Lehrmodul zur Weiterbildung von Fachkräften im Bereich Geologie und Bodenfruchtbarkeit

Gabala, Aserbaidschan.

30. September – 4. Oktober 2019

Autor und Copyright
Helmut Rogler
https://www.HelmutRogler.de

Übersetzung und Dolmetscher:
Akbar Jabbarov

Finanzierung:
Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit

Durchführung:
Gesellschaft für Prozess- und Projektmanagement
in der Agrarwirtschaft
Dr. Bernhard Nörr

Quellennachweise werden im Text angegeben.

Herzlichen Dank den Quellenautoren für die Informationen und
Herrn Akbar Jabbarov für die Übersetzung!

FÜR DIE BODENBILDUNG WICHTIGE GEOLOGISCHE ZEITALTER 1

1. Mesozoikum (Erdmittelalter) 1
1.1 Trias 1
1.2 Jura 2
1.2.1 Vorgänge im Germanischen Becken der Jurazeit 2
1.3 Kreide 2

2. Känozoikum (Erdneuzeit) 3
2.1 Paläogen und Neogen 3
2.1.1 Kontinente erhalten ihr heutiges Aussehen. 3
2.1.2 Entstehung der Alpen und des Alpenvorlandes 3
2.2 Quartär 4
2.2.1 Eiszeiten 4
2.2.2 Moränenbildung 4
2.2.3 Entstehung der heutigen Lößgebiete 4

BODENFRUCHTBARKEIT 5

1. Beeinflussende Faktoren der Bodenfruchtbarkeit 5

2. Geologie und Gesteinsarten 6
2.1 Geologische Karte von Aserbaidschan 6

3. Vorgänge der Bodenbildung 7

4. Verwitterung der Gesteine 7
4.1 Physikalische Verwitterung 7
4.2 Chemische Verwitterung 7
4.2.1 Auflösen von Salzen durch Wasser 7
4.2.2 Auflösen von Kalkgestein durch Säuren 7
4.3 Gesteine sind unterschiedlich leicht verwitterbar 8

5. Minerale 8
5.1 Primäre Minerale 8
5.1.1 Quarz (SiO_2) 8
5.1.2 Silikate 9
5.1.2.1 Glimmer 10
5.1.2.2 Feldspat 10
5.1.2.3 Pyroxene und Amphibole 11
5.2 Sekundäre Minerale (Tonminerale) 11
5.2.1 Entstehung 11
5.2.2 Schichtstruktur 11
5.2.3 Warum sind Tonminerale negativ geladen? 13
5.2.4 Pflanzenbaulich wichtige Eigenschaften 13

6. Kolloide und Austauschkapazität 15
6.1 Dauerhafte (permanente) Kationenaustauschkapazität 16
6.2 Variable (pH- abhängige) Austauschkapazität 16
6.3 Anionenaustauschkapazität 17
6.4 Austauschvorgänge und Basensättigung 17
6.5 Größenordnung und Schätzung der Kationenaustauschkapazität (KAK) 18
6.5.1 Austauscheroberflächen 18
6.5.2 Größenordnung der KAK in Ackerböden 19
6.5.3 Schätzung der KAK „im Feld“ 19

7. Bodenarten 20
7.1 Bodenartendreieck 20
7.2 Bestimmungsmethoden für die Korngrößenzusammensetzung 21
7.2.1 Fingerprobe im Feld 21

8. Die Hohlräume des Bodens (Porenverteilung, Porosität) 22
8.1 In Deutschland gibt es ein Bodenschutzgesetz 22
8.2 Größenverteilung der Hohlräume 23
8.3 Vergleich des Bodens mit einem Schwamm 24
8.4 Praktische Schlussfolgerungen für den Pflanzenbau 25
8.4.1 Sandböden 25
8.4.2 Tonböden 25
8.4.3 Lehmböden 25

9. Bodenwasser 26
9.1.1 Schätzung der Wasserspeicherfähigkeit des Boden 26
9.1.2 Messung der Bodenfeuchte für Bewässerungsempfehlungen 27
9.1.3 Beratungsservice in Deutschland 27
9.2 Bewässerung in ariden Gebieten 28
9.2.1 Problem Versalzung der Böden 28
9.2.2 Integrierte Maßnahmen 28

10. Humus 30
10.1 Mineralisation und Humusaufbau 30
10.2 Humusbildung ist standort- und bodenabhängig 31
10.3 Eigenschaften der Humusstoffe 31
10.4 Humusgehalt und Humusbilanz 32

11. Bedeutung des pH-Werts 33
11.1 pH- abhängige Vorgänge im Boden 33
11.2 Ursache von Säureschäden 33
11.3 Optimaler pH-Wert 34

12. Das Bodenleben als wichtiger Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit 34

13. Spatendiagnose 35
13.1 Praktische Vorgehensweise 36
13.1.1 Beurteilung eines Bodenblocks 36
13.1.2 Abwurfprobe.....37
13.2 Beurteilung der Bodenoberfläche 37

BODENBILDUNG..... 38

Faktoren der Bodenbildung.....38
1.1 Verwitterung des Ausgangsgesteins und Mineralbildung 38
1.2 Humusbildung 38
1.3 Versauerung, Kalkauswaschung.....38
1.4 Tonverlagerung.....39
1.5 Pseudovergleyung.....39
1.6 Podsolierung 40
1.7 Vergleyung 40
1.8 Erosion.....41
1.9 Turbation oder Bodenvermischung 41
1.9.1 Bioturbation 41
1.9.2 Hydroturbation.....41

2. Geologieabhängige Bodentypen und ihre Eigenschaften 42
2.1 Deutsche Bezeichnung der Bodenhorizonte 42
2.2 Bodentypen auf quarz- und silikatreichen, meist tonarmen Gesteinen 43
2.3 Lockeres, durchlässige Sedimente mit mittlerem Kalk - und Tongehalt.....44
2.4 Jura- Sedimente (Kalkgestein).....45

Für die Bodenbildung wichtige geologische Zeitalter

Quellen:
http://www.paleoweb.net/pal-ges/pal-wann.htm
http://de.wikipedia.org/wiki/Erdzeitalter
http://www.azerbaijan.az/_Maps/_geologic_r.html

Für die Entwicklung unserer heutigen Böden sind wichtig die geologischen Zeitalter…

- Trias (250 Mio Jahre)
- Jura (200 Mio Jahre)
- Kreide (150 Mio Jahre)
- Paläogen oder frühes Tertiär (65 Mio Jahre)
- Neogen oder spätes Tertiär (25 Mio Jahre)
- Quartär (1,8 Mio Jahre)

1. Mesozoikum (Erdmittelalter)

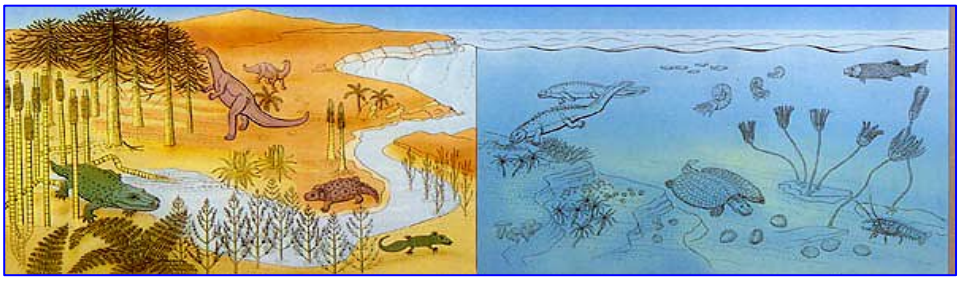
Quelle: http://www.paleoweb.net/pal-ges/pal-wann.htm

1.1 Trias

250 - 205 Mio Jahre

Der Name Trias bedeutet „Dreiteilung“ des Zeitalters in

Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper.



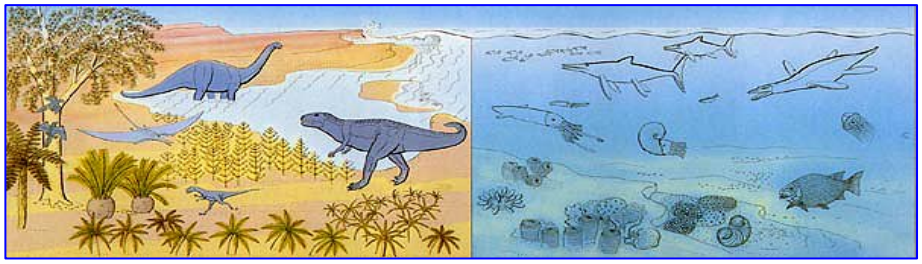
Ablagerungen im „Germanischen Becken“:

- Buntsandstein:
  Germanisches Becken trocknet aus. Variszische Gebirgszüge werden durch Wind und Regen abgetragen, der Gebirgsschutt lagert sich im ehemaligen Meeresbecken ab.
- Muschelkalk
  Ausbildung eines flachen Meeres, in dem durch Eindampfung und durch Überreste abgestorbener Tiere (Muscheln!) kalkhaltige Ablagerungen entstehen.
- Keuper:
  Gebirgsbildungen, Schuttmaterial aus diesem Gebirge füllen das Germanische Becken auf. Es entstehen dadurch sehr unterschiedliche sanige aber auch tonige Sedimente

1.2 Jura

Quelle: http://www.paleoweb.net/pal-ges/pal-wann.htm

205 - 135 Mio Jahre



1.2.1 Vorgänge im Germanischen Becken der Jurazeit

In dem Ur-Meer „TETHYS“ entstehen verschiedene kalkhaltige Ablagerungen. Je nach Landnähe, Wassertiefe, Temperatur u.ä. finden verschiedene Meeresablagerungen statt:

1. **Lias (Schwarz-Jura)**: dunkle Schiefertone.
2. **Dogger (Braun-Jura)**: Toneisensteine, die z.T. zur Bildung von Eisenerzlagerstätten führten
3. Malm (Weiß-Jura):In Süddeutschland entstehen zusammen mit anderen Kalkablagerungen mächtige, weiße Kalkschichten durch Schwamm- und Korallenriffe.

1.3 Kreide

135 - 65 Mio Jahre

Vorgänge in Mitteleuropa zur Kreidezeit

- Durch Plattenverschiebungen…
  stoßen die Gebiete des heutigen Italien und des Balkans mit Europa zusammen…

Beginn der Alpen-Entstehung

http://andiebert.gmxhome.de/diplomarbeit/seite1.html

Gegen Ende der Kreidezeit sterben die Saurier aus.

(wahrscheinlich aufgrund eines Meteoriteneinschlags)

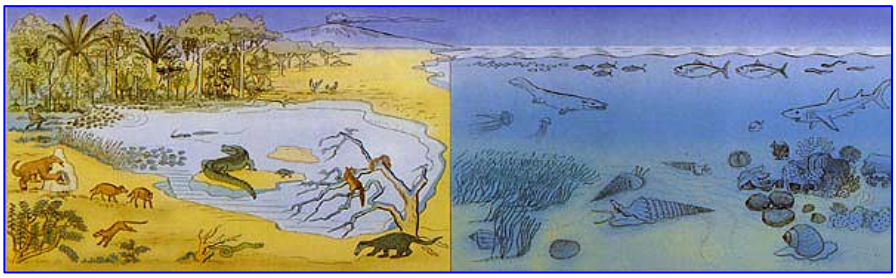
2. Känozoikum (Erdneuzeit)

Quelle: http://www.paleoweb.net/pal-ges/pal-wann.htm

- Paläogen (alter Begriff Tertiär)
  65 bis 24 mio. J.
- Neogen 24 bis 1,8 mio Jahre
- Quartär 1,8 Mio Jahre bis heute

2.1 Paläogen und Neogen

65 - 1,8 Mio Jahre



Entfaltung der Säugetiere und der Blütenpflanzen

2.1.1 Kontinente erhalten ihr heutiges Aussehen.

- Zu Beginn des Tertiärs besteht „kurzzeitig“ eine Landbrücke zwischen Europa und Nordamerika, die einen Austausch der Säugetiere ermöglicht.
- Durch Plattentektonik (Kontinentalverschiebungen) im Jung-Tertiär…

entstehen die Alpen und das Himalajagebirge

2.1.2 Entstehung der Alpen und des Alpenvorlandes

Quelle: http://andiebert.gmxhome.de/diplomarbeit/seite1.html

Zu Beginn werden die Alpen zum Hochgebirge.

↓

Dadurch entsteht im Alpenvorland ein Meeresbecken,

(Das heutige Tertiäre Hügelland Südbayerns besteht
z.T. aus den Ablagerungen dieses Tertiär-Meeres)

↓

Gegen Ende wird das Alpenvorland
(Molassebecken) zum Festland.

↓

intensiver Vulkanismus.

2.2 Quartär

Quelle: http://www.paleoweb.net/pal-ges/pal-wann.htm

1,8 Mio Jahre bis heute

2.2.1 Eiszeiten

Temperaturschwankungen (Verschiebungen der Erdachse?) verursachen weltweit Kalt- und Warmzeiten in den gemäßigten und Regen- und Trockenzeiten in den warmen Zonen.

- In den Kaltzeiten kommt es zu den bedeutendsten Vereisungen der Erdgeschichte (über 30% der Festlandoberfläche ist vergletschert).
- der Meeresspiegel sinkt und es bilden sich Landbrücken (z.B. Alaska-Russland)
- Nach der letzten Eiszeit (vor ca. 10.000 Jahren) dringt das Meer zu den heutigen Küstenlinien vor.

Während der letzten vier Eiszeiten stoßen die Gletscher…

- in Süddeutschland bis „vor München“
- in Norddeutschland über Skandinavien bis „vor Hamburg“

2.2.2 Moränenbildung

Zwischen den Eiszeiten (Warmzeiten) entstehen riesige Schmelzwasserflüsse, die Gebirgsschutt mitnehmen und am Fuße der Gletscher Ablagerungen entstehen lassen (**Moränenhügel**)

2.2.3 Entstehung der heutigen Lößgebiete

- Der nach der jeweiligen Eiszeit vorhandene Gebirgsschutt (Mörane) enthielt neben Schotter und Sand auch den feinkörnigeren schluffreichen Löß.
- Durch Temperaturunterschiede zwischen Gletscher und schneefreien Gebieten entstanden **Stürme**, die den Löß **aus dem Gebirgsschutt** herauswehten.

Anwehung von Schluff und Feinsand

Es entstanden z.T. sehr mächtige Lößaufwehungen (Fränkische Gau- und Niederbayerische Gäulagen).

Bodenfruchtbarkeit

http://hypersoil.uni-muenster.de/0/05/17.htm

1. Beeinflussende Faktoren der Bodenfruchtbarkeit

Der Boden ein sehr kompliziertes physikalisches, chemisches und biologisches System.
Der Landwirt muss diese Systeme beachten und durch seine Bewirtschaftungsmaßnahmen versuchen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und zu erhöhen.

Die **Bodenfruchtbarkeit** wird beeinflusst durch…

- das Gestein,
- den daraus entstandenen Boden
- den Gehalt an organischen Bestandteilen (Humus),
- das Bodenleben
- Witterungs- und Klimaeinflüsse
- den Menschen selbst

Im Folgenden soll auf die einzelnen Merkmale und Zusammenhänge der Bodenfruchtbarkeit eingegangen werden. Dies beinhaltet die Behandlung der...

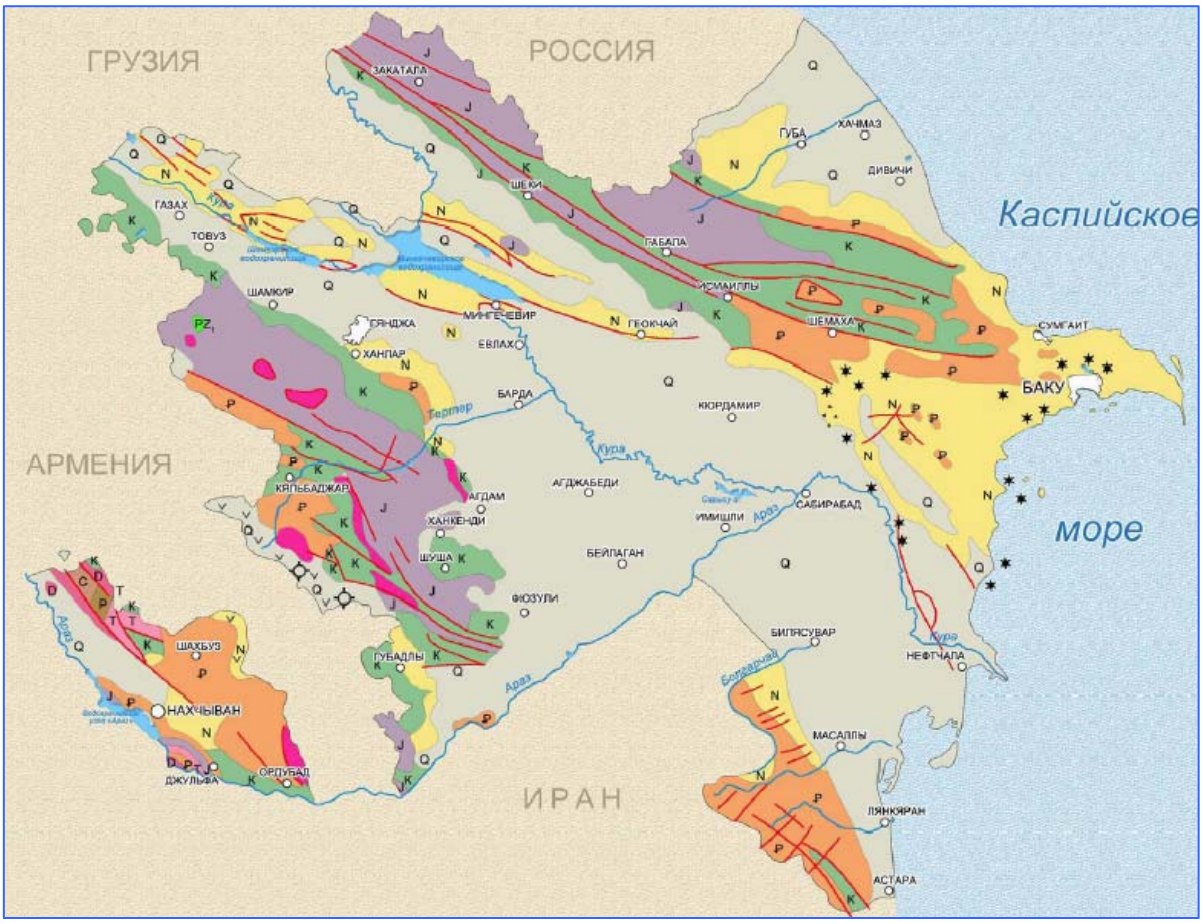
1. Gesteine und deren Verwitterungsprodukte wie
   a) primäre und
   b) sekundäre Minerale und ihre
      - chemischen und
      - physikalischen Eigenschaften
2. Bodenarten und ihre Eigenschaften wie...
   a) Nährstoffverhältnisse (natürliche Freisetzung, Speicherung und Festlegung)
   b) pH-Wert / Kalkgehalt
   c) Bearbeitbarkeit
3. bodenartenabhängig entstandenen Bodentypen und ihre pflanzenbaulichen Eigenschaften
4. bodenart- und bodentypabhängigen physikalischen Eigenschaften wie
   a) Porenvolumen und
   b) Porenverteilung und die
   c) Auswirkungen auf Wasserhaushalt und Lufthaushalt
5. standortabhängigen Gehalte an organischen Bestandteilen (Humus)
6. biologischen Aktivität des Bodens, d.h. Art und Umfang des Bodenlebens
7. pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit

Nach dem Bodenschutzgesetz ist jeder Landwirt im Rahmen der "guten fachlichen Praxis" dazu verpflichtet!

2. Geologie und Gesteinsarten

2.1 Geologische Karte von Aserbaidschan

Quelle: http://www.azerbaijan.az/_Maps/_geologic_r.html



КАЙНАЗОЙСКАЯ ЭРА			
Q Отложения четвертого периода	N Неогенные отложения	P Полеогенные отложения	
МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭРА			
K Меловые отложения	J Юрские отложения	T Триасовые отложения	
ПОЛЕОЗОЙСКАЯ ЭРА			
P Пермские отложения	C Каменно-угольное отложение	D Девонские отложения	PZ_1 Нижне Палеозойские отложения
МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ			
Интрузивные породы	V Эффузивные породы		
Грязевые вулканы	Брекчия грязевого вулкана	Центры извержения вулканов	Тектонические разрывы

Das Gebiet um Gabala liegt geologisch im „Mesozoikum“ auf den Sedimenten…

- Jura (J):
  Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper
- Kreide (K)

Geologische Karten von Süddeutschland:

https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/kartendienste/umweltatlas/hinweis_gfa/index.htm

3. Vorgänge der Bodenbildung

Quelle: http://www.wzw.tum.de

Ein Boden (Pedon) entsteht in Abhängigkeit verschiedener Gesteinsarten (s. oben) und weiterer Faktoren, die nachfolgend erklärt werden.

4. Verwitterung der Gesteine

Quellen http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/02.htm

Die Verwitterung ist das...

- Zusammenwirken verschiedener chemischer und physikalischer Prozesse,
- welche die einzelnen Bausteine der Gesteine freisetzen und weiter um- und abbauen.
- Endprodukt ist der Boden mit seinen vom jeweiligen Ursprungsgestein abhängigen Eigenschaften (= Bodenfruchtbarkeit).

4.1 Physikalische Verwitterung

Temperatur- und Frostsprengung:

Die Gesteine haben keine einheitliche Färbung (sie können sehr unterschiedlich gefleckt sein) und sind sehr schlechte Wärmeleiter.

Das führt zu folgender Erscheinung bei Sonneneinstrahlung:

a) Dunkle Bereiche erwärmen sich schneller/ besser als helle Bereiche

b) Der äußere Bereich und der Sonne zugewandte Bereich erwärmt sich intensiver

Temperaturunterschiede führen zu Spannungen und Rissbildungen.

Wasser sickert in diese Risse...

Durch das Ausdehnen des Eises in den Ritzen wird das Gestein gesprengt. Sehr intensive Zerkleinerungswirkung (z.B. im Hochgebirge).

Salzsprengung...

Salzhaltiges Wasser sickert in die Risse und verdunstet. Die sich bildenden Salzkristalle nehmen einen größeren Raum ein und sprengen den Riss

4.2 Chemische Verwitterung

Quelle: http://www.wzw.tum.de

4.2.1 Auflösen von Salzen durch Wasser

- z.B. Kalksteine (Kalziumcarbonat $CaCO_3$)
- gipshaltige Gesteine (Kalziumsulfat $CaSO_4$)

4.2.2 Auflösen von Kalkgestein durch Säuren

Chemische Reaktion (läuft auch ab beim Entkalken der Kaffeemaschine):

$$\mathbf{CaCO_3 + H^+ = Ca^{2+} + HCO_3^- \text{ (wasserlöslich)}}$$

4.3 Gesteine sind unterschiedlich leicht verwitterbar

Gesteine mit grober Struktur (z.B. Granit, Tiefengestein) sind leichter verwitterbar als Gesteine mit feiner Struktur (z.B. Basalt).

Verwitterungsreihe verschiedener Gesteinsarten:

Verwitterung	Gesteinsart	daraus entstehende Böden...
schnell	Kalkgestein	flachgründig, tonreich (schwer), kalkhaltig
↓	Sandstein	sandig, sauer, z.T. tiefgründig (Braunerden)
mittel	Löß	tiefgründig, nährstoffreich, hohe nFK (s.später)
↓	Granit	grobsandig, sauer, nährstoffarm, flachgründig
langsam	Basalt	nährstoffreich, oft tiefgründig, lehmig

Auch Minerale sind sehr unterschiedlich verwitterbar:

Verwitterung	Silikatform	Eigenschaften...
leicht	Kettensilikate	sehr nährstoffreich, dunkel (z.B. im Basalt)
mittel	Glimmer	metallisch glänzend, nährstoffarm (in Granit)
schwer	Feldspat	verschiedene Formen, nährstoffreich
nicht möglich	Quarz	enthält keine Nährstoffe, Bestandteil reiner Sande (z.B. in Granit)

5. Minerale

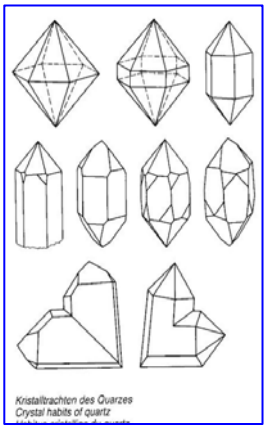
Quelle: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/03.htm!

5.1 Primäre Minerale

Primäre Minerale sind Bestandteile der Gesteine („Kristalle“) und geben ihnen ihre unterschiedlichen Eigenschaften (Farbe, Verwitterbarkeit, Nährstoffgehalt und Bodenfruchtbarkeit). Zu den Primären Mineralen gehören Quarz und Silikate

Ihre chemischen Verbindungen sind entstanden im glutflüssigen Magma bzw. bei der Abkühlung dieses Magmas.

5.1.1 Quarz (SiO_2)



Quarz ist ein sehr gleichmäßig geformter Kristall mit Silizium-Atomen, die von je zwei Sauerstoff-Atomen umgeben sind (SiO_2)

Aufgrund seiner kristallinen Struktur ist Quarz sehr hart und nicht verwitterbar. Quarz ist in Sandstein- und Granitverwitterungsböden in größeren Anteilen enthalten.

Quarz hat keine Bedeutung für die Pflanzenernährung, da...

- frei von Nährstoffen
- kein Ladungsträger (kein Nährstoffaustausch)

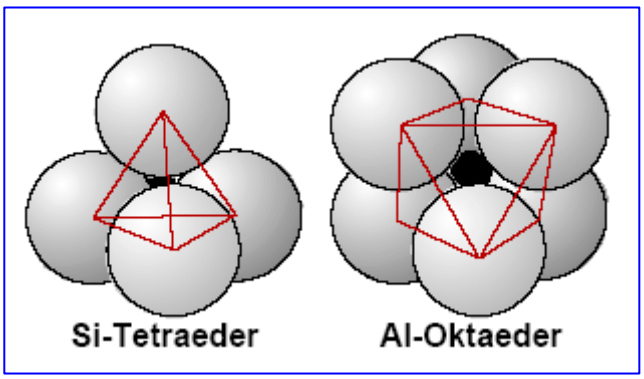
Info:http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/oxide_2_5.html

5.1.2 Silikate

Die Silikate sind eine Gruppe von Mineralen mit sehr großem Formenreichtum!
Verschiedene Gruppen sind:

a) Feldspate (= Gerüststrukturen)
b) Glimmer (Blattstrukturen)
c) Pyroxene, Amphibole (Kettensilikate)

a) Die Grundbausteine dieser Minerale...



- bestehen aus den Atomen Silizium und Aluminium, die über Sauerstoffatome jeweils miteinander verbunden sind.
- Es entstehen dadurch typische Silizium-Tetraeder und Aluminium-Oktaeder
- die großen grauen Kugeln sind die Sauerstoffatome, die kleinen schwarzen Kugeln jeweils Si oder Al

b) Silikate sind negative Ladungsträge

Bei der Entstehung der Silikate in der erkaltenden Lava wurde in den Kristallen z.T. an Stelle von Silizium (Si^{4+}) Aluminium (Al^{3+}), Magnesium (Mg^{2+}), Kalzium Ca^{2+} oder andere positive Nährstoff-Ionen (z.B. Spurenelemente) „eingebaut“. Dadurch entstanden...

negative Ladungsüberschüsse im Kristallgitter.

Praktische Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit:

- Silikate werden dadurch zu Trägern dauerhafter negativer Ladung.
- Sie halten dadurch positive Nährstoff-Ionen fest und werden so zum

Nährstoffspeicher

(s. auch Sekundäre Tonminerale).

c) Silikate verwittern und geben Nährstoffe frei...

Silikate sind leichter verwitterbar als Quarz, da sie nicht so gleichmäßig geformt sind. Sie enthalten auch Nährstoffe in ihren Kristallgittern. Bei der Verwitterung werden diese Nährstoffe z.T. freigesetzt:

Silikate sind natürliche Nährstoffquellen

5.1.2.1 Glimmer

Diese Silikate haben eine Blättchenstruktur, ähnlich wie die Tonminerale (nur sehr viel größer!)...

Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O -
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -
KKKKKKKKKKKK - Zwischenschichtkalium - KKKKKKKKKK
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -
Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O -
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -
KKKKKKKKKKKK - Zwischenschichtkalium - KKKKKKKKKK
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -
Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O - Al - O -
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -

- Silizium-Schicht
- Aluminium-Schicht
- Silizium-Schicht und
- dazwischen Kalium

Nach ihrem Nährstoffgehalt unterscheidet man…

- **Biotit**: Farbe schwarz, reich an Magnesium, Kalium
- **Muskovit**: Farbe weiß, reich an Aluminium und Kalium

Eigenschaften und Bedeutung für den Boden:

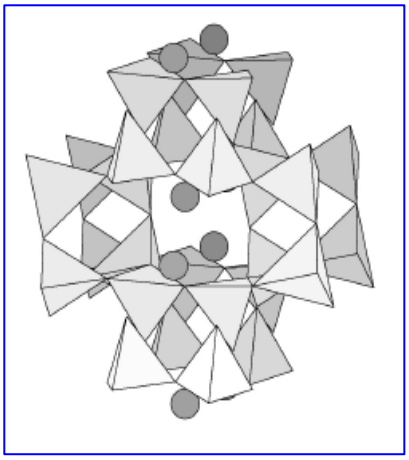
- leichte Verwitterung (Blättchen quellen auf)
- Kaliumlieferant
- Grundbaustein für Tonminerale

5.1.2.2 Feldspat

Quelle: http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/silicate.html

Die Si-Tetraeder sind über alle Ecken zu einem dreidimensionalen Raumnetz verknüpft. Ein Teil des Siliziums ist durch Aluminium ersetzt, so dass dadurch negative Gerüstladungen entstehen.

Diese negativen Ladungen werden durch Kationen wie Kalium, Natrium oder Kalzium ausgeglichen. Dadurch entstehen verschiedene Feldspate, die sich in ihrem Nährstoffgehalt unterscheiden wie z.B.



- **Orthoklas**, reich an Kalium
- **Albit**, reich an Natrium
- **Anorthit**, reich an Kalzium

Eigenschaften:

- relativ schlecht verwitterbar (Grund: Gerüststruktur)
- liefern Nährstoffe
- sind Grundbausteine für Tonminerale (s. dort!)

5.1.2.3 Pyroxene und Amphibole

Schwarze und dunkelgrüne Minerale (z.B. im Basalt), die meist eine Kettenstruktur haben. In den Ketten fand ein Ersatz der Si - Atome durch Al statt. Dadurch entstanden negative Ladungen (s. Feldspat), die zwischen den Ketten durch Ca-, Mg- und Fe - Ionen ausgeglichen werden.

Eigenschaften und Bedeutung für den Boden:

- sehr leichte Verwitterung
- sehr nährstoffreich, jedoch kaliarm !!
- Grundbaustein für Tonminerale

5.2 Sekundäre Minerale (Tonminerale)

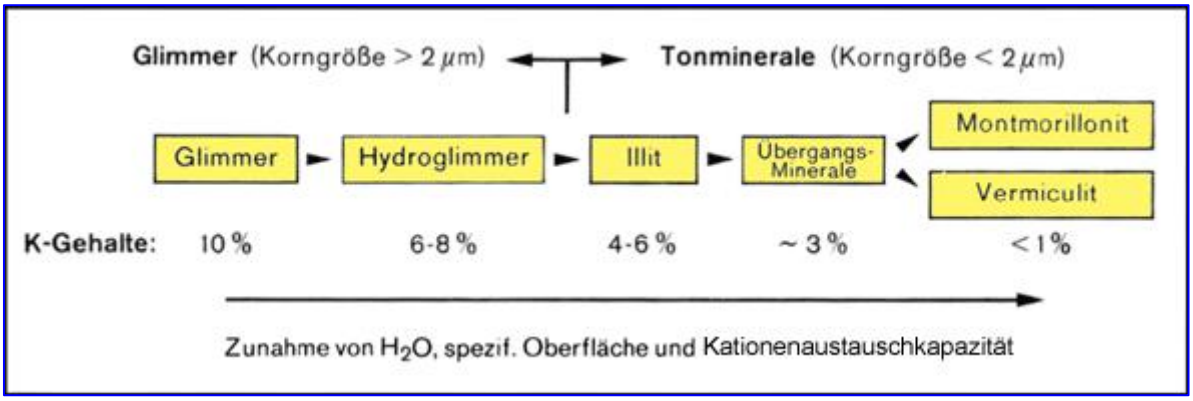
Quelle: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/03.htm

5.2.1 Entstehung

Tonminerale entstehen durch Verwitterung von Glimmer (primäres Mineral, s. oben):

Glimmer → Illit → Montmorillonit und Vermikulit

Dabei nimmt der Kaliumgehalt von 10% über 5% auf etwa 1% ab



5.2.2 Schichtstruktur

Die sekundären Minerale (Tonminerale) haben ähnlich wie primäre Minerale (z.B. Glimmer) eine Schichtstruktur. Zu den sekundären Mineralen gehören...

- Die Zweischicht-Tonminerale (Kaolinit, keine pflanzenbauliche Bedeutung)
- Die pflanzenbaulich SEHR wichtigen Dreischicht-Tonminerale wie...

Illit, Vermiculit, Montmorillonit und Smectit

Darstellungsformen für ein Dreischichtmineral (hier Illit)…

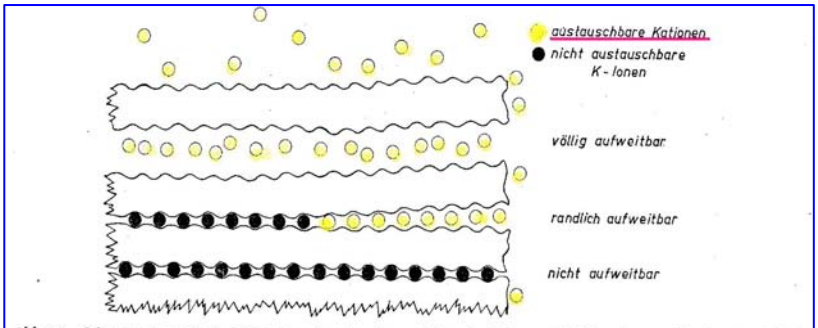


Abb. 20 Schema eines Dreischichtminerals mit einer nichtaufweitbaren Schicht, einer teilweise (randlich) aufweitbaren Schicht und einer völlig aufweitbaren (vermiculitischen oder smectitischen) Schicht

Illit:

Wichtiges Tonmineral für die Nährstoff-Versorgung

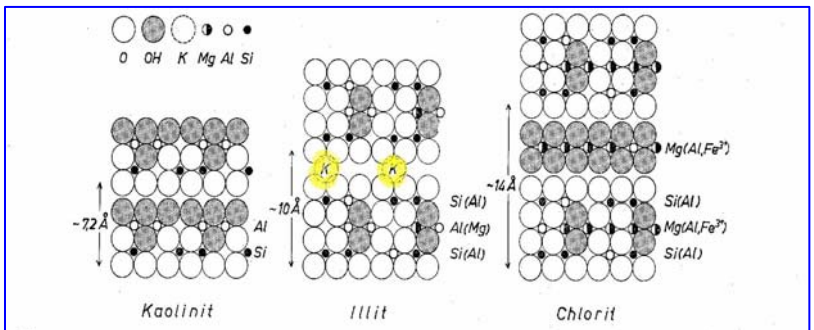


Abb. 18 Beispiele für Strukturmodelle eines dioktaedrischen Zweischichtminerals (Kaolinit), eines dioktaedrischen (Illit) und eines trioktaedrischen Dreischichtminerals (Chlorit)

Aufbau des Illit (Abbildung Mitte):

- Siliziumschicht
- Aluminiumschicht
- Siliziumschicht
- und dazwischen Kalium

Rechte Abbildung ist Chlorit:

Chlorit ist ein "zerstörtes" Tonmineral, da die Zwischenschichten durch Aluminium blockiert werden (Vorgang in sauren Böden, wo z.B. sehr viel Aluminium freigesetzt wird).

Schichtoberflächen- Struktur eines Tonminerals (Smectit)

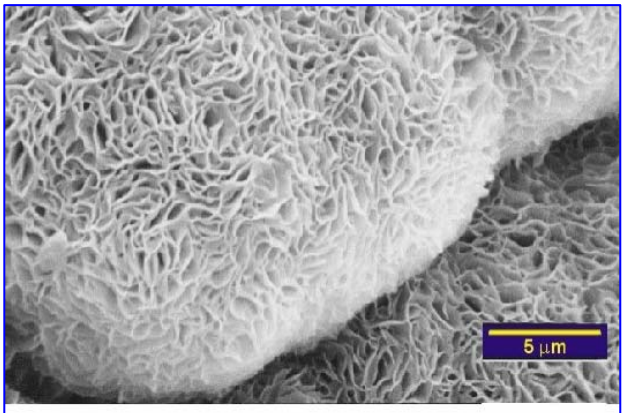


Abb. 3: Smectit (Tonmineral, stark vergrößert)

Durch den Schichtaufbau ist die Fläche, die für die Anlagerungsvorgänge zur Verfügung steht, sehr groß:

1 Gramm Ton hat eine Anlagerungsfläche von 100 bis 800 m^2!!

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab

5.2.3 Warum sind Tonminerale negativ geladen?

Die negative Ladung der Tonminerale ist wichtig für die Speicherung positiver Nährstoff- Ionen wie Kalium, Magnesium, Ammonium und verschiedene Spurenelemente.

Sie entstand bei der Auskristallisation der Tonminerale durch den isomorphen (größenähnlichen) Ersatz von…

- Si^{4+} -Ionen durch Al^{3+} - Ionen oder
- Al^{3+} - Ionen durch Mg^{2+} - Ionen

…in den Kristallgittern. Bei der Entstehung der Kristalle nehmen im Kristall die positiven Ladungen dadurch ab und somit die negativen Ladungen zu:

Dadurch können Kalium und andere positiven Nähestoffe auf Vorrat gedüngt werden!

5.2.4 Pflanzenbaulich wichtige Eigenschaften

Die Kenntnis der Eigenschaften der Tonminerale ist für das Verständnis der Nährstoffdynamik und der Strukturbildung (Krümelstruktur) von großer Bedeutung.

Folgende Eigenschaften sind wichtig:

1. Tonminerale tragen negative Ladungen:

Der isomorphe Ersatz in dem Kristallgitter (s. oben) hat einen negativen Ladungsüberschuss zur Folge.

Dies bedeutet für die Bodenfruchtbarkeit:

- Anlagerung von positiv geladenen Nährstoff-Ionen (s. KAK)
- Aber auch Anlagerung von Schwermetallen, Pflanzenschutzmittelrückständen u.a.

2. Tonminerale enthalten z.T. viel natürliches Kalium:

Das in den Zwischenschichten und insbesondere an den Rändern befindliche Kali kann über längere Zeiträume hinweg an die Bodenlösung abgegeben werden. Viele Böden (z.B. fränkische Keuperlagen) haben aufgrund besonderer TM (Illite) ein hohes natürliches Nachlieferungsvermögen für Kalium!

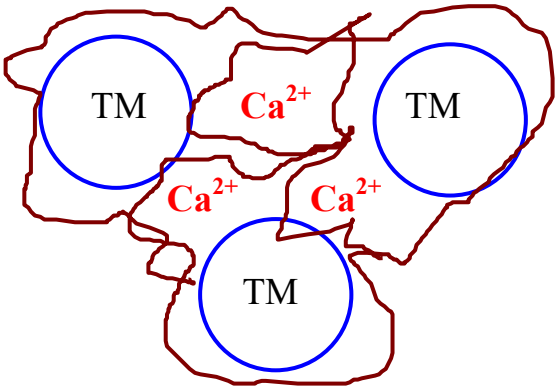
bedeutende natürliche Kaliquellen!

3. Tonminerale tragen zur Krümelbildung bei

Tonminerale haben in Verbindung mit Kalk, mit Humus oder mit anderen organischen Verbindungen bodenstabilisierende Eigenschaften.

Die negativen Ladungen der **Tonminerale** bewirken ein Verkleben mit positiven Kalzium - Ionen und mit Humusstoffen (Huminsäuren). Dies trägt sehr stark zu einer Krümelstruktur bei.

Krümelaufbau:



TM = Tonmineral

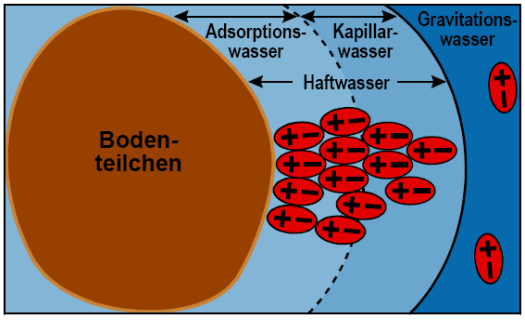
Praktische Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit:

- Tonminerale als Ladungsträger sind wesentlich an der Krümelbildung in Verbindung mit Kalk (Ca^{2+}), Humus und Ausscheidungen des Bodenlebens ("Bakterienschleim") beteiligt.
- Durch die Verbindung zwischen toter (TM!) und lebender (Pilzfäden) oder organischer Substanz (Humusstrukturen) entsteht eine sog. Lebend-Verbauung

Quelle: http://bisz.suedzucker.de/Duengung/

4. TM haben ein hohes Quellungs- und Schrumpfungsvermögen

An Oberflächen der TM können auch Wasser angelagert werden. Dies ist der Grund für das typische Quellen und Schrumpfen der schwereren Böden und der Tonböden.



Die Wasserdipole werden von den negativen Oberflächen der Tonminerale angezogen

Bedeutung:

- Wurzeln können abreißen
- Auflockerung toniger Böden

Quelle:

5. Bei sehr niedrigen pH-Werten wird aus Tonmineralen Aluminium frei:

Vorgänge in stark sauren Böden:

1. Aluminium blockiert die Zwischenschichten der TM.

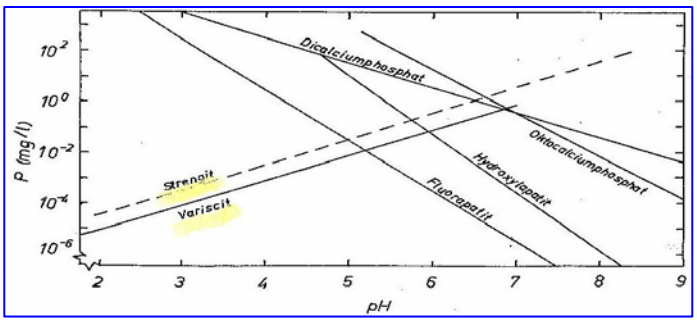
   TM - Zerstörung in sehr sauren Böden.

2. Aluminium wirkt als Wurzelgift bei den landwirtschaftlichen Kulturen

   Wichtige Ursache für Säureschäden (z.B. Gerste!)

3. Aluminium- (und Eisen-) Ionen verbinden sich mit Phosphat. Es entstehen Aluminiumphosphat- und Eisenphosphat- Salze, die bei niedrigen pH-Werten schwer löslich sind:

   Phosphatfestlegung!



Phosphatfestlegung in sauren Böden durch…

- Strengit und
- Variscit

Phosphatmangel kann durch Kalkung behoben werden.

Zusammenfassung:

Die Tonminerale...

- sind schichtweise aufgebaute, komplizierte „Kristalle“
- tragen in den Schichten negative Ladungen, weil bei ihrer Entstehung im Kristallgitter Si^{4+} durch Al^{3+} oder Mg^{2+} ersetzt wurde
- sind deshalb sehr wichtige Speicher für positive Nährstoffionen wie K^+, Mg^{2+}, NH_4^+ (permanente Kationenaustauschkapazität)
- sind wegen ihrer Ladungen an der Lebend-Verbauung beteiligt (Krümelbildung...)
- binden wegen ihrer Ladungen Wasser (Quellung und Schrumpfung...)
- sind wichtige natürliche Nährstoff- Lieferanten (K^+, Mg^+, Spurenelemente...)

6. Kolloide und Austauschkapazität

Verantwortlich für das Nährstofffestheltevermögen des Bodens sind die **Kolloide.** Darunter versteht man alle Teilchen eines Bodens, die Nährstoff-Ionen und Wassermoleküle (Dipol!) festhalten können...

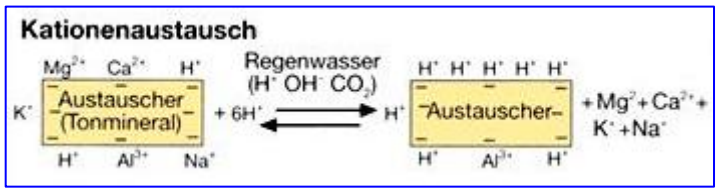
- wegen ihrer großen Oberfläche und...
- wegen ihrer negativen wie auch positiven Ladung

Diese Teilchen (Kolloide) sind...

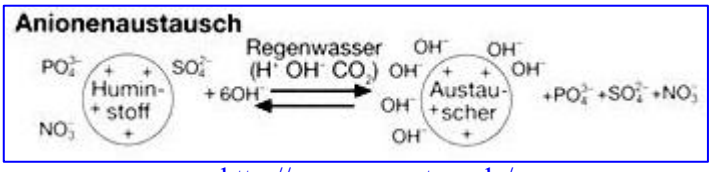
- Tonminerale
- Schluff (geringe Bedeutung)
- Humus und
- Oxide (= Sauerstoffverbindungen)

Das gesamte Festhaltevermögen für Ionen wird bezeichnet als...

1. Kationenaustauschkapazität (KAK)
   Die Kationenaustauschkapazität (KAK) ist ein Maß dafür, wie viel positive Nährstoffe (z.B. K^+, Mg^{2+}, NH_4^+, Ca^{2+}) ein Boden festhalten kann.



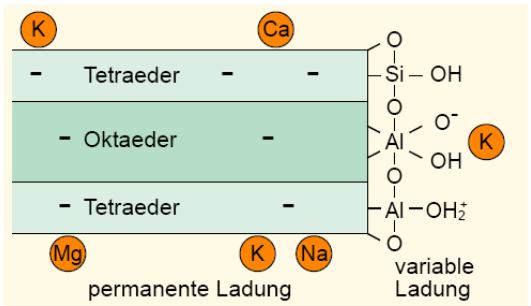
2. Anionenaustauschkapazität (AAK)
   Die Anionenaustauschkapazität (AAK) ist ein Maß dafür, wie viel negative Nährstoffe (z.B. NO_3^-, SO_4^{2-}, HPO_4^{2-}) ein Boden festhalten kann.



http://www.wzw.tum.de/

6.1 Dauerhafte (permanente) Kationenaustauschkapazität

Tonminerale (und im geringen Umfang Schluff) enthalten dauerhaft negative Ladungen in ihren Kristallstrukturen (s. oben). Deshalb können sie auch dauerhaft, d.h. pH-unabhängig, positive Nährstoffionen festhalten:



Ladungsverhältnisse an einem 2:1-Schichtmineral

Quelle: http://www.wzw.tum.de/

Nebenstehendes Bild zeigt ein Tonmineral mit

- pH-abhängiger variabler Ladung an den Oberflächen

und mit...

- dauerhafter, permanenter negativer Ladung in den Kristallschichten

6.2 Variable (pH- abhängige) Austauschkapazität

Sauere Böden (niedrige pH-Werte) haben hohe Konzentrationen an H^+ -Ionen. Diese Säure-Ionen können sich an Oxide oder auch an Tonmineraloberflächen anlagern (s. oben).

Dadurch werden diese Kolloide...

a) positiv geladen und können selbst negative Nährstoff-Ionen festhalten oder…

b) ungeladen, wenn sie vorher negativ geladen waren

Mit steigendem pH-Wert (sinkender H+- Konzentration) nimmt die positive Ladung dieser variablen Kolloide ab und die negative Ladung zu. Deshalb gilt insbesondere:

- bei sinkendem pH-Wert... AAK nimmt zu
- bei steigendem pH-Wert... AAK nimmt ab

Die Kationenaustauschkapazität ist im normalen pH- Bereich der Böden überwiegend von der dauerhaften Ladung der Tonminerale abhängig. Deshalb gilt...

- In unseren Mineralböden mit normalen und höheren Tongehalten überwiegt die permanente negative Ladung der Tonminerale.
- Der pH-Wert hat nur einen geringen Einfluss auf die AAK

6.3 Anionenaustauschkapazität

Quelle : http://www.wzw.tum.de/

Die AAK ist nur abhängig von variablen (pH- abhängigen) Ladungsträgern wie…

Eisenoxide und Eisenhydroxide
(Fe_2O_3, FeOH)

Die negativen Nährstoff-Ionen lagern sich in folgender Reihe unterschiedlich stark an:

$$PO_4^{3-} > SiO_4^{4-} > MoO_4^{3-} >> SO_4^{2-} > NO_3^-$$

Am stärksten das Phosphat PO_4^{3-} , am schwächsten das Nitrat NO_3^-

Dies ist eine weitere Erklärung für...

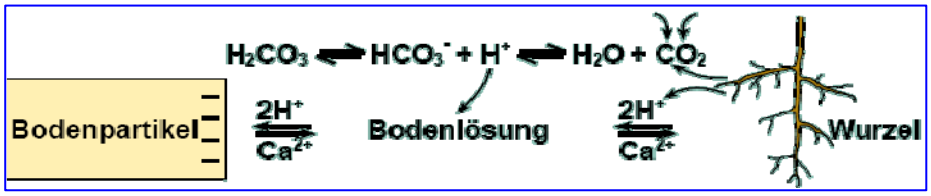
a) die schlechte Phosphatverfügbarkeit in sauren Böden:
   - Phosphat wird fest gebunden an variable Ladungsträger wie Eisenoxide und...
   - Phosphat wird festgelegt in Salzform (Eisen- und Aluminiumphosphat)

Für eine gute Phosphatverfügbarkeit ist ein optimaler pH-Wert von 6 bis 6,5 sehr wichtig!

b) die hohe Auswaschungsgefahr von Nitrat
   - Nitrat bindet sich nur sehr schwach an variable Ladungsträger

6.4 Austauschvorgänge und Basensättigung

Die Kolloide dienen als Nährstoffspeicher. Sie nehmen die (Dünger-)Nährstoffe auf und geben sie langsam und kontinuierlich in Abhängigkeit der Konzentration im Bodenwasser wieder ab



Die Abbildung zeigt diese Vorgänge am Beispiel von Kalzium:

- Durch Eintrag von Kohlendioxid CO_2 entsteht im Boden Kohlensäure H_2CO_3
- Die Kohlensäure gibt Säure-Ionen H^+ an die Bodenlösung (Bodenwasser) ab
- Die H^+ lagern sich an die negativ geladenen Tonminerale (Bodenpartikel) und verdrängen damit die Kalzium-Ionen Ca^{2+} von den Oberflächen der Tonminerale
- Die Kalzium-Ionen werden von der Wurzel aufgenommen (im Austausch gegen 2 H^+ - Ionen)

Basensättigung:

Dies ist der prozentuale Anteil der Tonmineraloberflächen, belegt mit den „Basen-Ionen“, insbesondere...

- Kalzium Ca^{2+},
- Magnesium Mg^{2}

Je höher die Basensättigung, desto besser die Nährstoffverfügbarkeit.
In sauren Böden ist die Basensättigung also gering bis fehlend.

6.5 Größenordnung und Schätzung der Kationenaustauschkapazität (KAK)

Die Menge an Nährstoffen, die ein Boden speichern kann, kann durch einfache Berechnungen geschätzt werden. Die Nährstoffe werden an **Kolloide** gespeichert. Dies sind insbesondere…

- Humus und
- Tonminerale (im geringen Umfang auch Schluff)

6.5.1 Austauscheroberflächen

Die Nährstoffe werden an die Austauscheroberflächen der Kolloide gespeichert:

	Oberfläche (m^2/kg)
Kaolinit	$(1\text{-}2) \cdot 10^4$
Illit	$1 \cdot 10^5$
Smectite	$8 \cdot 10^5$
Vermiculit	$8 \cdot 10^5$
Fe- und Al-Oxide	$3 \cdot 10^4$
Allophane	$(5\text{-}7) \cdot 10^5$
Organische Substanz	$9 \cdot 10^5$

Austauscheroberfläche je Gramm Ton bei...

- Tonmineral Illit ca. 100 m²
- Tonmineral Vermiculit ca. 800 m²
- Humus ca. 900 m²

Erstaunlich!

1 ha Ackerkrume mit 20% Ton (= ca. 70to) hat eine Austauscheroberfläche von mindestens 7.000 km²

Quelle: http://www.lfl.bayern.de/iab

Ionenkonkurrenz um die Austauscheroberflächen:

Die Ionen „streiten“ sich um die Austauscheroberflächen. Die Anziehungskräfte der Ionen sind umso stärker...

- je mehr Ladungen sie haben: $\mathbf{Ca^{2+} = Mg^{2+} > K^{+}}$
- je höher ihre Konzentration im Bodenwasser ist

Dies sind die Gründe, warum...

a) eine Kalkung (Ca^{2+} !!) u.a. Nährstoffe von den Tonmineral- Oberflächen ablöst und verfügbar macht (Ca^{2+} tauscht aus)

Eine Kalkung verbessert die Nährstoffverfügbarkeit!

b) in sauren und mit Kalium überversorgten Böden (H^{+} und K^{+} Konzentration im Bodenwasser hoch!) oft Magnesium Mg^{2+} im Mangel ist (wird verdrängt)

Magnesiummangel in sauren Böden!

6.5.2 Größenordnung der KAK in Ackerböden

Quelle: http://www.wzw.tum.de/

Die KAK ist eine wesentliche Kennzahl der Bodenfruchtbarkeit. Die Größenordnungen in mmol/kg Boden bewegen sich zwischen…

50	100	150	200	250
schlecht	**mittel**		**gut**	**sehr gut**
Sandböden	Lehmböden		Tonböden	

Rechenbeispiel für Kalzium (Ca^{2+}):

Eine KAK von 100 mMol Ca^{2+}/kg Boden) entspricht...

- Bei einem Mol- oder Atomgewicht von 40g entsprechen...
  10 mMol/kg = 4g in 1kg Boden
- 4g in 1kg Boden entsprechen 4 kg in einer Tonne Boden
- Bei einem Ackerkrumengewicht von ca. 3500 Tonnen sind das...

14 Tonnen Kalzium

Ein normaler Boden kann große Mengen Nährstoffe pflanzenverfügbar speichern!

6.5.3 Schätzung der KAK „im Feld“

Die KAK eines Bodens wird vor allem durch den Tongehalt und den Gehalt an Humus bestimmt! Kennt man die Anteile dieser beiden Bodenbestandteile, kann die KAK im Feld geschätzt werden.

Vorgehensweise:

1. Schätzen des Tongehalts in der Ackerkrume mittels **Fingerprobe**
2. Schätzen des Humusgehaltes.
   Anhaltswerte sind:

leichte, sandige Böden:	ca. 1,5 - 2,0 %
mittlere, normal gefärbte Böden:	ca. 2,0 - 2,5 %
mittlere u. schwere, tiefschwarze Böden:	über 2,5% (bis 4%?)

   Auf Grünlandböden muss mit ca. dem doppelten Gehalt gerechnet werden!
   Eine genauere Bestimmung des Humusgehalts kann nur im Labor erfolgen.

3. Berechnung der KAK nach folgenden Werten, wobei der Schluff vernachlässigt wird (je kg Boden):
   - 5 mmol je 1% Ton
   - 20 mmol je 1% Humus

Diese Faustzahlen sind grobe Schätzungen. Insbesondere Humus ist pH-abhängig und schwankt zwischen 1 und 2

Schätzformel:

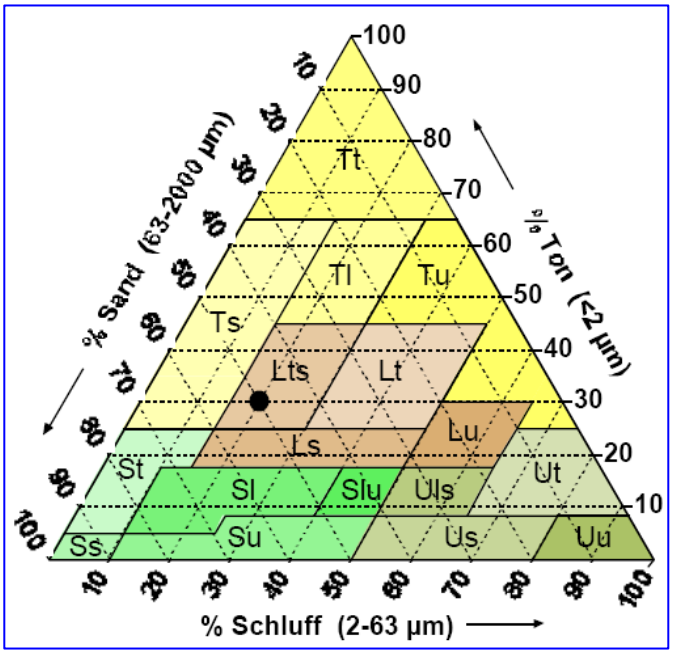
KAK in mmol/kg Boden = 5 * %Ton + 20 * % Humus

7. Bodenarten

Das Endprodukt der Verwitterung sind mehr oder weniger kleine Bodenteilchen. Die Bodenbestandteile sind nach folgendem Schema in Größenklassen eingeteilt.

7.1 Bodenartendreieck

Das Mischungsverhältnis der einzelnen Korngrößen wird als Bodenart bezeichnet. Die Korngrößen sind…



- Sand: 2000 µm bis 63 µm
- Schluff: 63 µm bis 2 µm
- Ton: < 2 µm

Bodenart =
bestimmtes Mischungsverhältnis der verschiedenen Korngrößen

Schätzwerte für die grobe Einteilung der Bodenarten:

Bodenart:	Sand	Lehm	Ton
Bezeichnung	St, Sl, Slu, Su	Ls, Lu, Lts, Lt	Ts, Tl, Tu, Tt
Tonanteil in %:	0 - 20	20 - 40	40-60 (und mehr)

7.2 Bestimmungsmethoden für die Korngrößenzusammensetzung

7.2.1 Fingerprobe im Feld

Die Bodenart kann im Feld relativ genau mittels Fingerprobe bestimmt werden.

Schema zur Bestimmung der Bodenart im Feld

Bestimmende Merkmale	% Ton	Bodenart
1. Versuch, die Probe zwischen den Handtellern schnell zur bleistiftdicken Wurst ausrollen... a) nicht ausrollbar: Gruppe der „Sande“ 2. b) ausrollbar: Gruppe „sandige Lehme und Tone“ 4.		
2. Prüfen der Bindigkeit zwischen Daumen und Zeigefinger		
a) nicht bindig: weiter bei 3.		
b) bindig:	**14 - 18**	lehmiger Sand
3. Zerreiben auf der Handfläche		
a) in den Handlinien kein toniges Material sichtbar:	**0 - 9**	Sand
b) in den Handlinien toniges Material sichtbar:	**10 - 13**	Schwach lehmiger Sand
4. Versuch, die Probe zur Wurst von halber Bleistiftdicke auszurollen		
a) nicht ausrollbar	**19 - 24**	stark sandiger Lehm
b) ausrollbar weiter bei 5.		
5. Quetschen der Probe zwischen Daumen und Zeigefinger in Ohrnähe		
a) starkes Knirschen	**25 - 30**	sandiger Lehm
b) kein oder nur schwaches Knirschen weiter bei 6.		
6. Beurteilen der Gleitfläche bei der Quetschprobe		
a) Gleitfläche stumpf	**30 - 44**	Lehm
b) Gleitfläche glänzend weiter bei 7.		
7. Prüfen zwischen den Zähnen		
a) Knirschen	**45 - 65**	lehmiger Ton
b) butterartige Konsistenz	**über 65**	Ton

Die Fingerprobe ist eine hinreichend Methode, die auch in Bodenuntersuchungslabors angewendet wird. Für sehr genaue Untersuchungen steht auch eine Sieb- und Schlämmanalyse zur Verfügung.

Quellen: http://www.lfl.bayern.de/labor_aktuell

8. Die Hohlräume des Bodens (Porenverteilung, Porosität)

Das natürliche Porenvolumen eines Bodens ist hauptsächlich abhängig...

1. von der Bodenart, d.h. vom Anteil der verschiedenen Korngrößenfraktionen.
2. vom Humusgehalt und anderer organischer Substanz (Mulch)
   - Humus stabilisiert die Hohlräume,
   - oberflächlich eingearbeiteter Mulch verhindert bzw. reduziert Verschlämmung und Verkrustung
3. von der Biologischen Aktivität des Bodens
   - Ausscheidungsprodukte und "lockernde Tätigkeit" des Bodenleben (Regenwürmer...) fördern und stabilisieren eine günstige Porosität

Lebendverbauung, Krümelstruktur

Die Porosität beeinflusst...

- das Wasserfesthaltevermögen (nFk = pflanzenverfügbares Wasser...)
- den Lufthaushalt (Luftkapazität Lk) und somit auch
- die Erwärmbarkeit (Wurzelwachstum, Mineralisation, Nitrifikation...)

Gefüge und Porosität sind wichtige Einflussfaktoren der Bodenfruchtbarkeit. Der Landwirt ist verpflichtet, die natürlich gegebene Porosität zu verbessern und zu erhalten

8.1 In Deutschland gibt es ein Bodenschutzgesetz

Quelle: http://bundesrecht.juris.de/bbodschg/index.html

Nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) ist der Landwirt verpflichtet,

"Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen"

zu treffen. Bezüglich "Erhaltung der Bodenstruktur" wird empfohlen...

a) Verringerung bzw. Verhinderung der Verschlämmung
   - grobkrümeliges Saatbett (dort wo sinnvoll, s. später)
   - Mulchsaat oder Direktsaat
     (s. insbesondere Zuckerrüben-, Mais- und Kartoffelanbau)

b) stabiles Bodengefüge schaffen und erhalten u.a. durch ...
   - Aufbau von Humus (Zwischenfrucht, Stroh, org. Dünger...)
   - biologische Lockerung und Stabilisierung (Tiefwurzler, Zw.frucht...)

c) Unterbodenlockerung
   - Tiefengrubber (gegen Bearbeitungssohlen, Stroh- und Güllematratzen...)
   - Tiefenlockerung mit z.B. Wippscharlockerer (Meliorationsmaßnahme, Kosten...)

8.2 Größenverteilung der Hohlräume

Die Hohlräume werden nach ihrer Kraft (pF), mit der sie Wasser festgehalten, eingeteilt:

- < 1,8 pF = **Grobporen** (darin befindet sich Sickerwasser und Luft)
- 1,8 bis 4,2 pF = **Mittelporen** (darin befindet sich pflanzenverfügbares Wasser)
- > 4,2 pF = **Feinporen** (Wasser ist darin nicht pflanzenverfügbar)

Erläuterung des pF-Werts:

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Permanenter_Welkepunkt

Das Wasser in den Poren wird mit einer bestimmten kapillaren Kraft festgehalten. Sie ist abhängig von der Größe der Poren.

Dimensionen der Wasserspannung (Saugspannung)

Länge der Wassersäule : cm WS
(negativer) Druck = Saugdruck : Pa

log cm WS =	h Pa =	pF
1 cm WS =	1 h Pa =	pF0
100 cm WS =	100 h Pa =	pF2
1000 cm WS =	1000 h Pa =	pF3

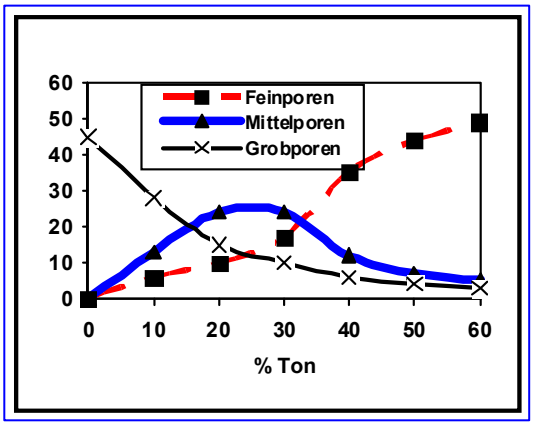
Diese Kräfte werden mit einer „Saug- bzw. Druckkraft“ verglichen (in cm Wassersäule):

1 bar = 1000hPa = 1000 cm WS = pF 3,0.

Der pF-Wert ist der Zehner - Logarithmus der Anhangskraft in cm WS

Ein pF > 4, 2 wird als permanenter Welkepunkt bezeichnet.
Die Wurzeln können Wasser, das mit dieser Kraft festgehalten wird, nicht mehr aufnehmen.

Die Verteilung der Grob-, Mittel- und Feinporen eines Bodens ist abhängig vom Tongehalt…



- **Sandböden (bis 20% Ton)** haben sehr viel Grobporen (Luftkapazität ist hoch!) und wenig Mittelporen (= wenig wurzelverfügbares Wasser).
- **Tonböden (> 40% Ton)** haben sehr hohe Anteile an Feinporen (Totwasser) und ebenfalls wenig Mittelporen (= wenig wurzelverfügbares Wasser).

Lehmböden (20 bis 40% Ton) haben optimale Anteile an…

- 10-15% Grobporen (gute Durchlüftung und Erwärmung)
- 20-25% Mittelporen (200- 250 mm pflanzenverfügbares Wasser!)
- 10-15% Feinporen

8.3 Vergleich des Bodens mit einem Schwamm

Der Boden kann mit einem Schwamm vergleichlichen werden...

1. Ein Schwamm kann nur eine bestimmte Menge an Wasser gegen die Schwerkraft in seinen Poren festhalten. Die Gesamtmenge dieses Wassers nennt man im Boden

   Feldkapazität (Fk).

   Die Feldkapazität wird in mm Wasserhöhe bzw. in l/m^2 angegeben. Die Fk entspricht dem Haftwasser, das aus Totwasser und Kapillarwasser besteht.

2. Der Schwamm hat in diesem nassen Zustand trotzdem noch Poren, die nicht mit Wasser gefüllt sind. Diese Poren (große Grobporen) beinhalten Luft und stellen in ihrer Gesamtheit die

   Luftkapazität

   dar. Die Menge an Luft in einem Boden wird in Liter/m^2 angegeben.

3. Wird Kraft aufgewendet, um das Wasser aus dem Schwamm herauszudrücken (Saugkräfte der Wurzel!), läuft nur ein Teil der Wassermenge heraus. Der Schwamm bleibt weiterhin feucht. Das Wasser, das durch die Wurzeln herausgesaugt werden kann, befindet sich in den Mittelporen und kleinen Grobporen und wird bezeichnet als

   nutzbare Feldkapazität (nFk).

4. Das im Schwamm noch verbleibende Wasser kann nicht herausgedrückt werden. Dieses Wasser ist im Boden nicht pflanzenverfügbar, es wird

   Totwasser

   genannt. Es ist in den Feinporen mit einer größeren Anhangskraft gebunden, als die Wurzeln an Saugkräften aufbringen können (ca. 15 bar).

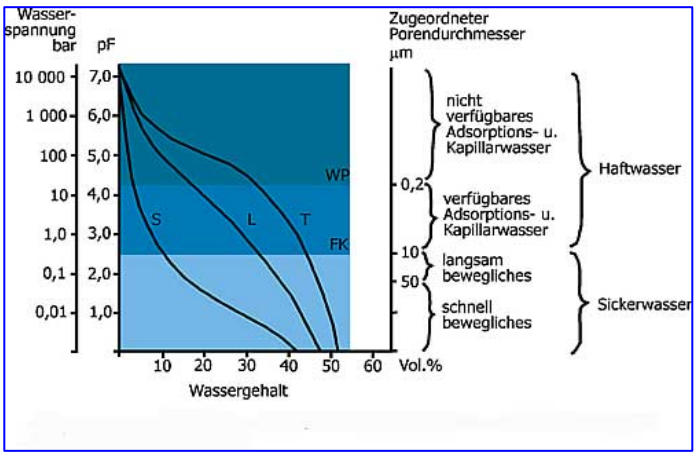
   Der permanente Welkepunkt ist erreicht
   Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Welkepunkt

Fk minus nFk ergibt Totwasser

5. Wird der so ausgepresste Schwamm in eine Schale mit Wasser gelegt, saugen sich seine Poren wieder langsam voll.
   Die Kapillaren (= Mittelporen) saugen Grundwasser oder tiefer gespeichertes Wasser an und bringen es in die Wurzelzone.

   Kapillarwasser

Zusammenfassung:



- Wasser, das sich in den Grobporen befindet, steht der Pflanze normalerweise nicht zur Verfügung,
- Wasser in Mittelporen wird gegen die Schwerkraft festgehalten und kann dadurch von den Pflanzen aufgenommen werden

Wurzelverfügbares Wasser ist in den Mittelporen zu finden!
= nFk

8.4 Praktische Schlussfolgerungen für den Pflanzenbau

8.4.1 Sandböden

Sandige Böden haben sehr viele Grobporen (Luftkapazität ist hoch!) und wenig Mittelporen (= wenig pflanzenverfügbares Wasser).

Wichtige Maßnahmen auf diesen Standorten...

Mittelporenbereich fördern und Verdunstungsverluste verringern

Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushalts:

- Walzen nach der Saat oder nichtwendende Bodenbearbeitung
- nur flache Saatbettbereitung im Frühjahr
- Stoppelbearbeitung nach der Ernte
- organische Substanz einbringen
  (Humus und org. Substanz erhöht den Mittelporenbereich und somit die nFk)

8.4.2 Tonböden

Sehr tonige Böden haben hohe Anteile an Feinporen (Totwasser) und wenig Mittelporen (= wenig pflanzenverfügbares Wasser). Auch der Grobporenbereich ist sehr klein.

Problem Luft- und Wassermangel!

Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verbesserung des Lufthaushalts und der Bodenstruktur:

- tiefes Lockern und Vermeidung von Bodenverdichtungen (schonende Bearbeitung)
- Kalken (Branntkalk fördert die Krümelstruktur und somit den Mittelporenbereich im Saathorizont.
- Organische Substanz einbringen (Zwischenfrucht, Stallmist...), dies führt zur Auflockerung und Stabilisierung des Gefüges
- Anbau von Tiefwurzlern

8.4.3 Lehmböden

Sie haben einen mittleren Tonanteil und haben eine optimale Porenverteilung

Lehmböden sind die fruchtbarsten Böden!

Sie sind sehr fruchtbar, sie haben…

- ein hohes Wasserspeichervermögen (nFk),
- eine gute Durchlüftung (rel. viel Grobporen) und damit durch
- eine gute Erwärmbarkeit.

Lehmböden aus Löss sind meist sehr schluffhaltig, sie…

neigen zur Verschlämmung
(Schluff kann keine Krümel bilden)

Verschlämmung kann zu schlechtem Feldaufgang führen (z.B. bei Zuckerrüben, Raps).

In einer solchen Situation deshalb wichtig:

- Kalkung vor der Saat (fördert Krümelbildung)
- Einarbeitung von Zwischenfrucht-Mulch (s. Zuckerrübenanbau!)

9. Bodenwasser

In normalen, nicht staunassen Böden ist das pflanzenverfügbare Wasser in den Mittelporen gespeichert. Wie schon erläutert, wird die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser als

nutzbare Feldkapazität

bezeichnet und ist abhängig …

- vom Anteil der Mittelporen (Bodenart) und
- von der Durchwurzelungstiefe des Bodens

9.1.1 Schätzung der Wasserspeicherfähigkeit des Boden

Quelle: http://www.weihenstephan.de/bk/pdfs/vorlesungen/bk1_ws/wasser.pdf

Um die nutzbare Feldkapazität auf den Ackerflächen abzuschätzen, ist es notwendig mit Hilfe eines Bohrstocks ein Bodenprofil zu entnehmen.

Weitere Vorgehensweise:

1. Das Profil wird in seine Horizonte eingeteilt
2. Für jeden Horizont wird die Bodenart mit Hilfe der Fingerprobe bestimmt und seine Schichtdicke gemessen.
3. Das Bodenprofil wird nach Wurzelresten oder Wurzelröhren absuchen und dadurch die Durchwurzelungstiefe bestimmt.
4. Anhand der folgenden Tabelle wird die nutzbare Feldkapazität (nFk) je Bodenschicht (Horizont) innerhalb der Durchwurzelungstiefe berechnen.

nFk je cm Bodenschicht (ungenaue Tabelle!):

Quelle: http://www.hlug.de/medien/boden/fisbo/bk/bfd50/extdoc/kenn_nfk.html

nFk in Liter pro m^2 und je cm Durchwurzelungstiefe (Schichtdicke)									
Bodenart	Ss	Sl	Su	Ul	Ls	Lu	Lt	Tt	T
l/m^2+cm	1,1	1,6	1,8	2,0	1,7	1,9	1,6	1,4	1,5

nFk je Bodenschicht = Tabellenwert * cm Schichtdicke.

5. Danach wird die nFk jeder einzelnen Bodenschicht bis zur Durchwurzelungstiefe aufsummiert.
6. Die Summe ergibt die gesamte nFk des Ackerbodens.

Größenordnungen und Bewertung der nFk (Liter / m^2):

- < 50: sehr gering
- 50 – 90: gering
- 91 – 140: mittel
- 141 - 200: hoch
- > 200: sehr hoch

9.1.2 Messung der Bodenfeuchte für Bewässerungsempfehlungen

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Tensiometer_%28Bodenfeuchte%29

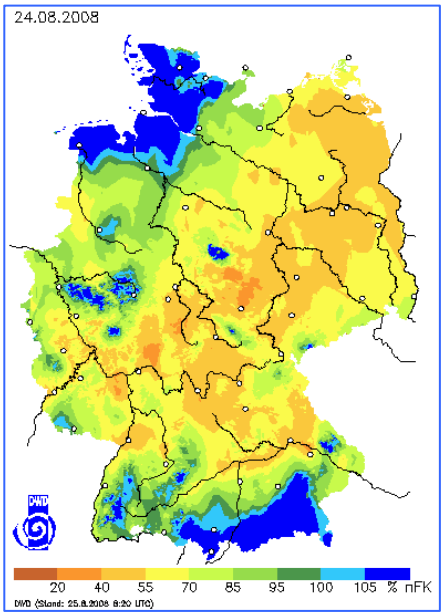
Um die wirtschaftliche Notwendigkeit einer Bewässerung festzustellen, muss die Bodenfeuchtigkeit ermittelt werden. Dafür geeignete Messgeräte sind u.a.

1. **Tensiometer**:
   Eine poröse keramische Zelle ist luftdicht an ein mit Wasser gefülltes Rohr angeschlossen. Diese Zelle wird in den Boden eingebaut. Das vom Boden aus der Zelle gesaugte Wasser erzeugt im Rohr einen Unterdruck. Dieser Unterdruck kann in pF umgerechent werden und ist ein Maß für den Bodenwassergehalt.
2. **Elektroden** zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit:
   Der gemessene elektrische Widerstand im Sensor wird vom Ablesegerät in pF umgerechnet

Ab einer Bodenfeuchte (Trockenheit) von
pF > 3,0 (>1000 cm WS) ist eine Beregnung wichtig!

9.1.3 Beratungsservice in Deutschland

Quellen : http://www.isip2.de/coremedia/generator/isip/MeinISIP/Wetter/DWD/Bodenfeuchte/Bodenfeuchte-neu.html



In Deutschland bieten die staatliche Beratung (ISIP2.de) und der Wetterdienst Informationen zur aktuellen Bodenfeuchte und zur Notwendigkeit von Bewässerungsmaßnahmen an

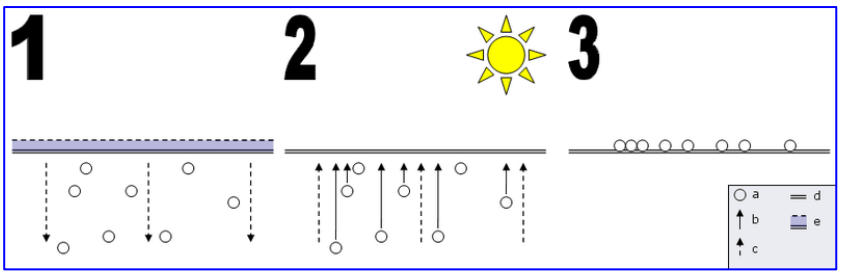
Die Karte zeigt die Situation am 25.8.2008

9.2 Bewässerung in ariden Gebieten

Quellen:
http://de.wikipedia.org/wiki/Bew%C3%A4sserung
http://de.wikipedia.org/wiki/Bew%C3%A4sserungsfeldwirtschaft
http://de.wikipedia.org/wiki/Versalzung
http://de.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%B6pfchenbew%C3%A4sserung

9.2.1 Problem Versalzung der Böden

In humiden Gebieten werden die Bodensalze durch den höheren Niederschlag ausgewaschen. In ariden Gebieten kommt es dagegen zu einer Salzanreicherung an der Bodenoberfläche.



Ursachen:

- Hoher Grundwasserstand (z.B. in einem Flussdelta):
  Grundwasser steigt kapillar an die Oberfläche, verdunstet und läßt seine Salze zurück
- Falsche, zu starke Bewässerung:
  Wasser wird von den Pflanzen nicht verbraucht, verdunstet und läßt seine Salze zurück.

Gegenmaßnahmen

- Starke Bewässerung, aber…
  mit gleichzeitigem Ableiten des überschüssigen Wassers durch Drainagen (Rohrsysteme). Dadurch werden die Salze ausgewaschen.
- Böden mit hohem Grundwasserstand…
  müssen drainiert (entwässert) werden. Dadurch sinkt der Grundwasserspiegel, die kapillare Verdunstung wird verringert.

9.2.2 Integrierte Maßnahmen

Die wirkungsvollsten Maßnahmen wären…

a) Wasser schonende Bodenbearbeitung:

- Nach der Ernte möglichst rasch eine

  flache Stoppelbearbeitung,

  da auf einem unbearbeiteten Boden durch die direkte Sonneneinstrahlung und die Kapillaren des Bodens sehr viel Wasser verdunstet (Versalzung nimmt zu!)

  Eine Stoppelbearbeitung hat zwei Wirkungen:

  - Die Kapillaren werden zerstört, die lockere Bodenschicht (Pflanzenmulch) beschattet den darunter liegenden Boden und der

    unproduktive Wasserverlust nimmt ab

  - Zusätzlich werden Unkrautsamen zum Keimen gebracht:

    mechanische Unkrautbekämpfung

b) Bewässerung an den Pflanzenbedarf anpassen:
Wie oben erwähnt, fördert eine überschüssige Bewässerung die Verdunstung. Deshalb…

- In Flächenkulturen (Futterpflanzen) nach Bodenfeuchte und Pflanzenbedarf beregnen. In Deutschland gibt es dazu einen Beratungsservice (s. oben)
  - Ein einfaches Überstauen oder befluten der Felder ist dafür nicht geeignet
  - Mit der aufwendigeren und damit kostenintensiven Beregnungstechnik ist eine Dosierung sehr gut möglich
- In den Reihenkulturen wie Wein oder Obst (in Deutschland auch bei Kartoffeln) ist eine

Tröpfchenbewässerung sehr wirkungsvoll

http://de.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%B6pfchenbew%C3%A4sserung

10. Humus

10.1 Mineralisation und Humusaufbau

Quellen (Translate websites: http://www.online-translator.com/text.asp#tr_form):
http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/04.htm :

Die ständige **Zufuhr von organischem Material** ist sehr wichtig...

- als Futter für das Bodenleben,
- zur Bildung von Humus,
- zur Nährstoffversorgung und
- zur Verbesserung der Bodenstruktur
  (Mulch fördert die „Schattengare“ und verhindert Verschlämmungen).

Pflanzenrückstände, Zwischenfrüchte,
Stallmist, Stroh, Gülle, Stoppeln...

⇓

Futter für Bodenleben,
= Nährhumus

⇓

Zerkleinerung und Zersetzung durch Bodenleben
= Förderung der „Biologischen Aktivität“ des Bodens,

⇓

Die Biologische Aktivität (das Bodenleben) ist abhängig von...

- Nährstoffgehalt (C/N - Verhältnis)
- pH-Wert - Wert (optimal über 6,5)
- Wasser - und Lufthaushalt (optimal bei pF 2,5)
- Bodentemperatur (je wärmer, desto besser)
- Menge der zugeführten org. Substanz

Mineralisierung

bedeutet:

Zerlegung in die mineralischen Bestandteile wie...

Ammonium (NH_4^+), Nitrat (NO_3^-), Phosphat, Kalium, Magnesium u.a.

Pflanzennährstoffe

Zerlegung in chemische Zwischenprodukte (z.B. org. Säuren...)

hochmolekulare Bausteine für Humusbildung

jährlich wird ca. 2% des Humus mineralisiert

Humusbildung

Komplizierte chemische Vorgänge führen zur Bildung von Humusstoffen (Huminsäuren) wie

- Grauhuminsäuren (Mull)
- Braunhuminsäuren (Moder)
- Fulvosäuren (Rohhumus

10.2 Humusbildung ist standort- und bodenabhängig

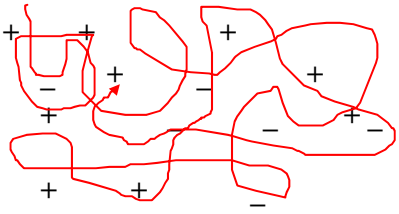
Der natürliche, standortabhängige Gehalt an Humus in einem Boden ist insbesondere abhängig von…

- Bodenart:
  niedrigere Gehalte in sandigen, gut durchlüfteten und erwärmbaren Böden
- Klima und Witterung:
  nasse und kühle Böden (Nordhänge, Mittelgebirgslagen) zeigen höhere Gehalte

Normale Mineralböden haben in Deutschland
ca. 1 bis 3 Prozent Humus

10.3 Eigenschaften der Humusstoffe

1. **Hohes Festhaltevermögen für positive (KAK) und negative (AAK) Nährstoffionen.**



Humus ist ein pH- abhängiges Kolloid (s. oben) und enthält positive und negative Ladungen. Damit können Nährstoffionen festgehalten werden.

2. **Wasserfesthaltevermögen (Erhöhung der nFk)**
   Humus schafft aufgrund seiner Struktur Kapillaren, in denen sich das Wasser anlagern kann.
3. **Natürlicher Nährstoffspeicher**
   Humus enthält selbst Nährstoffe (N!), die bei Mineralisierung (jährlich ca. 2%) freigesetzt werden.

Aufgrund seiner Anionenaustauschkapazität kann Humus, d.h. können humose Böden oder Grünlandnarben auch Nitrat in gewisser Menge festhalten.

Die Bodenfruchtbarkeit ist sehr stark
vom Humusgehalt abhängig.

Deshalb ist es wichtig, die Böden organisch
zu düngen (mit Stroh, Mist, Zwischenfrucht)!

10.4 Humusgehalt und Humusbilanz

Um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und zu verbessern, ist es wichtig, den Humusgehalt zu stabilisieren bzw. zu erhöhen.

1. Durch jede Bodenbearbeitung kommt Luft in den Boden, es wird org. Substanz und Humus abgebaut (mineralisiert)

   Bodenbearbeitung senkt den Humusgehalt

2. Jede Zufuhr organischer Substanz fördert die Humusbildung. Deshalb…
   - Mist düngen
   - möglichst viel Zwischenfrucht innerhalb der Fruchtfolge
   - Stroh fein häckseln und einarbeiten

In Deutschland sind die Landwirte durch Gesetze verpflichtet, den Humusgehalt zu halten oder zu verbessern. Kontrolliert wird das durch eine Humusbilanzierung. Sie zeigt…

Stroh ist der wichtigste Humuslieferant!

Beispiel:

Bei einem Anbau von 10 ha Zuckerrüben, 10 ha Körnermais und 30 ha Wintergetreide (ohne weitere Zwischenfrucht!) entsteht…

- bei Einarbeitung des Getreidestrohs ein Bilanzüberschuss von plus 91 kg Humus-Kohlenstoff/ha
- bei Strohabfuhr des Wintergetreides minus 205 kg Humus-Kohlenstoff/ha

Faustregel:

Bleibt das Stroh auf dem Feld, ist die Humusbilanz immer positiv!!

11. Bedeutung des pH-Werts

11.1 pH- abhängige Vorgänge im Boden

Eine zu geringe Kalkversorgung ist verantwortlich für eine Vielzahl von untereinander abhängigen Vorgängen im Boden und an der Wurzel. Die dabei auftretenden Symptome in einem Getreidebestand werden zusammengefasst unter dem Allgemeinbegriff...

Säureschäden.

Merkmale von Säureschäden (z.B. in Winter- oder Sommergerste):

- allgemeine Gelbfärbung und Vertrocknen der jüngsten Blätter
- kleine Pflanzen, die schlecht wachsen
- geringe Wurzelausbildung (keine Faserwurzeln)

11.2 Ursache von Säureschäden

Gelbe Wintergerstenschläge im Herbst (oder Frühjahr) können verschiedene Ursachen haben. Eine der möglichen Ursachen ist der Komplex "Säureschäden":

1. Gestörte Nährstoffdynamik im Boden

Stickstoff (N):
Verringerte Mineralisation und Nitrifikation aufgrund der Hemmung der biologischen Aktivität (Bakterien) durch niedrige pH-Werte.

Phosphat (P):
Phosphatfestlegung durch AL^{3+} und Fe^{2+} zu $Fe_3(PO_4)_2$ und $AlPO_4$, dadurch schlechte Phosphatmobilität (P-Mangel trotz P-Düngung!).

Kalzium (Ca):
Kalzium fördert das Meristemwachstum (Einbau in Zellwänden), bei Mangel Schäden an Wurzel - und Sproßspitzen möglich.

Al und Fe:
Erhöhte Freisetzung von Al^{3+} - und Fe^{2+} - Ionen aus Tonmineralen.

- Al = Wurzelgift,
- Phosphatfestlegung durch Bildung von Al- und Fe- Salze

2. Gestörte Bodenstruktur (Verschlämmung, Verdichtung):

Bei Säureschäden fehlt insbesondere auch das **Kalzium Ca^{2+}**. Es fördert die Bildung der Krümelstruktur, dadurch...

- Stabilisierung der Bodenstruktur
- Durchlüftung, Lockerung
- weniger Verschlämmung (z.B. Feldaufgang bei Zuckerrüben!)
- Förderung der biologischen Aktivität (Bodenleben)

3. Extremer Ionenantagonismus an der Wurzel:

Darunter versteht man die Tatsache, dass durch eine einseitig hohe Nährstoff- oder (wie hier) Säurekonzentration andere Nährstoffe von der Wurzel verdrängt werden.

11.3 Optimaler pH-Wert

Quellen: http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/

Optimaler pH-Wert verschiedener Böden:

- lehmiger Sand (Sl): 5,8 - 6,2
- sandiger Lehm (Ls) und schluffiger Lehm (Lu): 6,3 - 6,8
- toniger Lehm (Lt) und Ton (T): 6,9 - 7,2

Gründe für die Unterschiede bei den optimalen pH-Werten:

1. Höhere Kalkversorgung auf schweren Böden führt zu einer besseren Krümelstruktur, leichte Böden sind darauf nicht angewiesen.
2. Bei zu hohen pH-Werten sind die meisten Spurenelemente schlechter verfügbar; es bilden sich schwerlösliche Salze. Dies macht sich vor allem in den leichten, von Natur aus spurenelementarmen Böden bemerkbar (natürliche Quellen der Spurenelemente sind die Tonminerale).

Typische Mangelstandorte für Spurenelement sind stark aufgekalkte oder von Natur aus kalkhaltige Sandböden.

Zwischen den Getreidearten gibt es Abstufungen in der **Säuretoleranz**:

Hafer > WR/WW > WG > SoG

12. Das Bodenleben als wichtiger Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit

Quellen:

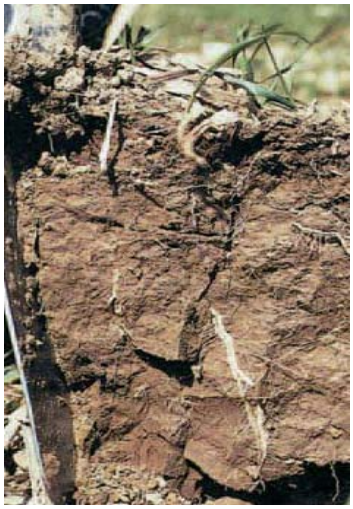
- http://hypersoil.uni-muenster.de/0/06.htm
- http://hypersoil.uni-muenster.de/0/06/04.htm

Translate: https://www.webtran.de/

13. Spatendiagnose

Quellen : http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/ Translate: https://www.webtran.de/

Die Spatendiagnose ist ein wichtiges Instrument zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit. Mit Hilfe der Spatendiagnose können folgende Parameter erkannt und beurteilt werden:



1. **Bodenstruktur** (Gefügeformen)

Das linke Bild zeigt

- grobe Brocken („Prismen“) einer Parabraunerde aus Löss,
- die im stark verdichteten Boden entstanden sind (langjährig nicht gepflügt)

2. **Durchwurzelbarkeit**

Das rechte Bild zeigt ein durch Bearbeitung verdichtetes plattiges Gefüge

3. **Stroh- und Jauchematrazen**

Das linke Bild zeigt

- eine auf Pflugsohlentiefe „sauber“ abgelegte Strohmatraze

Das rechte Bild zeigt

- graublaue, übel riechende Verfärbung (Reduktion), hervorgerufen durch unter Luftabschluss feucht eingearbeitete Jauche oder Gülle.

4. **Nicht verrottete Stoppeln**

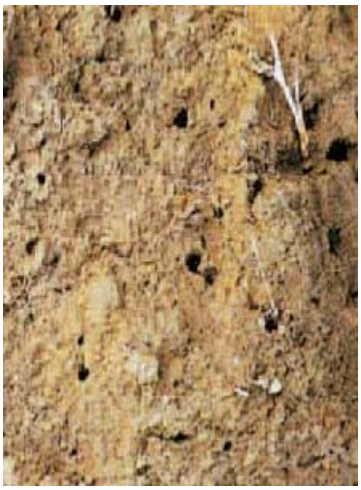
Das linke Bild zeigt

- Durch Verdichtung schlecht verrottete Maisstoppeln

5. **Regenwurmgänge**

Das rechte Bild zeigt

- zahlreiche Regenwurmgänge als Zeichen für hohe biologische Aktivität und somit auch günstige Mineralisationsbedingungen



13.1 Praktische Vorgehensweise

13.1.1 Beurteilung eines Bodenblocks

Ein Bodenblock wird in der Größe des benutzten Spatens vorsichtig ausgehoben (Struktur soll erhalten bleiben!) und mit der Hand oder einem Kleinwerkzeug langsam zerteilt.

Dabei können **Beobachtungen** gemacht werden hinsichtlich...

1. Überreste eingearbeiteter Ernterückstände und Bodengeruch

a) Beispiel für positive Beobachtungen:

- Organische Substanz fein zerteilt,
- je nach Vorfrucht und Zeitpunkt in guter Verrottung übergehend.
- Angenehm erdiger Geruch.

Ursache:

Hohe biologische Aktivität (Bodenleben!), gute Durchlüftung des Bodens (s. Gefüge).

b) Beispiel für negative Beobachtungen

- Stoppelreste (evtl. des vorletzten Jahres) noch weitgehend erhalten
- unangenehmer muffiger Geruch
- in Gülle- und Stallmistnähe zeigt sich eine Blaufärbung des Bodens

Ursache:

Luftmangel durch zu nasse Einarbeitung, Dichtlagerung und technische Verdichtungen

2. Gefüge, Dichtlagerung, Verdichtungen, Durchwurzelbarkeit

a) Beispiel für positive Beobachtungen:

- Boden ist durchzogen mit feinen Haarwurzeln
- nicht zu feines, sondern krümelartiges Gefüge
- Boden zerfällt bei leichtem Druck mit der Hand

Ursache:

Optimale Kalk- (Ca stabilisiert!) und Humusversorgung, die eine hohe biologische Aktivität (Lebendverbauung!) hervorruft. Bodenschonende, termingerechte Bearbeitung...

b) Beispiel für negative Beobachtungen

- Boden ist allgemein verdichtet,
- Platten (parallel zur Oberfläche) lösen sich ab
- wenige Hauptwurzeln, die an den Platten nicht weiterwachsen.

oder auch...

- Rissbildung senkrecht zur Oberfläche
- wenige Hauptwurzeln, die entlang dieser senkrecht verlaufenden Risse wachsen

Ursache:

Kalkmangel, geringe Lebendverbauung, sehr hohe Tongehalte (Schrumpfungsrisse), Fehler bei der Bodenbearbeitung (Pflug- oder andere Bearbeitungssohlen).

13.1.2 Abwurfprobe

Durch das Abwerfen eines zweiten Bodenblocks auf eine feste Unterlage oder auf den festgetretenen, eingeebneten Boden können ergänzende Beobachtungen gemacht werden hinsichtlich der...

- Gefügeart und
- Gefügestabilität

1. Wurde vorher schon ein günstiges Gefüge beobachtet, so wird der Bodenblock krümelig zerfallen.
2. Bei Verdichtungen zeigen sich z.B. grobe Polyeder- oder Prismengefüge

Auch andere Beobachtungen…
können hier konkretisiert und ergänzt werden wie…

- Biologische Aktivität (Regenwürmer...) oder
- Zersetzung der organischen Substanz (Stoppelrückstände...)

13.2 Beurteilung der Bodenoberfläche

Während durch Bodenblock und Abwurfprobe das Innere eines Bodens beurteilt werden kann, kann durch einfache Beobachtung der Bodenoberfläche die...

- Verschlämmungs- und
- Erosionsgefährdung

festgestellt werden.

Maßnahmen zur Minderung der Verschlämmungsgefahr (z.B. bei schluffreichen Lößböden):

- ein gröberes Saatbett
- hohe Kalkversorgung
- hohe Humusversorgung (auch oberflächlich, Mulch!)

Bodenbildung

Quellen: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/01.htm , http://www.lfl.bayern.de/iab

Faktoren der Bodenbildung

1.1 Verwitterung des Ausgangsgesteins und Mineralbildung

Hier sind die Vorgänge anzuführen, die im Unterricht schon behandelt wurden (s.vorne!). Bei der Silikatverwitterung sind u.a. folgende Vorgänge anzusprechen:

1. Verbraunung: Das bei der Verwitterung freigesetzte Eisenoxidiert ("rostet") und verursacht die braune Färbung des Bodens (z.B. B-Horizont).
2. Verlehmung: Die Silikate verwittern teilweise zu Tonminerale, der Boden wird toniger (s. Bodenart "Lehm").

1.2 Humusbildung

Schon während der Verwitterung siedeln sich erste Pflanzen und erstes Bodenleben an. Pflanzenreste werden von dem Bodenleben zerkleinert und ab- und umgebaut zu Humusstoffen.

Je nach Nährstoffgehalt des Ausgangsgesteins und seines natürlichen pH-Wertes entstehen verschiedene Humusformen (s. vorne „Humus“):

1. Nährstoffreicher Humus (Mull)...
   entsteht in nährstoffreichen Böden mit hohem pH-Wert und deshalb auch hoher biologischer Aktivität (z.B. Schwarzerden). Diese Humusform hat sehr gute kolloide Eigenschaften

2. Mittlerer Humus (Moder)...
   entsteht auf normalen Standorten, Humusform mit "mittleren" Eigenschaften (z.B. viele Böden unseres Klimabereichs wie Braunerden, Pseudogleye...).

3. Saurer Humus (Rohhumus)...
   entsteht auf nährstoffarmen, saueren Standorten, die deshalb auch nährstoffarme und schlecht zersetzbare Streu liefern (z.B. Podsolböden unter Nadelwald). Dieser Humus hat sehr schlechte Eigenschaften.

1.3 Versauerung, Kalkauswaschung

Die im Boden entstehende Säure aus

- der Tätigkeit des Bodenlebens,
- Wurzelausscheidungen,
- Mineralisation org. Substanz)

verbraucht Kalk und greift in andere Bodenprozesse ein (siehe pH-Wert). Niederschläge führen zu Kalkauswaschung.

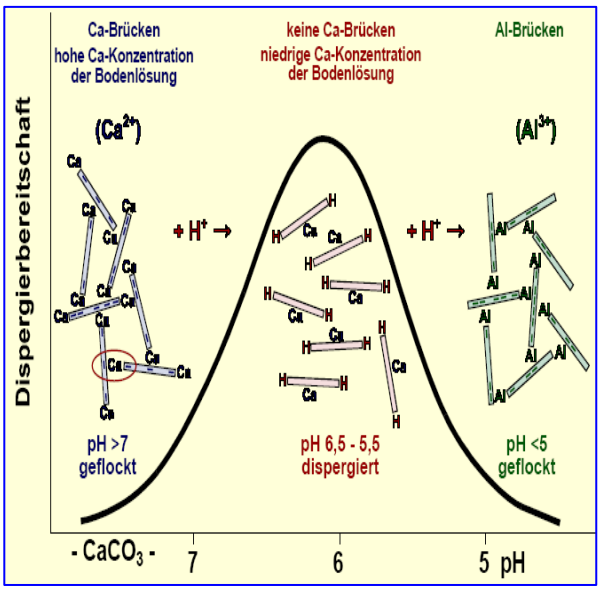
1.4 Tonverlagerung

Eine Tonverlagerung (=Bildung einer Stauschicht im Unterboden) findet nur in den Böden statt, in denen eine

langsame Entkalkung

abläuft. In Böden, die „sehr schnell“ im Rahmen der Bodenentwicklung versauern können, übernimmt das Aluminium die Aufgabe der Tonmineralausflockung.

Folgende Vorgänge spielen eine wichtige Rolle:



- Nach einer Kalkauswaschung und Versauerung des Bodens „zerfließen“ die Krümel in ihre Tonminerale.
- Die Tonminerale werden mit dem Sickerwasser nach unten transportiert (in Grob- und Mittelporen).
- Sie lagern sich im Unterboden ab…
  - wenn dort wieder Kalk vorhanden ist
  - wenn die Grob- bzw. Mittelporen sich zu Feinporen verengen.

Eine Stauschicht ist entstanden

1.5 Pseudovergleyung

Quelle:http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/07.htm

Nach einer Tonverlagerung (sekundärer Pseudgley) oder bei von Natur aus vorhandenen Stauschichten (primärer Pseudogley) entsteht der Bodentyp Pseudogley.

Vorgänge:

- Niederschlagswasser kann nicht versickern (Staunässe)
- Sauerstoffmangel im Grobporenbereich.
- Eisen-, Mangan- und andere Nährstoffoxide werden reduziert und gehen deshalb in Lösung.

Dort wo sich das Wasser staut,
entsteht eine helle Bodenfarbe.

- die gelösten Ionen diffundieren in andere Bodenbereiche, in denen noch Sauerstoff vorhanden ist, und werden dort wieder oxidiert (sie fällen aus).

Eine braune Färbung entsteht in den
Bereichen, wo Sauerstoff vorhanden ist

Durch diese Reduktions- und Oxidationsvorgänge entsteht die typische Fleckung eines Pseudogleys (s. Bilder und Tafel).

1.6 Podsolierung

Quelle: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/08.htm , Translate: https://www.webtran.de/

Profil:

In gut durchlässigen, saueren Böden mit relativ niedrigem Tongehalt kann eine Pseudovergleyung nicht stattfinden.

Gründe:

- eine Tonverlagerung, die zu einer Stauschicht im Unterboden führen würde, findet wegen der niedrigen pH-Werte meist nicht statt (Aluminium!)
- wenn sie stattfinden (pH-Wert über 5,6), reicht der geringe Tongehalt für eine Stauschichtbildung nicht aus.

In diesen Böden läuft oft eine Podsolierung ab. Darunter versteht man (vergleichbar mit der Tonverlagerung) die...

Auswaschung von Nährstoffen (auch Eisen, Aluminium) und Humusstoffen (schwarze Färbung!) in sehr sauren, gut durchlässigen Böden.

Säuren und andere…

organische Stoffe dienen als "Chelatbildner"

und bringen die Nährstoffe und Humusteilchen in Lösung. Dies geschieht vor allem auf Standorten mit Rohhumusauflage (s. oben!).

1.7 Vergleyung

Quelle:http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/06.htm

Eine Vergleyung hat primär nichts mit der normalen Bodenentwicklung zu tun, sondern ist ein...

von hohem Grundwasserstand beeinflusster Vorgang

in relativ gut durchlässigen Böden (z.B. Sandböden in Flußauen).

Vorgang:

1. Im überstauten Grundwasserbereich lösen sich Fe, Mn und Nährstoffe aufgrund des Sauerstoffmangels (Reduktion).
2. Die gelösten Ionen wandern nach oben in Bereiche höherer Sauerstoffkonzentration.
3. Dort verbinden sie sich wieder mit Sauerstoff (Oxidation) und lagern sich wieder ab (Ausfällung)

1.8 Erosion

Quellen: https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031249/index.php

Die Erosion ist geologisch gesehen über längere Zeiträume hinweg auch an der Bodenbildung beteiligt.

Oft entsteht durch abgelagertes Material am Hangfuß ein sehr mächtiger Oberboden die Bildung eines neuen Bodentyps mit guten Nährstoff- und Wasserverhältnissen einsetzt.

Ackerbaulich betrachtet ist Erosion ein

Boden zerstörender Prozess

Seit Anfang der 80er Jahre gibt es in Bayern eine Methode, die mögliche Erosionsgefahr eines Standortes zu schätzen.

Dabei wird der durchschnittliche Bodenabtrag (A) in Tonnen pro Hektar und Jahr ermittelt anhand folgender Standortparameter:

- Niederschlagsintensität (R)
- Bodenart (K)
- Hanglänge (L)
- Hangneigung (S)
- Fruchtfolge (C)
- Erosionsschutzmaßnahmen (P)

Diese Faktoren fließen ein in die Gleichung:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

EDV-Programm: https://www.lfl.bayern.de/abag

1.9 Turbation oder Bodenvermischung

1.9.1 Bioturbation

Organische Substanz und Humus werden durch Bodentiere in tiefere Schichten eingemischt. Es entstehen sehr mächtige humose A-Horizonte. Durch diesen Vorgang entstanden die …

Schwarzerden

http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/03.htm

Voraussetzungen:

- Kontinentalklima, d.h. kalte Winter und trockene Sommer (geringe Zersetzung, Bodentiere suchen Schutz in tiefer gelegenen Bodenschichten)
- günstige Wasser-, Luft- und Nährstoffverhältnisse (Förderung des Bodenlebens)

1.9.2 Hydroturbation

In Tonböden mit hohem Anteil an stark quellenden TM entstehen bei Trockenheit oft breite Schrumpfungsrisse von 1- 2 m Tiefe, in welche organisches Material und schwarzer Oberboden fällt.

Nach Nässeperioden bilden sich neue Risse, der Vorgang beginnt von vorne. Folge:

- tiefgründige Durchmischung
- tiefe, sehr mächtige humose und tonreiche Oberböden

2. Geologieabhängige Bodentypen und ihre Eigenschaften

Quellen: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/06.htm

2.1 Deutsche Bezeichnung der Bodenhorizonte

Bei der Bodenbildung entstehen Bodenschichten mit unterschiedlichen Färbungen und Eigenschaften. Diese Schichten werden als Horizonte bezeichnet.

A	Mineralischer Oberbodenhorizont mit Akkumulation organischer Substanz und/oder Verarmung an mineralischer Substanz.
Ah	Bis zu 15% akkumulierter Humus, dessen Menge nach unten hin abnimmt. Humus färbt dunkel. h von Humus.
Ae	Sauergebleicht, ausgewaschen; an organischer Substanz, Ton und Eisen verarmt, daher aufgehellt (grau). Über einem Bh oder Bs liegend. e von eluvial (ausgewaschen).
Ahe	Ae-Horizont, ungleichmäßig humos, violettstichig mit diffus-wolkigen Bleichflecken, deren Farbe dem Ae
Al	Durch Tonverlagerung entstanden, an Ton verarmt, liegt über einem tonangereichertem Bt. l von lessiviert = ausgewaschen.
Ap	Durch regelmäßige Bodenbearbeitung geprägt, meist als Ackerkrume bezeichnet. p von Pflügen.
B	Mineralischer Unterbodenhorizont mit einer Änderung der Farbe und des Stoffbestandes gegenüber dem Ausgangsgestein durch eingelagerte Stoffe aus dem Oberboden und/oder durch Verwitterung entstanden und mit < als 75 Vol. % Festgesteinresten.
Bv	Durch Verwitterung verbraunt und verlehmt gegenüber dem nach unten folgenden Hor. (gleiches Substrat vorausgesetzt). Geringerer Carbongehalt, röter, i.d.R. ton- oder schluffreicher und Skelett-gehalt geringer. v von verwittert.
Bh	Durch Einwaschung von Humusstoffen angereichert (Illuvialhorizont), bei dem die organische Sub-stanz gegenüber dem Ae-Horizont zunimmt. H von Humus.
Bs	Durch Einwaschung mit Sesquioxiden (v.a. Fe, Al) angereichert (Illuvialhorizont), dadurch röter als die darüber und darunter folgenden Horizonte. s von Sesquioxid.
Bsh Bhs	Übergangs-Horizonte, der hinten stehende Buchstabe bezeichnet die überwiegenden Eigenschaften.
Bt	Durch Einwaschung mit Ton angereichert (Illuvialhorizont); höherer Tongehalt gegenüber den Al, ausgeprägte Tonhäute von kräftig brauner Farbe auf den Hohlraumwandungen. t von Ton.
C	Mineralischer Unterbodenhorizont, Gestein, das unter dem Boden liegt, i.d.R. das Ausgangsgestein, aus dem der Boden entstanden ist.
Cv	Schwach verwittert, Übergang zum frischen Gestein, bei Festgesteinen zu Bruchstücken verwittert. v von verwittert.
S	Mineralbodenhorizont mit Stauwassereinfluß, zeitweilig oder ständig luftarm. S von Stauwasser.
Sw	Stauwasserleitend; > 80 Flächen % Bleich- und Rostflecken sowie Konkretionen; zeitweilig nass und höhere Wasserdurchlässigkeit als der darunter liegende Horizont (Sd). w von wasserleitend.
Sd	Wasserstauend; höhere Lagerungsdichte und geringere Wasserdurchlässigkeit als darüber liegende Sw und marmoriert. d von dicht.
G	Mineralbodenhorizont mit Grundwassereinfluss und bestimmten hydromorphen Merkmalen.
Go	Oxidiert; > 10 Flächen % Rostflecken, besonders an den Aggregatoberflächen und im Grundwasser-schwankungsbereich entstanden. o von oxidiert.
Gr	Reduziert; nass an über 300 Tagen im Jahr, wenn nicht entwässert und Farbe von schwarz über grau bis weiß oder graugrün bis blaugrün; r von reduziert.

2.2 Bodentypen auf quarz- und silikatreichen, meist tonarmen Gesteinen

Quellen: http://www.lfl.bayern.de/iab/boden , http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07.htm

Auf diesen meist kalkfreien Ausgangsgesteinen entstehen saure, kalkbedürftige Böden.

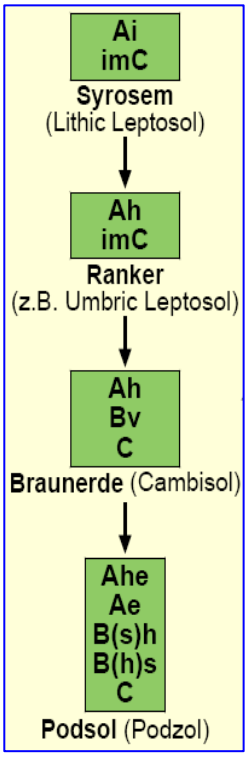
1. Granit- Verwitterungsböden:
   Typisch für süddeutsche Mittelgebirge. Beispiele in Süddeutschland:
   http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/profilsuche.htm?auswahl=gebiet&gebiet%5b%5d=8

   Hier findet eine mehr oder weniger tonarme Verwitterung der vulkanischen, von Natur aus kalkfreien **Eruptivgesteine der Perm- Zeit** (vor 300 Mio Jahre) statt. Es entstehen **flachgründige** Bodentypen.

2. Sandsteinverwitterungsböden:
   Die **Sandsteinsedimente der Trias-Zeit** (vor 250 Mio Jahre) haben einen bedeutenden Flächenanteil in Süddeutschland.

   Aufgrund der besseren Verwitterbarkeit haben sie bessere Eigenschaften und sind tiefgründiger als die Granitverwitterungsböden.

Folgende Böden entstehen insbesondere auf Granit oder Sandstein:



Rohboden

Ranker: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/02.htm

Saure Braunerde

Podsol: http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/08.htm

Translate: https://www.webtran.de/

2.3 Lockeres, durchlässige Sedimente mit mittlerem Kalk - und Tongehalt

Zu dieser Klasse zählen verschiedene Sedimente des Känozoikum (Erdneuzeit)
Quelle: http://www.paleoweb.net/pal-ges/pal-wann.htm

- Paläogen (frühes Tertiär, 65 Mio Jahre)
- Neogen (spätes Teriär, 24 Mio Jahre: in Süddeutschland kalkhaltige Schottergesteine
- Quartär (1,8 Mio Jahre): eiszeitlicher Löß

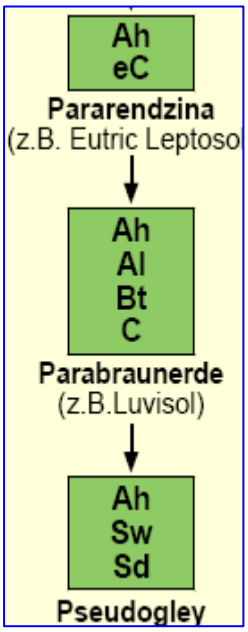
Die Ackerkrume ist je nach Entwicklung noch kalkhaltig oder schon entkalkt. Die pH-Werte liegen bei kalkhaltigen Böden naturgemäß über 6,8. Die davon abhängige biologische Aktivität ist allgemein sehr gut.

1. **Auf Löß** entstehen Bodenarten...
   - mit sehr guter Porosität im optimalen Lehmbereich (Ls, Lu, Lt) und damit
   - hoher nFk und
   - hoher KAK

2. Bei kalkhaltigen tiefgründigen Sanden (Bodenart Sl) entstehen Böden mit...
   - mittlerer bis höherer nFk (gute Durchwurzelung)
   - niedriger KAK (geringer Tongehalt) aber
   - hoher biologischer Aktivität (pH!)

   Typische Standorte sind kalkhaltige Sedimente in Flusstälern

Bodenentwicklung auf Löß:
Quellen : http://www.lfl.bayern.de/iab/boden



Pararendzina:

eutrophe Braunerde:
http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/04.htm

Parabraunerde:
http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/05.htm

sekundärer Pseudogley
http://www.lfl.bayern.de/iab/boden

2.4 Jura- Sedimente (Kalkgestein)

Quellen: http://www.lfl.bayern.de/iab/boden

Bei der Verwitterung entstehen allgemein

- flachgründige Böden
- oft stark mit **Kalksteinen** durchsetzt.

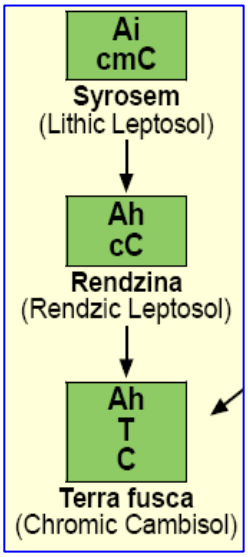
Je nach Verunreinigungen, die im Kalkgestein bei seiner Entstehung (Meeressediment!) eingeschlossen wurden, bilden sich...

- sehr tonige Böden (tonige Einschlüsse) oder
- sandige bis lehmige Böden

Aufgrund des hohen pH-Wertes, der Flachgründigkeit (Rendzina!) und des relativ hohen Tongehaltes zeigen diese Böden eine...

- mittlere bis hohe KAK
- geringe nFK
- hohe biologische Aktivität und
- gute Humusqualitäten (Mull)

Bodenentwicklung:



Rohboden

Rendzina

Nährstoffreiche Braunerde oder Terra fusca