangel (Mn)**
- Typisch keine Nekrosen, junge Blätter sind fast weiß, Blattadern grün. Stängel kurz und dünn. => **Eisenmangel (Fe)**

### Die Hoagland Nährlösung (1933)

Diese Nährlösung ist die am meisten verwendete. Sie wurde von Hoagland und Snyder 1933 entwickelt und dann von Hoagland und Arnon in 1938 überarbeitet und dann schließlich von Arnon 1950 noch ein weiteres Mal verfeinert.

#### Zubereitung von Hoagland-Nährlösung

##### Zusammensetzung

##### Makronährsalze

$\text{KNO}_3$	202 g/l	entspricht 2 mol/l
2M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236 g/0.5 l	entspricht 2 mol/l
Fe (als EDTA-Chelat)	15 g/l	
2M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	493 g/l	entspricht 2 mol/l

##### Spurenelemente

$\text{H}_3\text{BO}_3$	2.86 g/l	
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81 g/l	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22 g/l	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.08 g/l	
$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.09 g/l	
(oder $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	0.12 g/l	

##### Phosphate

1M $\text{KH}_2\text{PO}_4$	136 g/l	entspricht 1 mol/l
-----------------------------	---------	--------------------

#### Zusatzinformationen:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Hoagland\\_solution](https://en.wikipedia.org/wiki/Hoagland_solution)

### **Der Boden, seine Fruchtbarkeit und ihre Nutzung in der Landwirtschaft**

In der Landwirtschaft sind viele Böden heute durch intensiven Anbau arm an Stickstoff. Es gibt daher zwei Möglichkeiten dies zu ändern:

- a) Anbau und anschließendes Unterpflügen von Pflanzen, die Stickstoff aus der Luft binden (=Gründüngung)
- b) Düngung mit stickstoffhaltigen Salzen.

Ein solcher behandelter Boden lässt Pflanzen schneller wachsen und bringt größere Ernteerträge. Also Dünger werden v.a. Gülle oder Nitrate wie Ammoniumnitrat verwendet. Auch Gülle enthält Nitrate. Das Problem ist, dass Nitrate im Boden zu giftigen Nitriten reagieren können.

#### **Typische Mangelercheinungen:**

- kleiner Wuchs
- graue und welke Blätter
- Nekrosen (helle Stellen, an denen das Blatt scheinbar altert)

**Oft reicht in einziges fehlendes Mineralsalz, um Mangelercheinungen auszulösen.**

**Der Mangel eines Salzes kann übrigens nicht durch Gabe anderer Salze kompensiert werden  
=> Überdüngung ist nutzlos und belastet nur das Trinkwasser!**

### Liebig-Modell zur Versorgung mit Mineralsalzen: Die Minimum-Tonne

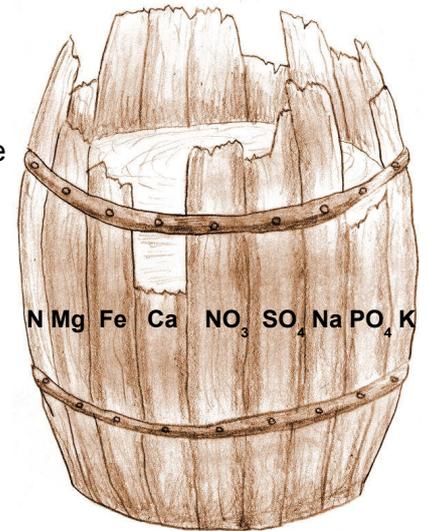
**Das Minimumgesetz von Justus von Liebig besagt, dass das Wachstum von Pflanzen durch die knappste Ressource eingeschränkt wird. Es gilt übertragen auch auf sehr viele Tierarten.**

Das Element, welches im Boden im geringsten Maße (im Verhältnis zum Bedarf der Pflanze an allen Mineralsalzen!) bestimmt maßgeblich das Wachstum, da es limitierend wirkt. (Zum Vergleich: eine Pfadfindergruppe läuft auch nur so schnell, wie der Langsamste)

Das Mineralsalz, welches bereits im Überfluss vorhanden ist, hat somit logischerweise keinen Einfluss auf das Wachstum!

Dieses Gesetz findet Anwendung sowohl bei der Düngung in der Landwirtschaft als auch beim Muskelaufbau/ Muskelerhalt von beispielsweise Leistungssportlern.

Es kann von den Mineralsalzen auch auf alle anderen abiotischen Faktoren erweitert werden und ist nach wie vor gültig. So kann ein Tier, welches in Bezug auf die Temperatur, Nährsalzversorgung usw. nahe dem Optimum dennoch nicht überleben, wenn der abiotische Faktor Wasser fehlt.



### Mangelercheinungen bei Pflanzen

<b>Magnesiummangel</b>	Blättern zeigen gelbe Flecken auf (=Chlorosen), Blattadern bleiben erstmal grün.
<b>Kaliummangel</b>	Pflanze blüht nicht, braunrote Verfärbungen an den Blattspitzen.
<b>Stickstoffmangel</b>	ganze Blätter vergilben
<b>Phosphatmangel</b>	Blätter sind dunkelgrün bis rötlich verfärbt.
<b>Eisenmangel</b>	Jüngere Blätter an den Triebspitzen hellen auf, vergilben und vertrocknen schließlich.

### **Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Dünger>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Liebig'sches\\_Minimumgesetz](https://de.wikipedia.org/wiki/Liebig'sches_Minimumgesetz)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Minimum-Tonne>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Pflanzengesellschaft> (höllisch interessant \*g\*)

<https://www.schmitzens-botanikseite.de/luzfag/luzfag2.htm> (super interessant)

## Mineralsalze als Dünger der Landwirtschaft

Wenn ein Bauer auf einem Feld immer das gleiche anbaut, kann man einen Ertragsrückgang nach 2 - 3 Jahren Anbau der gleichen Pflanzenart feststellen. Ursache ist das „Auslaugen“ des Bodens. Das heißt, die Mineralsalze der oberen Schichten des Bodens nehmen in ihrer Konzentration ab, da sie von Pflanzen aufgenommen werden. Die Pflanzen werden geerntet und fehlen dem Boden somit.

Aus diesem Grunde haben Bauern verschiedene Strategien, der Auslaugung vorzubeugen:

- Anbaumethode früher: Mehrfelderwirtschaft/ Dreifelderwirtschaft (Sommergetreide, Wintergetreide, Brache)
- Heute: Fruchtwechselwirtschaft (Getreide, Rüben, Kartoffeln, Klee - keine Brache)
- zusätzliches Düngen mit Mineralsalzen

### 1) Notwendigkeit der Mineralstoffdüngung

Wünschenswert für die Ernährung der Menschen weltweit sind eine Steigerung der Nahrungsmittelerzeugung durch

- a) Vergrößerung der landwirtschaftlichen Anbaufläche
- b) Düngung des Bodens mit Mineralstoffen (Justus von Liebig stellte als erster Stickstoffdünger her!)

### Man unterscheidet verschiedene Düngerarten:

- **Mineraldünger** enthält chemisch aufbereitete Pflanzennährstoffe sowie Mineralien.  
Enthalten sind z.B.
  - Stickstoff, gewonnen aus der Luft
  - Phosphat, gewonnen aus Gesteinen und Schlacke
  - Kaliumsalze (Kalidünger) aus Abfallsalzen von Steinsalzlager
- **Volldünger** (z. B. Blaukorn)  
12% Phosphor, 12% Stickstoff, 17% Kaliumanteile, Spurenelemente
- **Gründüngung:** Pflanzen und Pflanzenbestandteile werden untergepflügt:  
Klee, Wicken und viele mehr.  
Eine Besonderheit stellen dabei Lupinen dar, denn diese können mithilfe von Knöllchenbakterien in den Wurzeln Stickstoffverbindungen der Luft speichern!
- **Fakaliendüngung** mit Mist, Jauche, Gülle, Guano

### 2) Dosierung des Mineralstoffdüngers

Bei richtiger Düngung sind Nährstoffangebot und Nährstoffbedarf der Pflanze im Gleichgewicht. Der Zugegebene Dünger entspricht dem Bedarf der Pflanzen und nichts gelangt in das Grundwasser. Dies ist allerdings fast unmöglich zu messen. Landwirte und Gärtner gehen dabei eher von Erfahrungswerten aus. Eine mögliche Folge kann die Unterdüngung, aber häufiger, die Überdüngung sein.

## Veränderung des Bodens

### a) Ursache für die zunehmende Versauerung des Bodens:

Mehrere Faktoren verändern den Boden langfristig. Dazu gehören nicht nur anthropogene Einflüsse, sondern auch normale biologische Vorgänge.

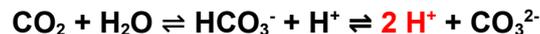
#### 1. Humides Klima:

In unseren Breitengraden ist der Feuchtigkeitseintrag durch Niederschläge größer als die Verdunstung durch Sonneneinstrahlung und Wärme. Das Niederschlagswasser erreicht den Boden und versickert nach unten. Dabei werden Mineralien des Bodens in tieferliegende Schichten und schließlich in das Grundwasser transportiert.

Es kommt in Folge also zu einer Verarmung an Mineralien, besonders an basischen Kationen. Man spricht auch von einer „Entbasung des Bodens durch Niederschlag“.

Der Boden wird als Folge in der Tendenz also langfristig (also auch ohne saueren Regen!) leicht sauer (pH-Wert < 7).

Zusätzlich wird durch Kohlenstoffdioxid aus Luft, durch Abbau von toten organischen Material und aus dem Stoffwechsel (Zellatmung) der sehr zahlreichen Bodenbakterien und Bodenorganismen **Protonen** freigesetzt, welche den Boden weiter „versauern“.



Durch beide Faktoren kommt es zur Einstellung eines Niederschlags-pH-Werts von 5,5.

#### 2. Nährstoff-Aufnahme durch die Pflanze:

Wurzeln nehmen nicht nur Wasser auf. Auch Mineralsalze, insbesondere die Kationen werden von Wurzeln aufgenommen. Da durch die Aufnahme von Ionen durch die Zellmembranen im Innenraum positive Ladungen entstehen würden, die weitere Kationen abstoßen und so die Aufnahme unmöglich machen würden, gibt die Pflanze im Wechsel für jedes aufgenommene Kation Protonen oder organischen Säuren nach außen ab. In der Folge wird das umliegende Erdreich sauer.

#### 3. Protonen aus Abbau organischer Substanz durch Bakterien

Beim Abbau von Kohlenstoffverbindungen sowie der Stickstoff-Mineralisation (=Ammonifikation und Nitrifikation) werden Protonen freigesetzt. So wirkt besonders der Streuabbau von Coniferen und Ericaceen stark versauernd. Den sauren Boden Podsol findet man daher besonders unter diesen Pflanzen.

#### **4. Durch die Ernte (Holzernte, Ackerernte)**

Beim Ernten von Anbauflächen werden Pflanzen und Früchte entfernt. Somit werden die von diesen Pflanzen aufgenommenen Mineralsalze entfernt.

Würde nicht geerntet werden, würden durch Destruenten und Bodenbakterien diese Mineralsalzionen dem Boden wieder zugefügt werden. In solchen geschlossenen Kreisläufen findet dagegen ein Stoffkreislauf statt:

Nährstoffaufnahme - Abgabe mit der Streu - Mineralisation

Man spricht als Folge von einer Auslaugung, bzw. einer Verarmung des Bodens bzw. einer Mineralsalzentnahme aus dem Kreislauf.

Die Folge ist wieder eine Verarmung des Bodens an Nährstoffen, welche zu einer pH-Absenkung führt (gleicher Mechanismus wie bei der Versauerung durch Niederschläge allerdings in die andere Richtung).

Eine kompensierende Düngung durch den Landwirt ist unter Umständen also notwendig. Enthält dieser Dünger aber größere Anteile an Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), so muss der Bauer wissen, dass auch dies die Versauerung vorantreibt, da das Ammoniumkation ja bei der Aufnahme in die Wurzel wieder zu einer Ausschleusung von Protonen ausgeschleust führt.

#### **5. Anthropogene Einflüsse:**

Durch Eintrag von Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) in die Luft durch Verbrennungen, heize, Verkehr und Müllverbrennung kommt es zu saurem Regen.

Normalerweise sollte Regen einen pH von ca. 5,5 haben, tatsächlich liegt er in manchen Gebieten, vor allem über Großstädten bei pH=4.

#### **Die Reaktion des Bodens auf die Versauerung**

Die Bodenkonzentration an Protonen durch die vorher genannten Vorgänge ist abhängig von:

- den geologischen Ausgangsbedingungen und der Zusammensetzung des Gesteins und des Bodens
- den wirksamen Puffersystemen.

## Puffersysteme im Boden

Puffer sind chemische Lösungen, welche ihren pH-Wert trotz Zugabe von Säure oder Lauge nicht oder kaum ändern. Diese Lösungen „puffern“ die Veränderung also ab. Puffer bestehen immer aus Säurerestionen und ihren konjugierten Säuren. Gibt man aber Mengenmäßig zuviel Säure oder Lauge hinzu, so „kippt“ der Puffer um und die Änderung kann nicht mehr kompensiert werden.

Im Boden findet man eine ganze Menge dieser Puffer, welche mit ihren Anionen und den Säuren den pH-Wert recht stabil halten. Kippt ein Puffer, so gibt es jeweils einen darunterliegenden, welcher dann aktiv wird.

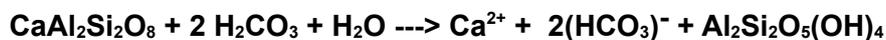
Im Folgenden sind die Bodenpuffer nach ihrem pH-Wert geordnet

### 1. Kohlensäure-Carbonatpuffersystem (pH 6,5 - 8,5)



- $\text{Ca}^{2+}$  dominiert im Boden als Kation,  $(\text{HCO}_3)^-$  dominiert als Anion
- An Kalkstandorten kommt es zur Überbetonung von  $\text{Ca}^{2+}$ , dieses Ion wird auch am stärksten ausgewaschen
- kalkhaltiges = hartes Grundwasser).
- Wir finden dieses Puffersystem auf Kalkstandorten, die Humusform ist „Mull“,
- es kommt zu einem schnellen Umsatz der Streu.
- Diesen Puffer findet man beim Bodentyp: „Kalkboden“.

### 2. Kohlensäure-Silikat-Puffersystem (pH 5,0 - 6,5)



Feldspat

Kaolinit

- Wirksam sind auch andere Silikate (z.B.  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ).
- Das Puffersystem ist durch weitere Silikate variabler, da auch viele andere wirksame Kationen aus dem Austauscher (s.u.) stammen können.
- Böden mit diesem Puffersystem sind von der Nährstoffsituation für Pflanzen am günstigsten.
- Diesen Puffer findet man beim Bodentyp: „Eutrophe Braunerde“.

### 3. Austauscher-Puffersystem (pH 4,2 - 5)

- Die Zusammensetzung des Austauschers ist sehr variabel, das Puffersystem ist dadurch schlecht charakterisiert (eigentlich nur durch den pH-Bereich).
- Die Auswaschungsgefahr von  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ist groß.
- Es kommt kein freies Aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) vor, nur  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .
- Diesen Puffer findet man am Übergang von Mull zu Moder.
- Diesen Puffer findet man beim Bodentyp: „mesotrophe Braunerde“

**4. Aluminium-Puffersystem (pH 3,8 - 4,2):**



- Die Aluminiumverbindungen sind variabel.
- Andere Kationen als  $\text{Al}^{3+}$  sind fast völlig ausgewaschen.
- Es kommt zum Auftreten von freiem  $\text{Al}^{3+}$  im Boden, das auf viele Pflanzen toxisch wirkt.
- Diesen Puffer findet man beim Bodentyp: „saure Braunerde“ (oligotroph), Podsolierung.

**5. Eisen-Puffersystem (pH < 3,8):**



- Hier kommt nicht nur freies  $\text{Al}^{3+}$  vor, sondern auch viel freies  $\text{Fe}^{3+}$ . Auch dieses ist für viele Pflanzen toxisch sowie wachstumshemmend.
- Diesen Puffer findet man an Sonderstandorten, zum Beispiel unter Heide, unter Nadelholzgewächsen wie Coniferen, vor allem, wenn dort Rohhumus vorliegt.

Pufferbereich	pH-Werte	Nährstoffverhältnisse	Bemerkung
Carbonat-Puffer	6,2 bis 8,6 (neutral)	$\text{Ca}^{2+}$ -, $(\text{HCO}_3)^-$ Überschuss, Kaliumionen und Spurenelemente	Anionenüberschuss (Phosphat-, Fe-Fällung)
Silikat-Puffer	5,0 bis 6,2 (schwach sauer)	wenig Ca, Mg, K	Kationen-/Anionenverhältnis ausgeglichen
Austauscher-Puffer	4,2 bis 5,0 (mäßig sauer)	Auswaschung von Ca, Mg, K	Kationenüberschuss (Al)
Aluminium-Puffer	3,0 bis 4,2 (stark sauer)	starke bis vollständige Kationenauswaschung => keine Kationen!	Überschuss an $\text{Al}^{3+}$ (Toxizität)
Eisen-Puffer	< 3,0 (extrem sauer)	extremer Nährstoffmangel und Al-, Fe- Toxizität	$\text{Fe}^{3+}$ und $\text{H}^+$ vorherrschend

**Zusatzinformationen:**

[https://de.wikipedia.org/wiki/Pufferbereich\\_\(Bodenkunde\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Pufferbereich_(Bodenkunde))