

Bodenfruchtbarkeit

Schuljahr 2013/14

Unterrichtsleitfaden
mit ergänzenden Links aus dem Internet.

Ein herzlicher Dank an die Quellenautoren!
Quellenangaben im Text!

Technikerschule für Agrarwirtschaft
Triesdorf

Autor und Kopierrechte:
Helmut Rogler

Inhaltsverzeichnis

GUTE FACHLICHE PRAXIS UND BODENSCHUTZ	5
1. Cross Compliance- Regelungen zum Bodenschutz	5
1.1 Erhaltung der org. Substanz und der Bodenstruktur.....	5
1.1.1 Ausschließlicher Anbau von Humusmehrern.....	6
1.1.2 Mindestens drei Kulturen	6
1.1.3 Humusbilanz.....	7
1.1.4 Bodenuntersuchung auf Humusgehalt.....	7
1.2 Erosionskartierung.....	8
1.2.1 Erosionskataster.....	9
1.2.2 Bewirtschaftungsauflagen	9
BODENFRUCHTBARKEIT	11
1. Die Bodenfruchtbarkeit beeinflussende Faktoren.....	11
2. Vorgänge der Bodenbildung (Übersicht)	12

3. Verwitterung der Gesteine	12
3.1 Gesteine sind unterschiedlich leicht verwitterbar.....	13
3.2 Physikalische Verwitterung.....	13
3.3 Chemische Verwitterung	14
3.3.1 Auflösen von Salzen durch Wasser	14
3.3.2 Auflösen von Kalkgestein durch Säuren	14
3.3.3 Auflösen/Zerteilen von Silikaten durch Säure.....	14
3.3.4 Verwitterung von Silikaten durch Oxidation.....	14
4. Bodenarten.....	15
4.1 Korngrößenklassen.....	15
4.2 Bodenartendreieck.....	15
4.2.1 Bezeichnungen der Bodenarten	15
4.3 Bestimmungsmethoden für die Korngrößenzusammensetzung	16
4.3.1 Fingerprobe	16
4.3.2 Sieb- und Schlämmanalyse (Labormethode).....	17
5. Die Hohlräume des Bodens (Porenverteilung, Porosität).....	18
5.1 Empfehlungen nach Bodenschutzgesetz	18
5.2 Größenverteilung der Hohlräume.....	19
5.2.1 Mittelporenanteil	19
5.2.2 Grobporenanteil.....	20
5.3 Bodenwasser.....	21
5.3.1 Kapillare Saugspannung (pF-Wert).....	21
5.3.2 Permanenter Welkepunkt	21
5.3.3 Sickerwasser	21
5.3.4 Nutzbare Feldkapazität und andere Begriffe	22
5.3.5 Bestimmung der Feldkapazität auf dem Acker	23
5.4 Schlussfolgerungen für den Pflanzenbau	24
5.4.1 Sandböden	24
5.4.2 Tonböden.....	24
5.4.3 Lehm Böden.....	24
5.5 Messung der Bodenfeuchte für Bewässerungsempfehlungen	25
5.5.1 Messgeräte.....	25
5.5.2 Staatlicher Beratungsservice	25
5.6 Bewässerung in ariden Gebieten	27
5.6.1 Problem Versalzung der Böden.....	27

6. Mineralische Bestandteile des Bodens	28
6.1 Primäre Minerale	28
6.1.1 Quarz (SiO ₂)	28
6.1.2 Silikate.....	28
6.1.2.1 Glimmer.....	29
6.1.2.2 Feldspat	30
6.1.2.3 Kettensilikate Pyroxene und Amphibole.....	30
6.2 Sekundäre Minerale (Tonminerale).....	31
6.2.1 Entstehung.....	31
6.2.2 Schichtstruktur.....	31
6.2.3 Ersatz von Silizium im Strukturgitter.....	32
6.2.4 Pflanzenbaulich wichtige Eigenschaften.....	33
7. Kolloide und Austauschkapazität	35
7.1 Dauerhafte (permanente) Kationenaustauschkapazität	36
7.2 Variable (pH- abhängige) Austauschkapazität	36
7.3 Anionenaustauschkapazität	37
7.4 Austauschvorgänge und Basensättigung	37
7.5 Größenordnung und Schätzung der Kationenaustauschkapazität.....	38
7.5.1 Austauscherflächen	38
7.5.2 Ionenkonkurrenz um die Austauscherflächen	38
7.5.3 Größenordnung der KAK in Ackerböden	38
7.5.4 Schätzung der KAK „im Feld“	39
8. Biokohle zur Bodenverbesserung?.....	40
9. Humus	41
9.1 Mineralisation und Humusaufbau	41
9.2 Humusbildung ist standort- und bodenabhängig.....	42
9.3 Eigenschaften der Humusstoffe:.....	42
9.4 Humusgehalt und Humusbilanz	43
9.4.1 Humusbilanzierung nach Cross Compliance.....	43
10. Bedeutung des pH-Werts.....	44
10.1 pH- abhängige Vorgänge im Boden.....	44
10.2 Ursache von Säureschäden	44
10.3 Optimaler pH-Wert.....	45
11. Das Bodenleben als wichtiger Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit	45
12. Spatendiagnose	46
12.1 Praktische Vorgehensweise	47
12.1.1 Beurteilung eines Bodenblocks	47
12.1.2 Abwurfprobe	48
12.2 Beurteilung der Bodenoberfläche.....	48

BODENBILDUNG	49
Faktoren der Bodenbildung	49
1.1 Verwitterung des Ausgangsgesteins und Mineralbildung	49
1.2 Humusbildung	49
1.3 Versauerung, Kalkauswaschung.....	49
1.4 Tonverlagerung	50
1.5 Pseudovergleyung	50
1.6 Podsolierung.....	51
1.7 Vergleyung	51
1.8 Turbation oder Bodenvermischung	52
1.8.1 Bioturbation.....	52
1.8.2 Hydroturbation	52
2. Geologieabhängige Bodentypen und ihre Eigenschaften.....	53
2.1 Bodenhorizonte	53
2.2 Bodentypen auf quarz- und silikatreichen, meist tonarmen Gesteinen	54
2.3 Lockergestein mit mittlerem Kalk - und Tongehalt (Löß)	57
2.4 Kalkgesteine	59
BODENSCHÄTZUNG	59

[Zurück](#)

Gute fachliche Praxis und Bodenschutz

Der Landwirt ist durch den Gesetzgeber verpflichtet, nach „Guter fachlicher Praxis“ zu wirtschaften. Darunter wird u.a. verstanden...

- Ein verantwortungsbewusstes Wirtschaften...
- gegenüber Natur, Umwelt und Gesellschaft
- im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen und
- unter Berücksichtigung staatlichen Beratungsaussagen

Die dafür wichtigsten Gesetze sind...

3. das [Pflanzenschutzgesetz](#) und seine Ausführungsbestimmungen
2. die [Düngeverordnung](#)
1. das [Bodenschutzgesetz](#) und
4. die einzuhaltenden Regelungen zu [Cross Compliance](#) und deren gesetzliche Grundlage

1. Cross Compliance- Regelungen zum Bodenschutz

Quelle: Bodenschutzgesetz ([§ 17](#)), LfL [Bayern](#), [CC-Broschüre](#), [Checkliste 2013](#) (pdf)

Die Agrarpolitik verpflichtet die Landwirte zu Gegenleistungen für die flächen- und produktionsunabhängigen Subventionszahlungen. Im Bereich Boden (und Düngung) sind das folgende Regelungen:

Die Verpflichtung zur Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit wird insbesondere geregelt durch...

- [Bodenschutzgesetz](#) ([§ 17](#)) und
- [Cross Compliance](#) ([DirektZahlVerpflV](#))

Wesentliche Inhalte sind...

- o Erosionsschutz ([§2](#))
- o Förderung von Humus und organischer Substanz und
- o Erhaltung der Bodenstruktur ([§3](#))

1.1 Erhaltung der org. Substanz und der Bodenstruktur

Humusgehalt und Bodenstruktur sind wesentliche Einflussgrößen der Bodenfruchtbarkeit. Durch die Bewirtschaftung muss die...

organische Substanz im Boden erhalten und die Bodenstruktur geschützt

werden. Ein Betrieb kann unter folgenden Möglichkeiten wählen (CC-Broschüre S. 14)...

- Ausschließlicher Anbau von humusmehrenden Kulturen
- Anbauverhältnis mit mindestens drei Kulturen
- Erstellen einer Humusbilanz
- Durchführen einer Bodenhumusuntersuchung
- Flächentausch mit anderen Betrieben (unter bestimmten Voraussetzungen)

1.1.1 Ausschließlicher Anbau von Humusmehrern

[Zurück](#)

Quelle: LfL [Bayern](#), CC-Broschüre [2013](#) (S. 99),

Humusmehrern sind nach den CC-Bestimmungen:

NC	Nutzungsart	NC	Nutzungsart	NC	Nutzungsart
171	Körnermais	320	Sonnenblumen	429	Sonstige Ackerfutterfläche (einschl. Sudangras)
172	Corn-Cob-Mix	330	Sojabohnen (Hauptfrucht)	441	Grünlandeinsaat (Wiesen, Mähweiden, Weiden)
210	Erbsen	341	Allein zur Körnergewinnung (Leinsamen)	545	Stillgelegte Ackerflächen nach FELEG
220	Ackerbohnen	390	Sonstige Ölfrüchte (z. B. Körnersenf)	560	Stillgelegte Ackerflächen i. R. von AUM
230	Süßlupinen	421	Klee	591	Ackerland aus der Erzeugung genommen
240	Gemenge aus Erbsen / Ackerbohnen	422	Kleegras, Klee/Luzerne-gras-Gemisch	852	Unbestockte Rebfläche
290	Sonstige Hülsenfrüchte	423	Luzerne	912	Samenvermehrung für Gras
311	Winterraps	424	Ackergras	913	Samenvermehrung für Klee
312	Sommerraps, Winter- / Sommerrüben	428	Wechselgrünland	941	Grünbrache im ökologischen Landbau

Baut der Betrieb nur Humusmehrern an...

ist er von weiteren Auflagen befreit.

Keine weiteren Auflagen wie...

- Humusbilanz oder
- Bodenuntersuchung auf Humusgehalt oder
- 3-gliedrige Fruchtfolge

CC-Broschüre S. 13

Erstaunlich...

Körnermais-Monokultur wäre möglich!?
(s. CC-Broschüre [2013, Seite 13!](#))

oder...

1.1.2 Mindestens drei Kulturen

Das Anbauverhältnis (Fruchtfolge) muss aus...

- **mindestens 3 Kulturen** bestehen.
- Jede dieser Kulturen muss mindestens 15 % (!) der Ackerfläche bedecken.
- Eine räumliche (Teilung der Anbaufläche) wie auch eine zeitliche Fruchtfolge (jährlicher Wechsel der Kulturen) sind möglich.

Als **eigenständige Kulturen** gelten...

- Jede Getreideart, auch Sommerform und Winterform gelten als eigenständige Kultur
- Stilllegungsflächen

Als Kulturen gelten **nicht...**

- Zwischenfrüchte und Untersaaten
- Dauerkulturen (sie können in eine Fruchtfolge nicht integriert werden)

oder...

1.1.3 Humusbilanz

[Zurück](#)

Quelle: LfL [Bayern](#) (Excel-[Programm](#), Stand 2013)

Der Betrieb kann durch eine Humusbilanz die Erhaltung der organischen Substanz nachweisen.

- Erstellung bis 31. März des nächsten Jahres (Betriebsdatenordner!)
- Grenzwert: mindestens **-75 kg Humus-C/ha und Jahr** (s. Excel-Programm)

Beispielberechnung:

1. Schritt: Ermittlung des Humusbedarfs							
Fruchtfolge	Anbauumfang (ha)	Humuswirkung je Hektar (in kg Humus-C)		Humuswirkung auf Gesamtbetrieb (in kg Humus-C)			
	(1)	(2)		(1) * (2) = (3)			
Kartoffel	10	- 760		- 7 600			
Winterweizen	30	- 280		- 8 400			
Brache (Selbstbegrünung ab Herbst)	4	+ 180		+ 720			
Summe Humusbedarf	44	-		- 15 280			

2. Schritt: Ermittlung der Humusproduktion (hier Humuslieferung durch Nebenprodukte, die auf dem Feld bleiben)							
	Anbauumfang (ha)	Hauptfruchtertrag (t pro ha)	Relation Haupternte-/Nebenprodukte	Ertrag Rübenblatt/Stroh (t pro ha)	Faktor	Humusproduktion je Hektar (kg Humus-C)	Humusproduktion auf Gesamtbetrieb (kg Humus-C)
	(1)	(2)	(3)	(2) * (3) = (4)	(5)	(4) * (5) = (6)	(6) * (1) = (7)
Kartoffel	10	40	-	-	-	-	0
Winterweizen	20	8,5	0,8	6,8	100	680	+ 13 600
Summe Humusproduktion							+ 13 600

3. Schritt: Bilanzierung	
Bilanz	kg Humus-C
Summe Humusbedarf	- 15 280
Summe Humusproduktion	+ 13 600
Gesamtbilanz	- 1 680
Humusbilanz in kg Humus-C pro Hektar und Jahr (1 680 kg Humus-C / 44 ha)	- 38

Auffallend ist der große Einfluss des Getreidestrohs!

Faustregel:

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

oder...

1.1.4 Bodenuntersuchung auf Humusgehalt

Quelle: [CC-Broschüre 2013](#) S. 14

Die Humusuntersuchung darf nicht älter als 6 Jahre sein mit folgendem Ergebnis:

Bodenart 01 und 02: >1% Humus, ab Bodenart 03 >1,5% Humus

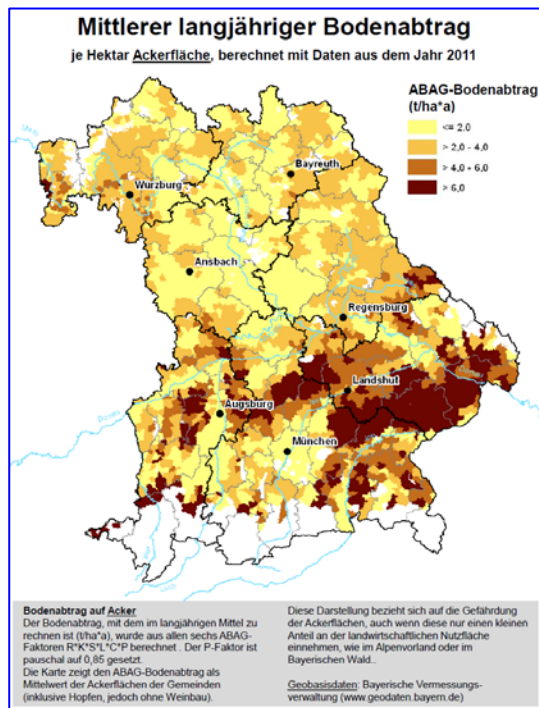
1.2 Erosionskartierung

[Zurück](#)

Quelle: LfL [Bayern \(Erosionsatlas\)](#)

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

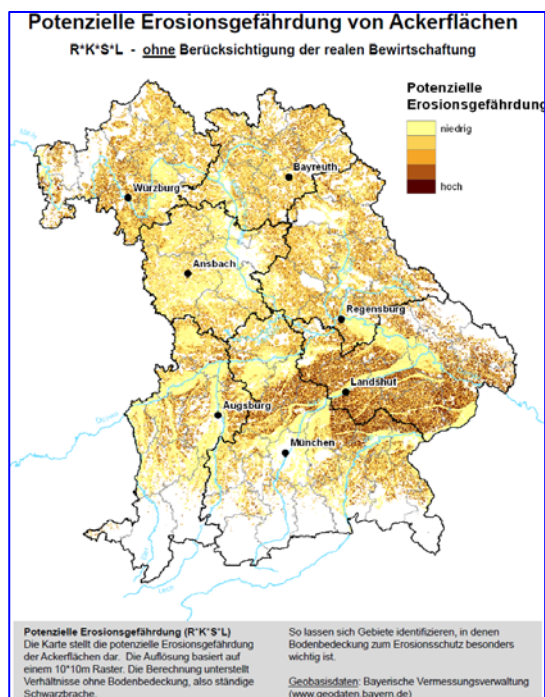
jährliche Bodenabtrag in t/ha

ermittelt anhand folgender Standortparameter:

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

Diese Faktoren fließen ein in die Gleichung:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$$



Datengrundlage für den Erosionsschutzkataster ist die

Potenzielle Erosionsgefährdung

Sie beschreibt unabhängig von der tatsächlichen Bewirtschaftung die Höhe der möglichen Erosion. Sie ist somit abhängig von den natürlichen Standortfaktoren...

- Niederschlagsintensität (R-Faktor)
- Bodenart (K-Faktor)
- Hangneigung (S-Faktor)
- Hanglänge (L-Faktor)

Die Gefährdungsklassen „Wasser 1“ und „Wasser 2“ sind nur abhängig von den

Faktoren K und S.

1.2.1 Erosionskataster

[Zurück](#)

Quelle: CC-[Broschüre](#) 2013 S. 9f, s. auch [Abruf der Betriebsdaten](#) (iBALIS)

Erosionsgefährdungsklassen:

Erosionsgefährdungsklasse		Bezeichnung	KS
CC-Wasser 1		Erosionsgefährdung	0,3 - <0,55
CC-Wasser 2		hohe Erosionsgefährdung	≥0,55
Bodenart bedingtes Mindestgefälle für die Einstufung in CC-Wasser Klasse			
Bodenart	Entstehung	ab einem Gefälle von ... % in *	
		CC-Wasser 1	CC-Wasser 2
S	D, Al, V	21	kommt nicht vor
SI	D, Al, V	16	25
IS	D, Al, V	12	20
	Lö	10	17
	Gesteinsböden	16	25
SL	D, Al, V	9-10	14-17
	Lö	8	13
	Gesteinsböden	16	25
sL	D, Al	7	12
	Lö	6	10
	V	9	14
	Gesteinsböden	12	20
L	D, Al	6	10
	Lö	5	9
	V	7-8	12-13
	Gesteinsböden	12	17-20
LT	D, Al	7-8	12-13
	V	9-10	14-17
	Gesteinsböden	12	20
T	D, Al	9	14
	V	10	17
	Gesteinsböden	16	25

* z.T. unterscheidet sich das Mindestgefälle nach der Zustandsstufe im Klassenbescrieb der Bodenschätzung

Im Mehrfachantrag werden die Gefährdungsklassen ausgewiesen

Einsichtnahme auch über [iBALIS](#)

1.2.2 Bewirtschaftungsauflagen

Quelle: [CC-Broschüre 2013](#) S. 101f.

Auflagen bei Gefährdungsklasse 1:

Anbau im Wirtschaftsjahr 2012/2013	Auflagen		
	nach Ernte der Vorfrucht bis 30.11.2012	1.12.2012 bis 15.2.2013	ab 16.2.2013
alle Ackerkulturen	Keine weiteren Anforderungen, wenn Feldstück mit Agrarumweltmaßnahmen zum Erosionsschutz (A32, A33, A35 ¹) gefördert wird		
alle Ackerkulturen	Bewirtschaftung quer zum Hang		
alle Ackerkulturen	raue Winterfurche, wenn Vorfrucht späträumende Gemüsekultur ²)		keine weiteren Anforderungen
Winterkulturen und Winterzwischenfrüchte	Pflügen, wenn Aussaat vor dem 01.12.	Pflügen verboten	keine weiteren Anforderungen
frühe Sommerkulturen ²)	raue Winterfurche		keine weiteren Anforderungen
Mais, Zuckerrüben	raue Winterfurche		Erosionsschutzstreifen
Kartoffeln, Gemüsekulturen	raue Winterfurche		keine weiteren Anforderungen
andere Sommerkulturen und Reihenkulturen ²) (ohne Winterzwischenfrüchte)	Pflügen verboten		keine weiteren Anforderungen

Auflagen bei Gefährdungsklasse 2:
[Zurück](#)

Anbau im Wirtschaftsjahr 2012/2013	Auflagen		
	nach Ernte der Vorfrucht bis 30.11.2012	1.12.2012 bis 15.2.2013	ab 16.2.2013
alle Ackerkulturen	Keine weiteren Anforderungen, wenn Feldstück mit Agrarumweltmaßnahmen zum Erosionsschutz (A32, A33, A35 ¹) gefördert wird		
Winterkulturen	Aussaat vor dem 1.12. unmittelbar nach dem Pflügen	Pflügen verboten	keine weiteren Anforderungen
Sommerkultur mit Anbau von Winterzwischenfrucht (ohne Reihenkulturen ²)	Aussaat der Zwischenfrucht vor dem 1.12. unmittelbar nach dem Pflügen	Pflügen verboten	Aussaat unmittelbar nach dem Pflügen
Sommerkultur ohne Anbau von Winterzwischenfrucht (ohne Reihenkulturen ²)	Pflügen verboten		Aussaat unmittelbar nach dem Pflügen
Reihenkulturen ² ohne Zwischenfrucht	Pflügen verboten		Direkt- oder Mulchsaat der Reihenkultur (Pflügen verboten)
Reihenkulturen ² mit Anbau von Zwischenfrüchten	Aussaat der Zwischenfrucht vor dem 1.12. unmittelbar nach dem Pflügen	Pflügen verboten	Direkt- oder Mulchsaat der Reihenkultur (Pflügen verboten)
frühe Sommerkulturen ²	raue Winterfurche		keine weiteren Anforderungen
Mais, Zuckerrüben (als Reihenkultur ²)	raue Winterfurche		Erosionsschutzstreifen
Kartoffeln, Gemüsekulturen (als Reihenkultur ²)	raue Winterfurche		Erosionsschutzstreifen oder Anbau unter Folie/Vlies

Diskussion Fruchtfolgebeispiele s. Unterricht!

Bodenfruchtbarkeit

1. Die Bodenfruchtbarkeit beeinflussende Faktoren

Weitere Infos: u.a. uni-muenster.de.

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** ein standortabhängiger Parameter, der beeinflusst wird von...

- dem **Gestein**,
- dem daraus entstandenen **Boden**,
- dem Gehalt an organischen Bestandteilen (**Humus**),
- dem **Bodenleben**
- den Witterungs- und **Klimaeinflüssen**
- und nicht zuletzt auch vom **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
 - o chemischen und
 - o physikalischen Eigenschaften

2. Bodenarten und ihre Eigenschaften wie...

- a) Nährstoffverhältnisse (natürliche Freisetzung, Speicherung und Festlegung)
- b) pH-Wert / Kalkgehalt
- c) Bearbeitbarkeit

3. bodenartabhängigen physikalischen Eigenschaften wie...

- a) Porenvolumen und
- b) Porenverteilung und die Auswirkungen auf Wasserhaushalt und Lufthaushalt
- c) Tongehalte und natürliche Nährstoffspeicherung

4. standortabhängigen Gehalte an organischen Bestandteilen (Humus)

5. biologischen Aktivität des Bodens, d.h. Art und Umfang des Bodenlebens

6. bodenartenabhängig entstandenen Bodentypen und ihre pflanzenbaulichen Eigenschaften

7. pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Verbesserung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit

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

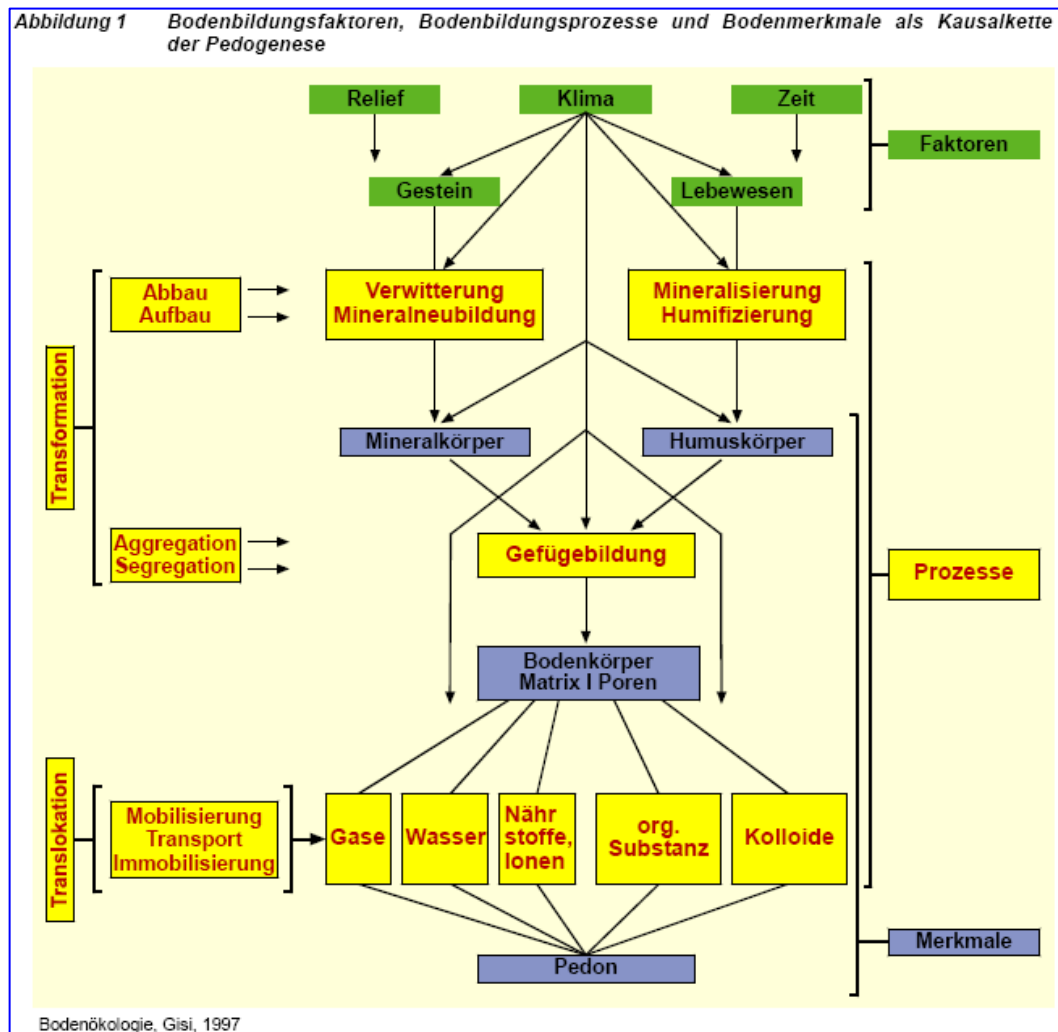
2. Vorgänge der Bodenbildung (Übersicht)

[Zurück](#)

Quelle: TUM Weihenstephan

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

Folgende Übersicht zeigt die allgemeinen Zusammenhänge:



3. Verwitterung der Gesteine

Weitere Info [Uni Münster](#)

Ohne den Vorgang der Verwitterung von Gesteinen gäbe es keinen Boden und somit kein Leben. 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).

[Zurück](#)

3.1 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)

3.2 Physikalische Verwitterung

Quelle: TUM Weihenstephan

Temperatur- und Frostsprengung:

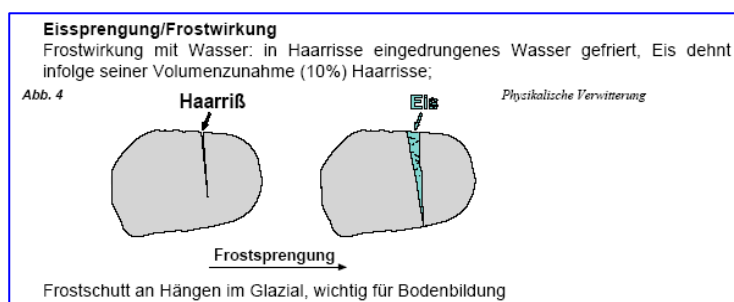
Die Gesteine haben keine einheitliche Färbung (sie können sehr unterschiedlich gefleckt sein) und sind sehr schlechte Wärmeleiter.

Das führt zu folgender Erscheinung bei Sonneneinstrahlung:

- Dunkle Bereiche erwärmen sich schneller/ besser als helle Bereiche
- Der äußere Bereich und der Sonne zugewandte Bereich erwärmt sich intensiver

Temperaturunterschiede führen zu Spannungen und Rissbildungen.

Wasser sickert in diese Risse...



Wenn Wasser gefriert...

- dehnt sich das Eis aus, es braucht mehr Raum (ca 10%) als das Wasser
- Während der Ausdehnung können Drücke von 2 Tonnen pro Quadratzentimeter entstehen.

Durch das Ausdehnen des Eises in den Ritzen wird das Gestein gesprengt.
(s. auch „Frostgare“)

[Zurück](#)

Weitere physikalische Verwitterungsvorgänge sind z.B. **Salzsprennung**...



Salzhaltiges Wasser sickert in die Risse...

- Durch Verdunstung bilden sich Salzkristalle
- Diese nehmen einen größeren Raum ein und sprengen den Riss

s. „Salpeterwände“ in alten Viehställen:
Die Nitratsalze im Mauerwerk lassen den Putz bröckeln

3.3 Chemische Verwitterung

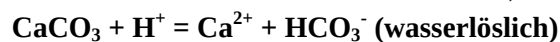
Quelle: TUM Weihenstephan

3.3.1 Auflösen von Salzen durch Wasser

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

3.3.2 Auflösen von Kalkgestein durch Säuren

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



(Die rückwärts ablaufende Reaktion ließ große Tropfsteinhöhlen entstehen).

3.3.3 Auflösen/Zerteilen von Silikaten durch Säure

Bildung von Tonmineralen:

Primäre Silikate → Illit → Smectit (+ Mg^{2+} , K^+ u.a.)

Primäre Silikate wandeln sich unter Einfluss von Säuren um zu **Illit** und **Smectit**, wobei unter anderem Magnesium- und Kalium-Ionen frei werden.

Es entstehen für die Bodenfruchtbarkeit sehr wichtige Tonminerale

3.3.4 Verwitterung von Silikaten durch Oxidation

Bei Oxidation verschiedener Elemente (z.B. Eisen) werden die Silikate brüchig und fallen auseinander. Typisches Kennzeichen der Oxidation ist die

Braunfärbung der Böden durch Freisetzung von oxidiertem Eisen (Rost!)

Zerstörung von Tonmineralen:

Vorgänge in extrem warmen Klimabereichen (z.B. Afrika)

Smectite → Chlorite → Kaolinit → freie Oxide

In stark sauren Böden und bei hohen Temperaturen entstehen rote, wenig fruchtbare Böden.

[Zurück](#)

4. Bodenarten

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

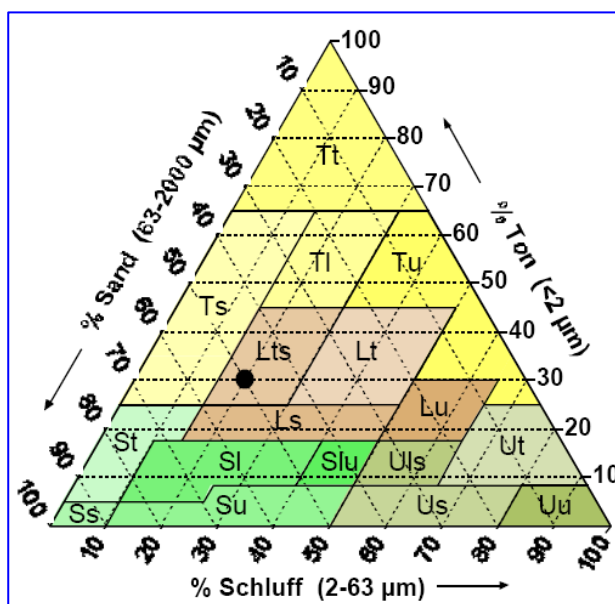
4.1 Korngrößenklassen

Quelle: TUM Weihenstephan

Die mineralischen „Bodenteilchen“ werden nach ihrer Größe eingeteilt in...

- **Sand:** 2,0 - 0,063mm
- **Schluff:** 0,063 - 0,002mm
- **Ton:** kleiner 0,002mm

4.2 Bodenartendreieck



Das Bodenartendreieck ist eine

- Anordnung der drei Korn-größenklassen, die es erlaubt, auf „einen Blick“ die Bodenart abzulesen.
- Voraussetzung dafür ist die Kenntnis über den Anteil von zwei der drei Fraktionen (Schluff, Ton, Sand). Bestimmung s. unten!

Die Mischung macht's!

Welche Bodenart ist gekennzeichnet durch...

- a) 20% Ton und 20% Schluff?
- b) 70% Schluff und 20% Sand?
- c) 40% Ton und 25% Schluff?

4.2.1 Bezeichnungen der Bodenarten

Es gibt verschiedene Bezeichnungssysteme, das oben verwendete ist ein sehr gebräuchliches:

Großer Buchstabe bezeichnet den Mischungsschwerpunkt	kleiner Buchstabe konkretisiert den Schwerpunkt
▪ hoher Sandanteil = S ▪ hoher Schluffanteil = U ▪ hoher Tonanteil = T ▪ Lehm = L =optimale Mischung Sand + Schluff + Ton	▪ Betonung auf Sandanteil = sandig = s ▪ Betonung auf Schluffanteil = schluffig = u ▪ Betonung auf Tonanteil = tonig = t ▪ Apostroph = „schwach“ (z.B. s') ▪ Querbalken = „stark“ (z.B. s)

Im Rahmen der Bodenuntersuchung nach CAL werden folgende Schlüsselnummern verwendet:

Schlüssel	Bodenart...	Schlüssel	Bodenart...
01	Sand S	05	schluffiger Lehm uL
02	schwach lehmiger Sand l'S	06	Toniger Lehm tL
03	lehmiger Sand lS	07	lehmiger Ton lT
04	sandiger Lehm sL	08	Ton T

[Zurück](#)

4.3 Bestimmungsmethoden für die Korngrößenzusammensetzung

4.3.1 Fingerprobe

Die Bodenart kann im Feld hinreichend genau mittels Fingerprobe bestimmt werden. Auch wird diese Methode in den Bodenuntersuchungslabors angewendet.

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 IS
3. Zerreiben auf der Handfläche		
a) in den Handlinien kein toniges Material sichtbar:	0 - 9	Sand S
b) in den Handlinien toniges Material sichtbar:	10 - 13	schwachlehmiger Sand I'S
4. Versuch, die Probe zur Wurst von halber Bleistiftdicke auszurollen		
a) nicht ausrollbar	19 - 24	stark sandiger Lehm sL
b) ausrollbar weiter bei 5.		
5. Quetschen der Probe zwischen Daumen und Zeigefinger in Ohrnähe		
a) starkes Knirschen	25 - 30	sandiger Lehm sL
b) kein oder nur schwaches Knirschen weiter bei 6.		
6. Beurteilen der Gleitfläche bei der Quetschprobe		
a) Gleitfläche stumpf	30 - 44	Lehm L
b) Gleitfläche glänzend weiter bei 7.		
7. Prüfen zwischen den Zähnen		
a) Knirschen	45 - 65	lehmiger Ton IT
b) butterartige Konsistenz	über 65	Ton T

Faustregel für die grobe Einteilung der Bodenarten:

Bodenart:	Sande	Lehme	Tone
Bezeichnung	St, Sl, Slu, Su	Ls, Lu, Lts, Lt	Ts, Tl, Tu, Tt
Schlüssel-Nr.	01-03	04-06	07-08
Tonanteil in %:	0 - 20	20 - 40	40-60 (und mehr)

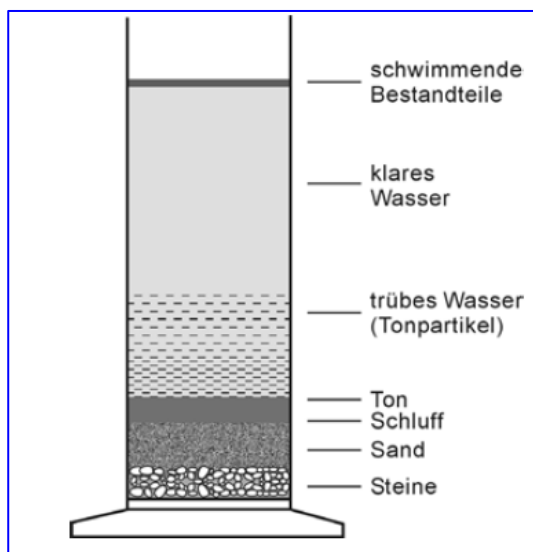
(s. auch [Größenverteilung der Hohlräume](#))

[Zurück](#)

4.3.2 Sieb- und Schlämmanalyse (Labormethode)

Quelle: StMUG

- 1) Absieben:
Bis zu einer Korngröße von 0,2 mm (Feinsand) kann ein getrockneter Boden über ein genormtes Rundloch- oder Maschensieb abgesiebt werden.
- 2) **Aufschlämmen**
Der Rest des Bodens wird mittels Schlämmanalyse bestimmt
 - a) Zerstörung von Humus, Carbonat und Eisen (durch Salzsäure und Wasserstoff-superoxid)
 - b) Zerstörung der Anziehungskräfte der TM (Dispergierung) mittels Natrium-pyrophosphat



Die vorbehandelte Probe wird nach mehrstündigem Schütteln in Standzylindern aufgeschlämmt.

**Unterschiedlich große Teilchen
sedimentieren verschieden schnell.**

Nach einer speziellen Formel kann für jede Teilchengröße nach einer bestimmten Zeit die Fallhöhe berechnet werden, aus der dann im Standzylinder eine Probe von 10 ml herausgesaugt wird.

Tonteilchen mit einer Größe von 0,002mm benötigen für eine Fallstrecke von 10cm 7 Std. 43 min

Diese Probe wird getrocknet und zurückgewogen. Die so gefundene feste Substanz wird in Gewichtsprozent der Gesamtprobe angegeben.

5. Die Hohlräume des Bodens (Porenverteilung, Porosität)

[Zurück](#)

Das natürliche Porenvolumen eines Bodens ist hauptsächlich abhängig...

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

Lebendverbauung, Krümelstruktur

Die Porosität beeinflusst...

- o das **Wasserfesthaltevermögen** (n_{Fk} = pflanzenverfügbares Wasser...)
- o den **Lufthaushalt** (Luftkapazität L_k) und somit auch
- o die **Erwärmbarkeit** (Wurzelwachstum, Mineralisation, Nitrifikation...)

Gefüge und Porosität sind wichtige Einflussfaktoren der Bodenfruchtbarkeit. Nach "[guter fachlicher Praxis](#)" muss der Landwirt bestrebt sein, die natürlich gegebene, standortabhängige Porosität zu verbessern und zu erhalten

5.1 Empfehlungen nach 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" und wird empfohlen ([§17/2](#))...

a) Verringerung bzw. Verhinderung der Verschlammung

- 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...)

5.2 Größenverteilung der Hohlräume

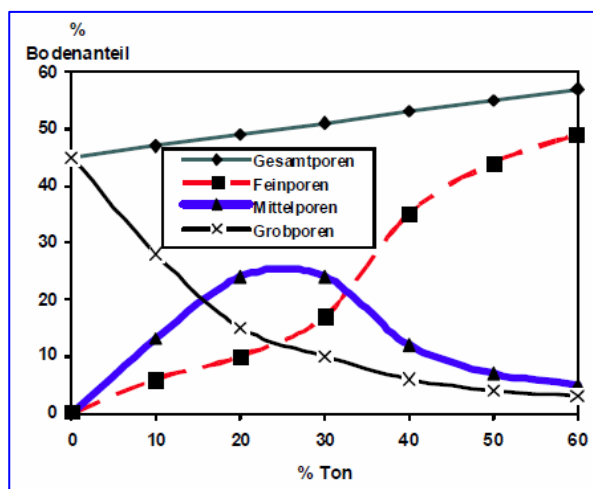
[Zurück](#)

Die Hohlräume eines Bodens werden eingeteilt nach ihrer Kraft, mit der sie Wasser festgehalten. Die Maßeinheit dieser Kraft ist pF (10er Logarithmus der cm Wassersäule, s. unten!)

Porengrößenbereiche	Porendurchmesser (µm)	Wasserspannungsbereich		Funktion
		cmWS	hPa	
Grobporen				
weit	> 50	0 -	60	Luft und Sickerwasser
eng	50 - 10	60 -	300	
Mittelporen	10 - 0,2	300 -	15000	verfügbares Wasser
Feinporen	< 0,2	> 15000		Totwasser

Schreibfehler: statt pF 18 pF1,8 richtig!

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



Die Graphik zeigt...

- **Sandböden** haben sehr viel Grobporen (Luftkapazität ist hoch!) und wenig Mittelporen (= wenig wurzelverfügbares Wasser).
- **Tonböden** haben sehr hohe Anteile an Feinporen (Totwasser) und ebenfalls wenig Mittelporen (= wenig wurzelverfügbares Wasser).
- **Lehmböden** haben einen optimalen Anteil von 20 - 30% Ton und somit sehr viele Mittelporen!

Weitere Infos unter :

<http://nibis.ni.schule.de/~trianet/soil/boden6.htm>



5.2.1 Mittelporenanteil

Schätzwerte für die grobe Einteilung der Bodenarten und ihrer nutzbaren Feldkapazität:

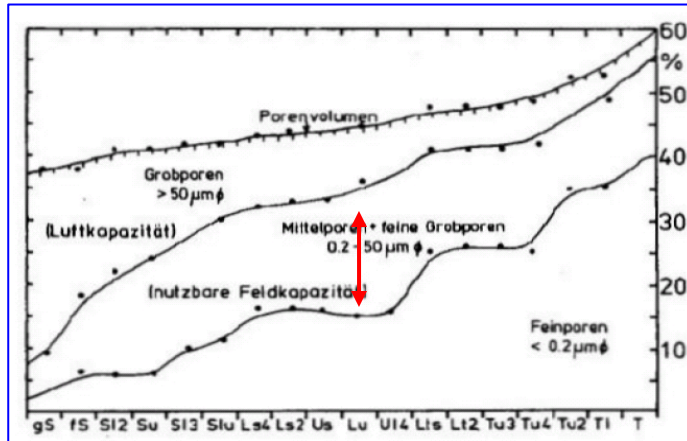
Bodenart:	Sand	Lehm	Ton
Bezeichnung	St, Sl, Slu, Su	Ls, Lu, Lts, Lt	Ts, Tl, Tu, Tt
Schlüssel-Nr.	01-03	04-06	07-08
Tonanteil in %:	0 - 20	20 - 40	40-60 (und mehr)
Mittelporen in %	10-15	15-25	10-15
Grobporen in % (Luftkapazität)	25-15	15-10	10-5

(s. auch [nFk](#))

[Zurück](#)

Der Anteil an Mittelporen...

ist maßgeblich für das Wasserfesthaltevermögen eines Bodens. Nur in diesen Poren wird Wasser pflanzenverfügbar gegen die Schwerkraft festgehalten (s. später).



Beide Grafiken zeigen, dass der Mittelporenanteil stark abhängig ist von der Bodenart. Er liegt im Bereich zwischen...

10 % - 25 %

Seine höchsten Werte von 20-25% zeigt er im...

- Ls (sandiger Lehm)
- Us (sandiger Schluff)
- Lu (schluffiger Lehm)

5.2.2 Grobporenanteil

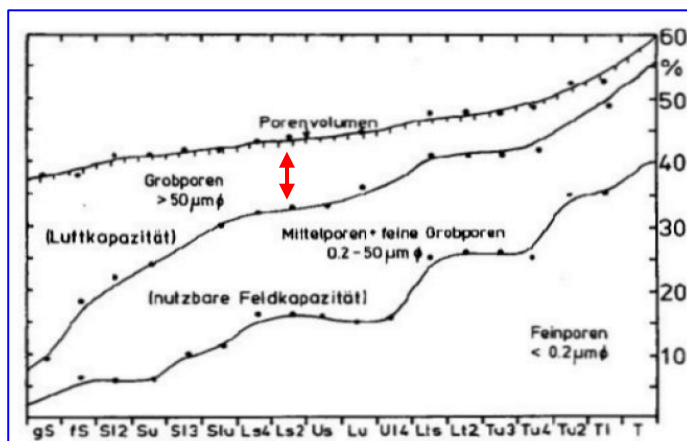
Für die biologischen Umsetzungsprozesse (Mineralisation, Nitrifikation, Wurzelwachstum...) ist Luft bzw. Sauerstoff sehr wichtig.

Unter normalen Bodenbedingungen (keine stauende Nässe!) sind die Grobporen wasserfrei.

Das Volumen der luftgefüllten Grobporen wird als Luftkapazität bezeichnet.

Die Grobporen beeinflussen damit wesentlich...

- den Wasser- und Lufthaushalt (Dränwasser wird abgeleitet, Durchlüftung...)
- die Erwärmbarkeit des Bodens (Luft erwärmt sich rascher als Wasser)



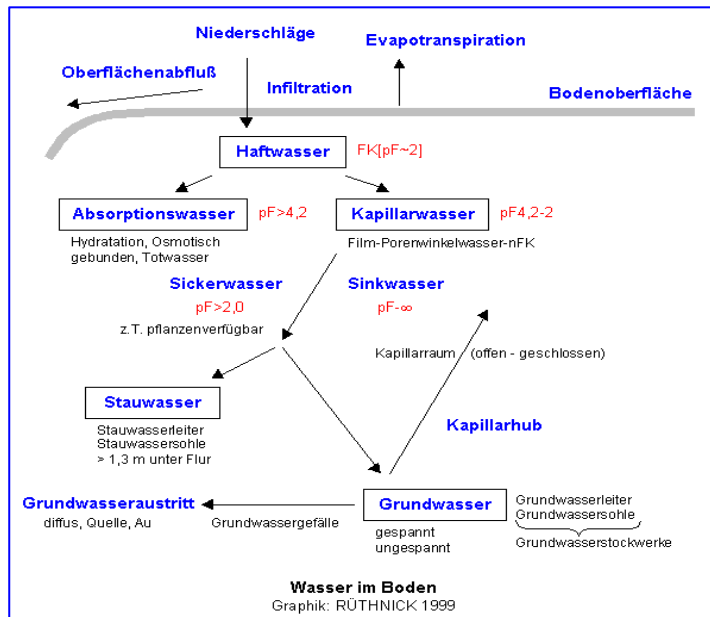
Wie nebenstehende Grafik zeigt, verringert sich die Luftkapazität mit zunehmendem Tongehalt.

**Optimalwerte liegen bei
ca. 10 %
(Lehmböden)**

5.3 Bodenwasser

[Zurück](#)

Je nach den Anhangskräften der Hohlräume unterscheidet man das darin befindliche Wasser in...



- **In den Feinporen...**
Absorptionswasser
- **In den Mittelporen...**
Haftwasser
- **In den Grobporen...**
Sicker- und Sinkwasser

Quelle:

<http://nibis.ni.schule.de/~trianet/water/wasser2.htm>

5.3.1 Kapillare Saugspannung (pF-Wert)

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):

$$1 \text{ bar} = 1000 \text{ hPa} = 1000 \text{ cm WS} = \text{pF } 3,0.$$

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

5.3.2 Permanenter Welkepunkt

Da Wurzeln Saugkräfte bis zu 15 bar ($pF = 4,2$) entwickeln können, ist Wasser, das bis zu einer solchen Kraft in den Mittelporen festgehalten wird, pflanzenverfügbar.

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

5.3.3 Sickerwasser

Wasser in Grobporen wird maximal nur mit einer vergleichbaren Kraft von ca. 300 cm WS festgehalten ($pF = 2,5$). Da die Schwerkraft stärker ist, versickert das Wasser und steht der Wurzel nicht zur Verfügung (ein Teil evtl. in den langsam dränenden Poren). Es wird unterschieden in...

- **schnell dränende Grobporen:** $pF < 1,8$ (Wasser versickert rasch)
- **langsam dränende Grobporen:** $pF 1,8 - < 2,5$
(Wasser versickert langsam, evtl. zum Teil pflanzennutzbar)

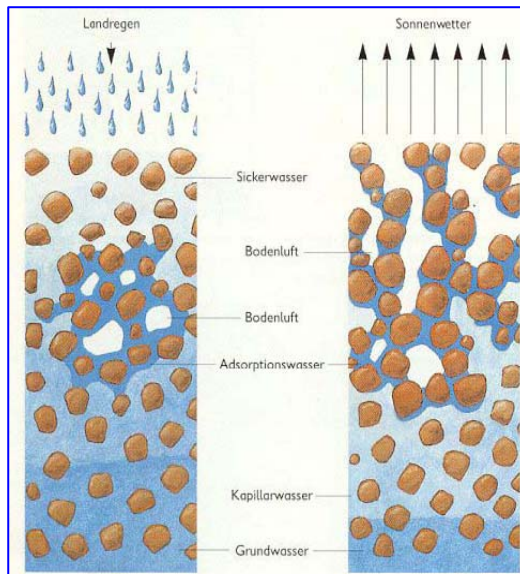
Wasser das im Boden mit einer Kraft von 2,5 bis 4,2 pF festgehalten wird, ist von der Pflanze nutzbar (nutzbare Feldkapazität).

5.3.4 Nutzbare Feldkapazität und andere Begriffe

[Zurück](#)

Den Boden kann man mit einem Schwamm vergleichen...

Wichtig!



- Ein Schwamm kann nur eine bestimmte Menge an Wasser gegen die Schwerkraft in seinen Poren festhalten. Die Gesamtmenge dieses Wassers ist die

Feldkapazität (Fk).
(in mm oder l/m^2)

Die Fk entspricht dem Haftwasser, das aus Totwasser und Kapillarwasser besteht.

- Der Schwamm hat in diesem nassen Zustand trotzdem noch Poren, die nicht mit Wasser gefüllt sind. Diese Poren (große Grobporen) beinhalten Luft:

Luftkapazität
(l/m^2)

- 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).

- 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

Fk minus nFk ergibt Totwasser

- 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

5.3.5 Bestimmung der Feldkapazität auf dem Acker

[Zurück](#)

Um die Feldkapazität auf den eigenen Ackerflächen abzuschätzen, ist es notwendig ...

- mit Hilfe eines Bohrstocks ein Bodenprofil zu entnehmen,
- bzw. ein Bodenprofil aufzugraben.

Vorgehensweise:

1. Für jeden Horizont die **Bodenart** mit Hilfe der **Fingerprobe** bestimmen.
und die **Schichtdicke** (s. Bodentypen) messen.
↓
2. Die **Durchwurzelungstiefe** bestimmen
(Bodenprofil nach Wurzelresten oder Wurzelröhren absuchen).
↓
3. Anhand folgender **Tabellenwerte** die **nutzbare Feldkapazität (nFk) je Bodenschicht** (Horizont)
innerhalb der Durchwurzelungstiefe **berechnen**.

nFk in Liter pro m² je cm Bodenschicht (ungenauere Tabelle!):

Bodenart	fS	lS	uS	lU	sL	uL	tL	lT	T
l/m ² +cm	1,1	1,6	1,8	2,0	1,7	1,9	1,6	1,4	1,5

Genauere Tabellen s. http://www.hlug.de/medien/boden/fisbo/bk/bfd50/extdoc/kenn_nfk.html

nFk je Bodenschicht = Tabellenwert x cm Schichtdicke.

4. Die nFk jeder einzelnen Bodenschicht **bis zur Durchwurzelungstiefe aufsummieren**,
die Summe ergibt die gesamte nFk des Ackerbodens.

Größenordnungen und Bewertung der nFk (Liter / m²):

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



Wichtig!

Schätzwerte für die grobe Einteilung der Bodenarten und ihrer nutzbaren Feldkapazität:

Bodenart:	Sand	Lehm	Ton
Bezeichnung	St, Sl, Slu, Su	Ls, Lu, Lts, Lt	Ts, Tl, Tu, Tt
Schlüssel-Nr.	01-03	04-06	07-08
Tonanteil in %:	0 - 20	20 - 40	40-60 (und mehr)
Mittelporen in %	10-15	15-25	10-15
nFk (l/m ² +cm)	1-1,5	1,5-2,5	1,0-1,5

[Zurück](#)

5.4 Schlussfolgerungen für den Pflanzenbau

5.4.1 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:

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

5.4.2 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:

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

5.4.3 Lehm Böden

Sie haben einen mittleren Tonanteil und haben eine optimale Porenverteilung

Lehm Böden sind die fruchtbarsten Böden

Sie sind sehr fruchtbar, sie haben...

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

Lehm Böden aus Löss sind meist sehr schluffhaltig, sie...

neigen zur Verschlämmung
(Schluff kann keine Krümel bilden)

Z.B. sind Lössböden typische Zuckerrübenstandorte. Verschlämmung führt zu schlechtem Feldaufgang, der Qualität und Ertrag negativ beeinflusst. **Wichtig deshalb:**

- Vorsaatkalkung
- Mulch einarbeiten... (s. Zuckerrübenanbau!)

[Zurück](#)

5.5 Messung der Bodenfeuchte für Bewässerungsempfehlungen

5.5.1 Messgeräte

Infos unter [Tensiometer](#) und [Wiki](#)

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 umgerechnet 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

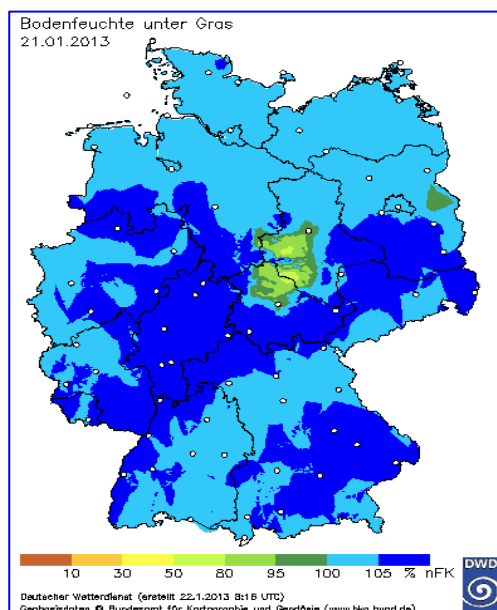
**Ab einer Bodenfeuchte (Trockenheit) von etwa
pF > 3,0 (>1000 cm WS) ist eine Beregnung wichtig!**

5.5.2 Staatlicher Beratungsservice

Quelle: [ISIP.de](#) evtl. [anmelden](#) erforderlich!,

Informationen zur Bodenfeuchte des Dt. Wetterdienstes:

Die staatliche Beratung (ISIP.de) und der Wetterdienst bieten Informationen zur aktuellen Bodenfeuchte und zur Notwendigkeit von Bewässerungsmaßnahmen an:



Bei einer nFK (in%)...

- **< 30%**: Pflanzen stehen unter Trockenstress, mit Ertragseinbußen ist zu rechnen

Beregnung wichtig!

- **30 - 50%**: noch ausreichende Wasserversorgung
- **50 - 80%**: optimales Wasserangebot
- **80 - 100%**: Gefahr von Sauerstoffmangel
- **> 100%**: Überstauende Nässe mit Sauerstoffmangel

Die Karte zeigt die Situation vom 21.1.2013

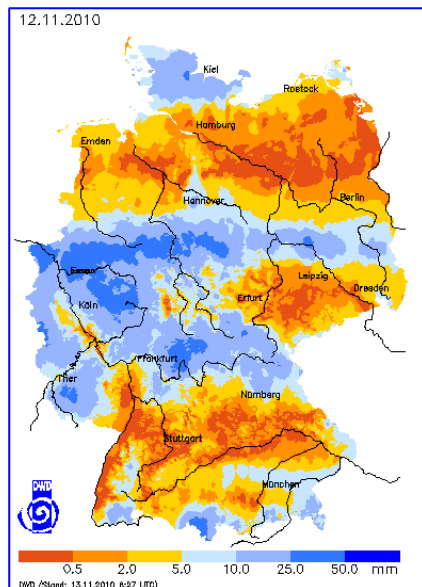
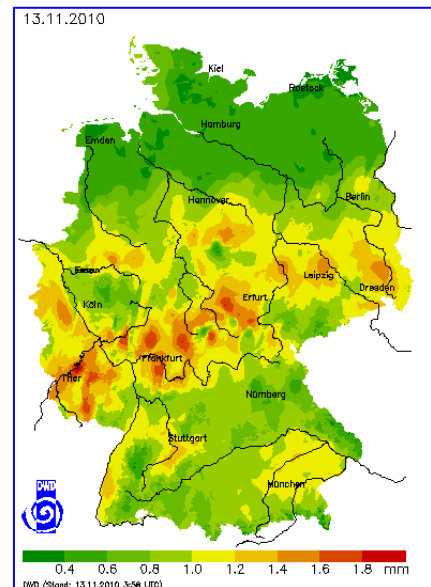
Kostenpflichtige Beregnungsberatung:

Quelle: [Deutscher Wetterdienst](#)

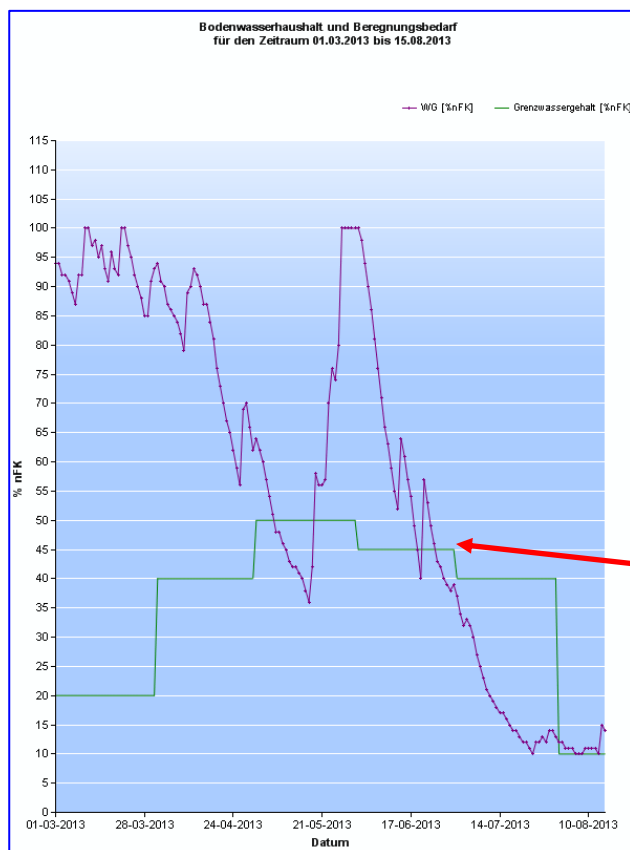
Auf der Basis der beschriebenen Bodenfeuchtemessungen bieten private Firmen Beregnungsempfehlungen an

[Zurück](#)**Informationen zur aktuellen Niederschlagssituation:**

Quelle: Deutscher [Wetterdienst](#) ([links „Agrarwetter“ anklicken, dann „Wasserhaushalt“](#))

**Niederschlags-
verteilung:****Verdunstungs-
werte:****Service „Berechnungsbedarf in Niedersachsen“**

Quelle: <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?L-CUST-Bowab=DOCKED>



Nach Eingabe der Standortfaktoren wird eine Karte erstellt, die den

Verlauf der Bodenfeuchte in Abhängigkeit der

- bodenartabhängigen nFk und
- der Niederschlagsverteilung

anzeigt (s. rote Kurve „WG % nFk“).

Wird der vegetationsabhängig erforderliche Grenzwassergehalt unterschritten, ist eine Bewässerung wichtig.

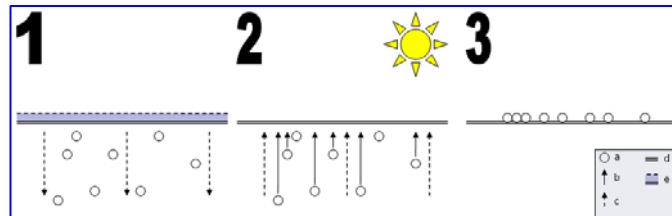
s. auch <http://www.liz-online.de/themen/berechnung.html>

[Zurück](#)

5.6 Bewässerung in ariden Gebieten

5.6.1 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.

Die wirkungsvollste Maßnahme wäre...

- Bewässerung an den Pflanzenbedarf anpassen. Dies kann nur geschehen durch...

Tröpfchenbewässerung.

Die Verdunstung und damit Versalzung der Oberfläche nimmt stark ab.

Weitere Infos unter...

- <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>

[Zurück](#)

6. Mineralische Bestandteile des Bodens

Quelle: [Uni Münster](#)!

6.1 Primäre Minerale

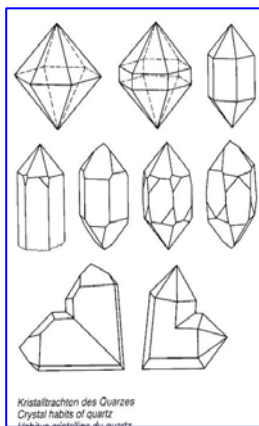
Primäre Minerale sind Bestandteile der Gesteine („Kristalle“) und geben ihnen ihre unterschiedlichen Eigenschaften (Farbe, Verwitterbarkeit, Nährstoffgehalt und Bodenfruchtbarkeit).

Zu den Primären Mineralen gehören

Quarz und Silikate (= Glimmer und Feldspate) s. unten!

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

6.1.1 Quarz (SiO₂)



Quarz ist ein sehr gleichmäßig geformter Kristall mit Silizium-Atomen, die von je zwei Sauerstoff-Atomen umgeben sind (SiO₂)

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: [Uni Freiburg](#)

6.1.2 Silikate

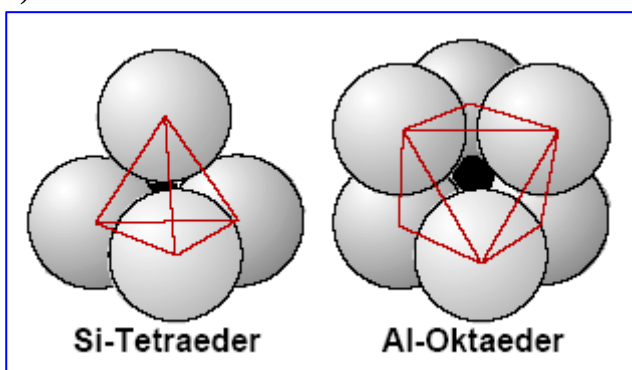
Weiterführende Infos: [TU Clausthal](#) , [Uni Freiburg](#)

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

[Zurück](#)b) Silikate sind **negative Ladungsträger**

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

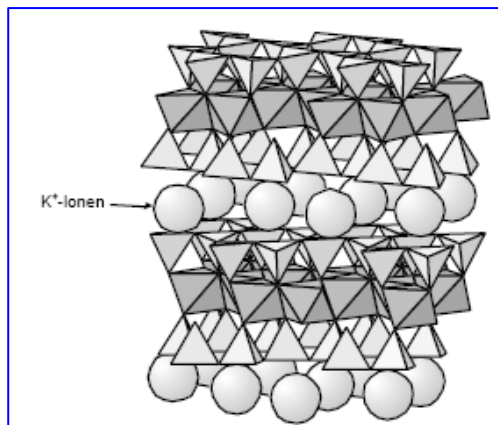
6.1.2.1 Glimmer

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 -
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -
KKKKKKKKKKKKKK - Zwischenschichtkalium - KKKKKKKKKKKK
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 -
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -
KKKKKKKKKKKKKK - Zwischenschichtkalium - KKKKKKKKKKKK
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 -
Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O - Si - O -

- Siliziumschicht
- Aluminiumschicht
- Siliziumschicht und
- dazwischen **Kalium**

Andere Darstellungsform:



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**

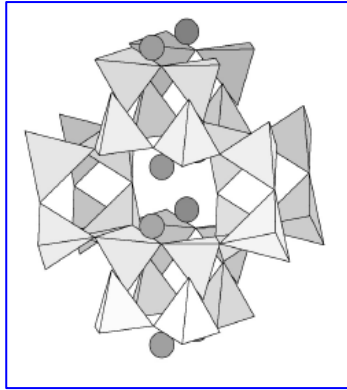
6.1.2.2 Feldspat

[Zurück](#)

Quelle: [Uni Freiburg](#)

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.



- **Kalifeldspat** (Orthoklas, reich an Kalium)
- **Natriumfeldspat** (Albit, reich an Natrium)
- **Kalziumfeldspat** (Anorthit, reich an Kalzium)

Eigenschaften der Feldspate:

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

6.1.2.3 Kettensilikate 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**

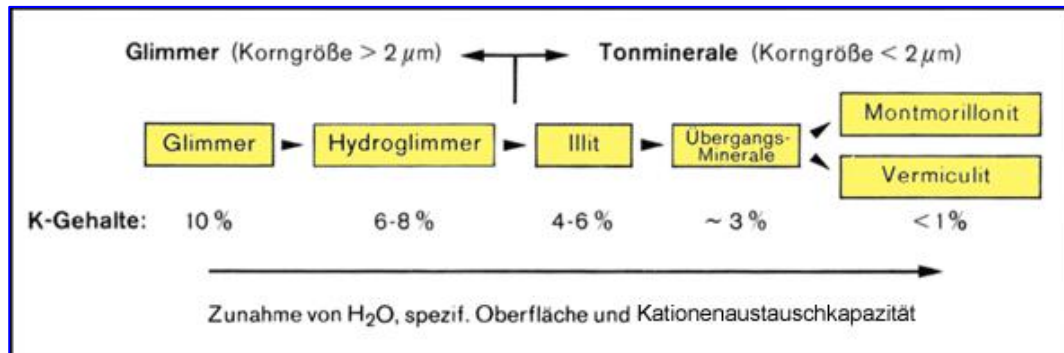
6.2 Sekundäre Minerale (Tonminerale)

[Zurück](#)

 Quelle: [Uni Münster](#)

6.2.1 Entstehung

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

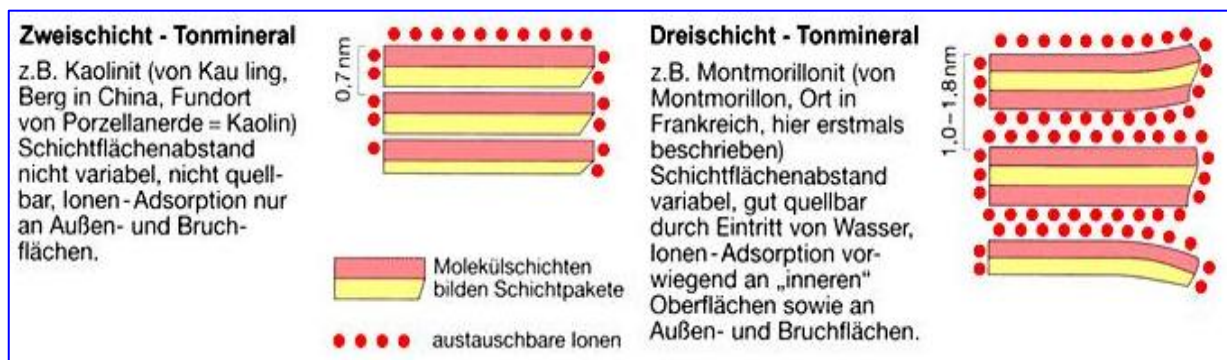


6.2.2 Schichtstruktur

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

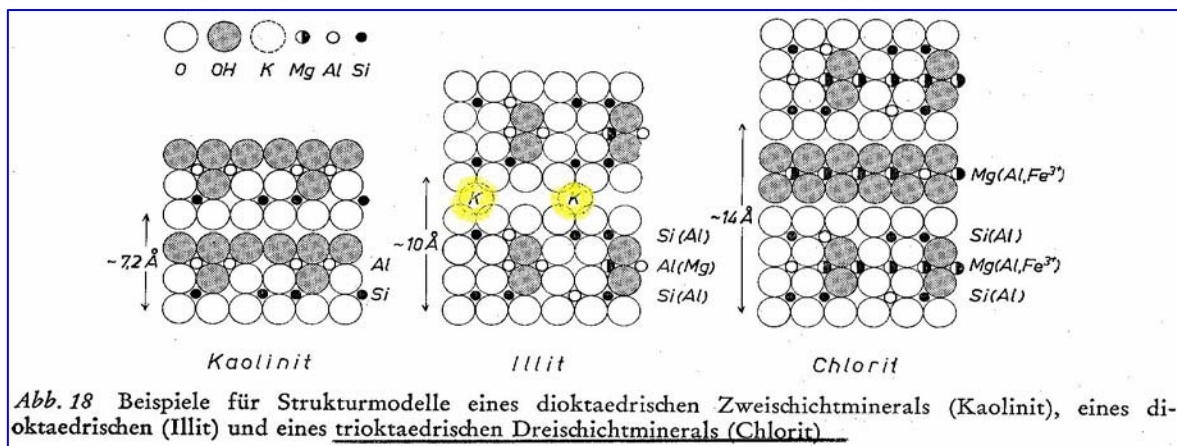


[Zurück](#)

Andere Darstellungsformen...

1. Gezeichnet auf Atomebene, z.B. Illit:

- Siliziumschicht Si(Al)
- Aluminiumschicht Al(Mg)
- Siliziumschicht Si(Al)
- und dazwischen **Kalium**

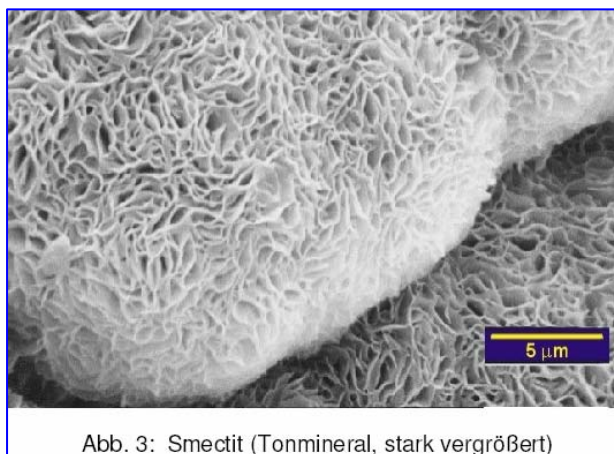


Nebenbei...

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

2. Elektronenmikroskopische Aufnahme, hier Smectit:

Quelle: [LfL Bayern](#) (pdf S. 4)



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 m² !!

6.2.3 Ersatz von Silizium im Strukturgitter

Bei der Entstehung der Tonminerale nehmen im Kristall die positiven Ladungen ab und somit die negativen Ladungen zu durch den **isomorphen (größenähnlichen) Ersatz** von...

- Si⁴⁺ -Ionen durch Al³⁺ - Ionen oder
- Al³⁺ - Ionen durch Mg²⁺ - Ionen

Dies ist der Grund für die negative Ladung der Tonminerale!

[Zurück](#)

6.2.4 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)
- **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!

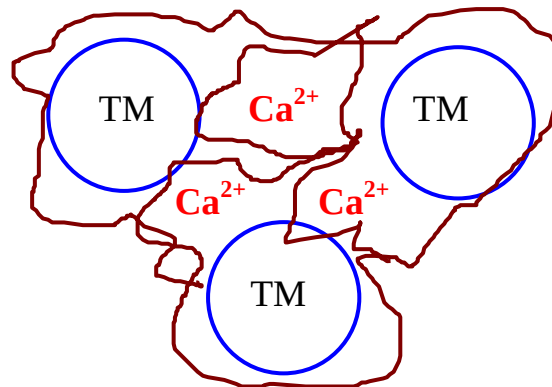
bedeutende natürliche Kaliquellen!

3. TM tragen zur Krümelbildung bei

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

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

Kurt, der Krümel:



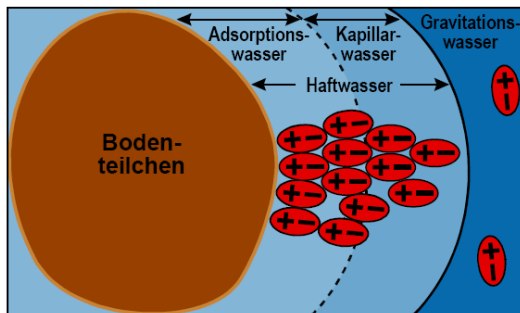
Praktische Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit:

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

4. TM haben ein hohes Quellungs- und Schrumpfungsvermögen

[Zurück](#)

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: TUM Weihenstephan

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

Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit:

1. Aluminium blockiert die Zwischenschichten der TM.

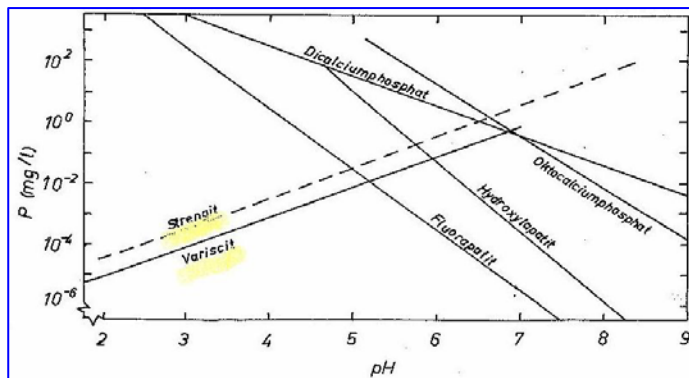
TM - Zerstörung in sehr sauren Böden.

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 in sauren Böden!



Phosphatfestlegung durch...

- Strengit und
- Variscit

in sauren Böden

Phosphatmangel auf sauren Böden wird oft durch Kalkung behoben.

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 **Lebendverbauung** beteiligt (Krümelbildung...)
- binden wegen ihrer Ladungen Wasser (**Quellung und Schrumpfung**...)
- sind wichtige natürliche **Nährstoff- Lieferanten** (K^+ , Mg^+ , Spurenelemente...)

7. Kolloide und Austauschkapazität

[Zurück](#)

Quelle: TU München, Weihenstephan

Verantwortlich für das Nährstofffesthaltevermögen 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

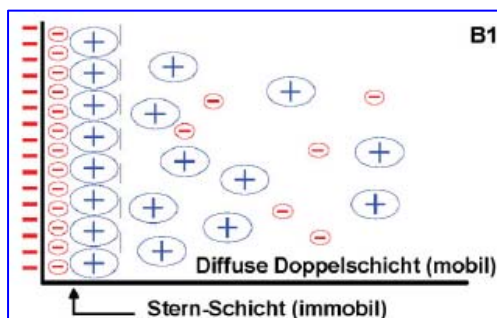
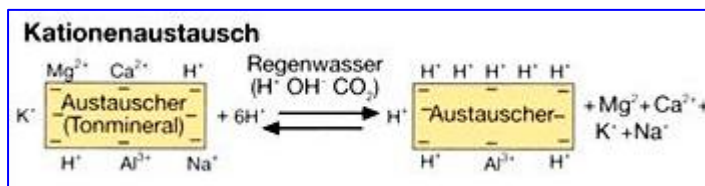
Diese **Teilchen (Kolloide)** sind...

- o **Tonminerale**
- o **Schluff** (geringe Bedeutung)
- o **Humus** und
- o **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.



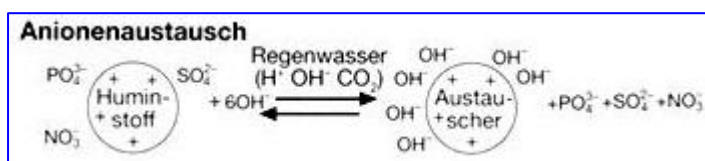
Kolloide mit negativer Oberflächenladung ziehen Kationen an...

Je näher, desto stärker!

Quelle: Uni [Mainz](#) (pdf)

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.



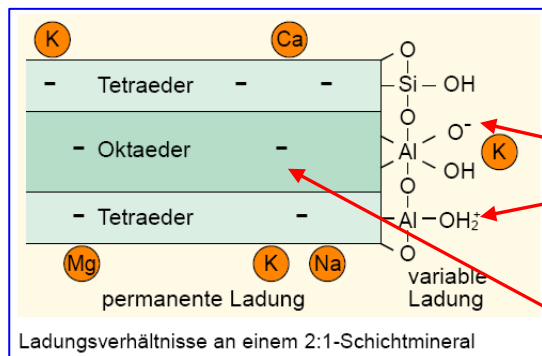
Kolloide mit positiver Oberflächenladung (z.B. Huminstoffe) ziehen Anionen an.

[Zurück](#)

7.1 Dauerhafte (permanente) Kationenaustauschkapazität

Quelle: TU München, Weißenstephan

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:



Nebenstehendes Bild zeigt ein Tonmineral mit

- pH-abhängiger variabler Ladung an den Oberflächen:
negative Ladung
positive Ladung

und mit...

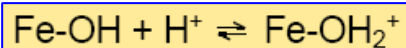
- dauerhafter, permanenter negativer Ladung in den Kristallschichten

7.2 Variable (pH- abhängige) Austauschkapazität

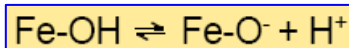
Sauere Böden (niedrige pH-Werte) haben hohe Konzentrationen an H⁺-Ionen. Diese Säure-Ionen können sich an Oxide oder auch an Tonmineraloberflächen anlagern (s. oben).

Dadurch werden diese Bodenteilchen (Kolloide)...

- a) **positiv geladen** und können selbst negative Nährstoff-Ionen festhalten:



- 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

7.3 Anionenaustauschkapazität

[Zurück](#)

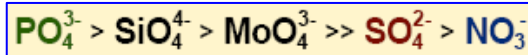
Quelle: TUM Weihenstephan

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

Eisenoxide und Eisenhydroxide

(Fe₂O₃, FeOH)

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



Am stärksten das Phosphat PO₄³⁻, am schwächsten das Nitrat NO₃⁻

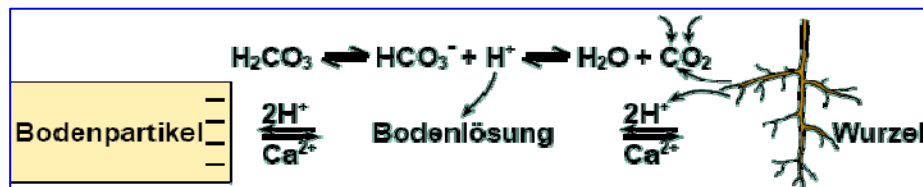
Dies ist eine weitere Erklärung für...

- a) die **schlechte Phosphatverfügbarkeit** in sauren Böden:
 - o Phosphat wird fest gebunden an variable Ladungsträger wie Eisenoxide (s. Skript Düngung) und...
 - o Phosphat wird festgelegt in Salzform (Eisen- und Aluminiumphosphat)
- b) die **hohe Auswaschungsgefahr von Nitrat**
 - o Nitrat bindet sich nur sehr schwach an variable Ladungsträger

Die AAK spielt in normalen Böden praktisch keine Rolle

7.4 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 CO₂ entsteht im Boden Kohlensäure H₂CO₃
- 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 Ca²⁺ 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** Ca²⁺,
- **Magnesium** Mg²⁺

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

7.5 Größenordnung und Schätzung der Kationenaustauschkapazität

[Zurück](#)

7.5.1 Austauscherflächen

Die Höhe der KAK im Boden ist u.a. abhängig von den Oberflächen der TM und des Humus:

	Oberfläche (m ² /kg)
Kaolinit	(1-2) • 10 ⁴
Illit	1 • 10 ⁵
Smectite	8 • 10 ⁵
Vermiculit	8 • 10 ⁵
Fe- und Al-Oxide	3 • 10 ⁴
Allophane	(5-7) • 10 ⁵
Organische Substanz	9 • 10 ⁵

Austauscherfläche 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. 70t) hat eine Austauscherfläche von mindestens 7.000 km²

7.5.2 Ionenkonkurrenz um die Austauscherflächen

Die Ionen „streiten“ sich um die Austauscherflächen. Auch hier gilt das Gesetz des Stärkeren. Die Anziehungskräfte der Ionen sind umso stärker...

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

Dies sind die Gründe, warum...

- eine Kalkung (Ca^{2+} !!) u.a. Nährstoffe von den TM- Oberflächen ablöst und verfügbar macht (Ca^{2+} tauscht aus)
- in sauren und mit Kalium üerversorgten Böden (H^{+} und K^{+} Konzentration im Bodenwasser hoch!) oft Magnesium Mg^{2+} im Mangel ist (wird verdrängt)

7.5.3 Größenordnung der KAK in Ackerböden

Die KAK ist eine wesentliche Kennzahl der Bodenfruchtbarkeit. Die Größenordnungen in mmol/100g Boden (in der Tabelle pro kg Boden dargestellt!) bewegen sich zwischen...

5 - 10 - 15 - 20 und größer
schlecht mittel gut sehr gut

Bodentyp (Herkunft)	pH	C _{org}	KAK _{pot}	KAK _{eff}	Ionnensättigung in % von KAK _{eff}				
	(CaCl ₂)	%	mmol kg ⁻¹		Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Böden unter Acker									
Schwarzerde auf Löß	7,2	1,6	180	180	0	90	9	0,5	0,4
Pelosol auf Liaston	6,7	2,4	220	170	0	83	8	9	0
Parabraunerde auf Löß	6,3	1,4	170	140	0	80	15	5	<1
Böden unter Wald									
Parabraunerde auf Schotter	4,6	11,1	233	138	4	82	9	4	1
Braunerde auf Serpentin	4,4	10,2	319	173	6	19	73	1	<1
Braunerde-Podsol auf Gneis	3,6	26,3	344	146	40	42	11	6	<1
Pseudogley auf Löß	3,8	5,7	184	54	68	13	<2	6	11

Quelle: TUM Weihenstephan

Rechenbeispiel für Kalzium (Ca^{2+}):[Zurück](#)Eine KAK von 10 (= 10 mMol Ca^{2+} /100g Boden) entspricht...

- Bei einem Mol- oder Atomgewicht von 40g entsprechen...
10 mMol/100g = **0,4g in 100g Boden**
- 0,4g in 100g Boden entsprechen **4 kg in einer Tonne** Boden
- Bei einem Ackerkrumengewicht von ca. 3500 Tonnen sind das...

**14 Tonnen reines Kalzium oder
ca. 20 Tonnen CaO je Hektar**

7.5.4 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 Humusgehalt kann nur im Labor erfolgen.

3. **Berechnung der KAK** nach folgenden Werten, wobei der Schluff vernachlässigt wird (je 100 Gramm Boden):
 - o 0,5 mVal je 1% Ton
 - o 2,0 mVal je 1% Humus

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

Schätzformel:

$$\text{KAK in mval/100g Boden} = 0,5 \times \% \text{Ton} + 2,0 \times \% \text{Humus}$$

Bewertung (je 100g Boden):

<3 mval:	sehr gering	15-22 mval:	hoch
3 - 8 mval:	gering	>22 mval:	sehr hoch
9 - 14 mval:	mittel		

Beispielrechnung s. Unterricht!

[Zurück](#)

8. Biokohle zur Bodenverbesserung?

Wikipedia: [Biokohle](#), Brasilianischer [Terra preda](#), Weitere Info: [Einsatzbereiche](#), Aktivierung [Biokohle](#)
LfL Bayern: [Praktischer Einsatz](#), Firmen: [Carbon-Terra](#), [Pyreg](#)

Der Einsatz von Biokohle ist eine relativ neue und z.T. konträr diskutierte Methode zur insbesondere...
Verbesserung der nFk und KAK (?)

Terra preda:



Auf der Argumentationsgrundlage „anthropogener“ (durch Menschen stark beeinflusster) Böden in Brasilien ([Terra preda](#))...

**Bodenverbesserung durch Einmischung von
Holzkohle, Mist und Kompost**
(rechtes Bild)

haben Biokohle-Firmen den Einsatz von Biokohle als Bodenverbesserer in die fachliche Diskussion gebracht.

In der Literatur beschriebene Eigenschaften von Biokohle:

Quelle: [Wiki](#)

- a) Verbesserung des **Wasserspeichervermögens**.[\[4\]](#) [\[5\]](#) [\[6\]](#)
- b) Verbesserung der (**Nährstoffdynamik**, toxische Stoffe...) [\[10\]](#) [\[11\]](#) [\[14\]](#)
- c) Zuwachs an **Bodenbakterien** und damit Förderung der Nährstoffumsetzung [\[7\]](#) [\[8\]](#)
- d) Zunahme an **Pilzgeflecht**, das in Kontakt mit Pflanzenwurzeln kommen kann ([Mykorrhizen](#)). Dies kann die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Wurzeln verbessern [\[8\]](#) [\[9\]](#)
- e) Höhere **Bodendurchlüftung** und evtl. damit Verbesserung der N-Dynamik.[\[1\]](#) [\[12\]](#) [\[13\]](#)

Die LfL Bayern...

untersucht in einem Forschungsvorhaben (Laufzeit 2014-2017) den Einsatz von Biokohle hinsichtlich...

1. Wirkungsweise von Biokohlen verschiedener Herstellungsverfahren.
Biokohle aus Gärrest, Klärschlamm oder Holz...
2. Standorteignung (Bodenarten...)
Verbesserung der Wasserspeicherung trockener Standorte?
3. Auswirkung der Biokohlen auf die Bodenfruchtbarkeit
Bodenstruktur, Humusgehalt, mikrobielle Aktivität...
4. Nährstoffwirkung verschiedener Biokohlen

Lassen wir uns überraschen...

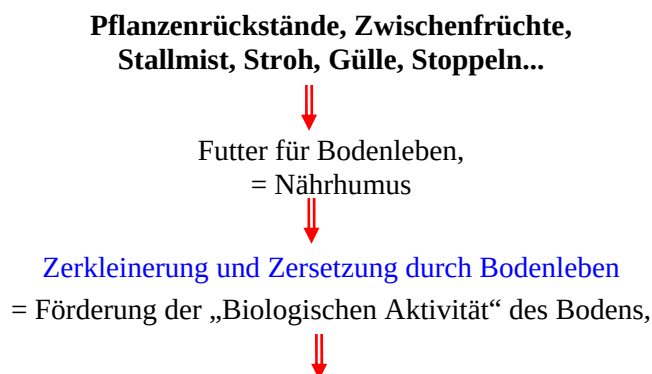
9. Humus

[Zurück](#)

9.1 Mineralisation und Humusaufbau

Quelle: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/04.htm> (sehr anschaulich!)
<http://nibis.ni.schule.de/~trianet/soil/boden7.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).



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

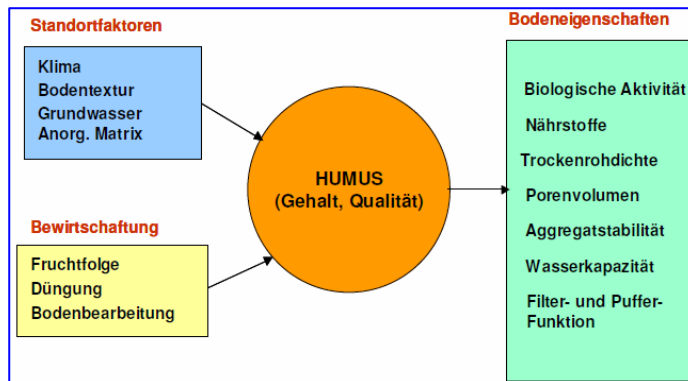
- Grauhuminsäuren (Mull)
- Braunhuminsäuren (Moder)
- Fulvosäuren (Rohhumus)

9.2 Humusbildung ist standort- und bodenabhängig

[Zurück](#)

Quelle: LfL [Bayern](#)

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

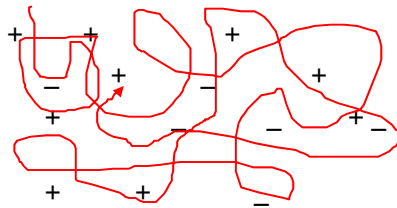


- **Standort**
z.B. niedrigere Gehalte in sandigen, gut durchlüfteten Böden
- **Bewirtschaftung:**
nasse und kühle Böden (Nordhänge, Mittelgebirgslagen) zeigen höhere Gehalte
- **Bodeneigenschaften**
(s. auch Unterricht)

In Mineralböden zwischen 1,5 - 2,5 – 3,5 Prozent Humus

9.3 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.

Gülledüngung im Herbst...

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

Deshalb:

Muss Gülle wegen fehlender Lagerkapazität im Herbst ausgebracht werden, (auf Acker max. 80 N_{ges}, s. Dünge-VO!), so kann sie am ehesten auf Grünland ökologisch sinnvoll untergebracht werden!

9.4 Humusgehalt und Humusbilanz

[Zurück](#)

Quelle: LfL Bayern [Übersicht](#), ([Humusbilanz](#))

Durch die Cross [Compliance - Anforderungen](#) ist der Humusgehalt eine wichtige Größe geworden.

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

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

Hackfrüchte sind Humuszehrer

2. Jede Zufuhr organischer Substanz fördert die Humusbildung (s. Übersicht). Wichtige Grundsätze:

- möglichst viel Zwischenfrucht innerhalb der Fruchtfolge
- Stroh fein häckseln und einarbeiten (evtl. mit Gülle zur Strohrotte)

Faustregel:

Strohabfuhr (ohne Rückführung über Stallmist) **bedeutet** immer eine **negative Humusbilanz!**

9.4.1 Humusbilanzierung nach Cross Compliance

elle: LfL [Bayern](#) (Excel-[Programm](#))

Humusbilanz-Methode für Ackerland in Bayern nach "CC" Stand: 03/2013	
Grundlage: Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 04.11.2004	
Der Bezieher von Direktzahlungen hat zur Erhaltung der organischen Substanz und zum Schutz der Bodenstruktur bestimmte Anforderungen an die Fruchtfolge zu erfüllen oder er muss entweder den Humusgehalt seiner Ackerflächen untersuchen lassen oder auf betrieblicher Ebene eine Humusbilanz für seine Ackerflächen erstellen. Die vorliegende Humusbilanz-Methode ermöglicht es, die vorgeschriebene betriebliche Humusbilanz der Ackerflächen eines Betriebs für ein Jahr durchzuführen. Sie stellt Mindestanforderungen dar und ist keine Beratungsempfehlung zum Erreichen und/oder Erhalten einer optimalen Bodenfruchtbarkeit. Die Humusbilanz berücksichtigt die Humuswirkung der angebauten Früchte und der zugeführten organischen Dünger. Als Maß gilt dabei jeweils die Menge des im Humus gebundenen Kohlenstoffs, der hier in Humus-Äquivalenten (HÄ) ausgedrückt wird (1 HÄ = 1 kg Humus-Kohlenstoff). Die vorliegende Humusbilanz-Methode ist jährlich auf Betriebsebene zu erstellen. Das Bilanzergebnis (Mittel aus 3 Jahren) soll im Bereich zwischen -75 und +125 kg Humus-C pro Hektar und Jahr liegen und darf -75 kg Humus-C pro Hektar und Jahr nicht unterschreiten.	
Anleitung: Füllen Sie die weißen Felder der Arbeitsblätter 1 und 2 aus. Achten Sie darauf, dass die Flächenangaben für die einzelnen Früchte in der Summe der Gesamtfläche entspricht. Das Programm zeigt unabhängig von der Eingabe immer 2 Dezimalstellen an, rechnet aber mit dem eingegebenen Wert. Um Fehler zu vermeiden, wird empfohlen, die Eingaben einheitlich mit gleicher Anzahl an Dezimalstellen durchzuführen. 1. Humuswirkung der Früchte: Die Humusfaktoren für Zucker- und Futterrüben, Getreide einschließlich Körnermais, Öl- und Zwischenfrüchte enthalten nicht die Humuswirkung der Koppelprodukte (Stroh, Blätter, usw.). Bei den restlichen Fruchtarten ist die Humusleistung der Koppelprodukte in der Anbauwirkung bereits berücksichtigt. 2. Zufuhr von org. Material: Die Humuswirkung der im Betrachtungsjahr ausgebrachten organischen Dünger wird hier berücksichtigt. 3. Im Arbeitsblatt „3. Ergebnis“ werden alle für die Bilanzierung wesentlichen Merkmale zusammengefasst, das Ergebnis der Bilanzierung wird ausgegeben und bewertet. Das Blatt kann ausgedruckt werden.	
Dr. Robert Beck, Rudolf Rippel Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenkultur Tel.: 08161/71-3705 Fax: 08161/71-3618	

[Zurück](#)

10. Bedeutung des pH-Werts

10.1 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
- Kümmerwuchs
- geringe Wurzel Ausbildung (keine Faserwurzeln)

10.2 Ursache von Säureschäden

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

1. Gestörte Nährstoffdynamik im Boden

N:

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

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!).

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 (s. dort

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

2. Gestörte Bodenstruktur (Verschlammung, Verdichtung):

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

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

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 (s. oben!)

10.3 Optimaler pH-Wert

[Zurück](#)

Optimaler pH-Wert verschiedener Böden (s. [Gelbes Heft](#), S. 22):

Schlüssel	Bodenarten		anzustrebender pH-Bereich
	Kurzzeichen	Bezeichnung	
01	S	Sand	5,4 - 5,8
02	lS	schwach lehmiger Sand	5,8 - 6,3
03	lS	stark lehmiger Sand	
04	sL	sandiger Lehm	6,2 - 6,8
05	uL	schluffiger Lehm (Lößlehm)	
06	tL	toniger Lehm	
07	lT	lehmiger Ton	6,6 - 7,2
08	T	Ton	

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 spurenelement-armen 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

11. Das Bodenleben als wichtiger Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit

(s. Unterricht)

Sehr informative Links:

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

[Zurück](#)

12. Spatendiagnose

Quelle <http://www.lfl.bayern.de/iab> (pdf-Datei)

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** durch Quellung und Schrumpfung entstanden sind (langjährig nicht gepflügt)



2. **Durchwurzelbarkeit**

Das rechte Bild zeigt

- das **plattige Gefüge** eines
- **Bearbeitungshorizonts**



3. **Stroh- und Güllematratzen**

Das linke Bild zeigt

- eine auf Pflugsohlentiefe „sauber“ abgelegte Strohmataze

Das rechte Bild zeigt

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



4. **Nicht verrottete Stoppeln**

Das linke Bild zeigt

- Maisstoppeln des letzten Jahres, ein Zeichen für **schlechte Mineralisationsbedingungen**

5. **Regenwurmgänge**

Das rechte Bild zeigt

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



[Zurück](#)

12.1 Praktische Vorgehensweise

12.1.1 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).

[Zurück](#)

12.1.2 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**

Wurde vorher schon ein günstiges Gefüge beobachtet, so wird der Bodenblock krümelig zerfallen.

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...)

12.2 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!)

[Zurück](#)

Bodenbildung

Allgemein: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/01.htm>
Bayern: <http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/036308/index.php>
Baden-Württemberg: Bodenprofile in Baden-Württemberg: [Übersicht](#)

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 Tonmineralen, 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. **Mullhumus...**
entsteht in nährstoffreichen Böden mit hohem pH-Wert und deshalb auch hoher biologischer Aktivität (z.B. Schwarzerden). Diese Humusform hat sehr gute Eigenschaften hinsichtlich KAK, AAK, nFK u.a.
2. **Moderhumus...**
entsteht auf Standorten mittlerer Ausprägung, Humusform mit "mittleren" Eigenschaften (z.B. viele Böden unseres Klimabereichs wie Braunerden, Pseudogleye...).
3. **Rohhumus...**
entsteht auf nährstoffarmen, sauren 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

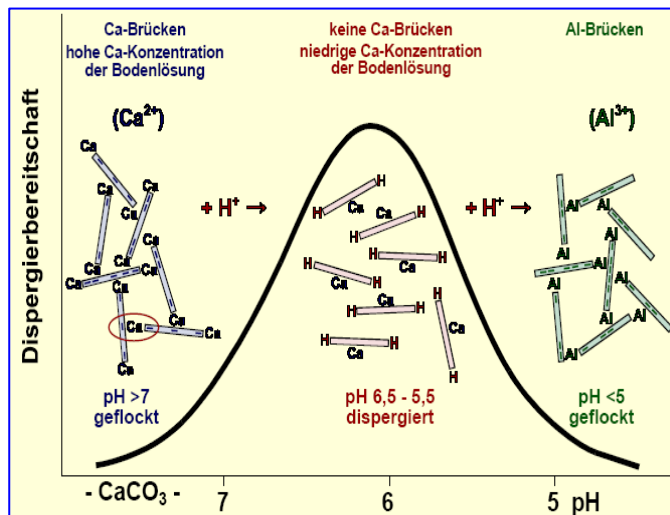
[Zurück](#)

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 (s. Unterricht!).

Folgende Vorgänge spielen eine wichtige Rolle:



Eine Stauschicht ist entstanden

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

1.5 Pseudovergleyung

s. Link: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/07.htm>

Nach einer Tonverlagerung (sekundärer Pseudogley) 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 fallen 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).

[Zurück](#)

1.6 Podsolierung

s. auch <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/08.htm>

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 Rohhumusaufgabe (s. oben!).

1.7 Vergleyung

s. Link: <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)

[Zurück](#)

1.8 Turbation oder Bodenvermischung

1.8.1 Bioturbation

Organische Substanz und Humus werden durch Bodentiere in tiefere Schichten eingemischt. Es entstehen sehr mächtige humose A-Horizonte.

Durch diesen Vorgang entstanden die ackerbaulich sehr gut einzustufenden

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)

1.8.2 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

[Zurück](#)

Quelle: Bodenprofile in [Bayern](#) und Baden-Württemberg: [Übersicht](#)

2.1 Bodenhorizonte

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

Bei der Bodenbildung entstehen Bodenschichten mit unterschiedlichen Färbungen und Eigenschaften (s. Tonverlagerung). 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 Carbonegehalt, röter, i.d.R. ton- oder schluffreicher und Skelettgehalt geringer. v von verwittert.
Bh	Durch Einwaschung von Humusstoffen angereichert (Illuvialhorizont), bei dem die organische Substanz 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.
Cn	Unverwittert , bei Festgesteinen nicht angewittert, keine Klüfte, z.B. massiver Fels. n von novus = frisch, unversehrt.
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 Grundwasserschwankungsbereich 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

[Zurück](#)

Quelle: Bodenprofile in [Bayern](#) und Baden-Württemberg: [Übersicht](#), Grundlagen Uni [Münster](#)

Auf diesen meist kalkfreien Ausgangsgesteinen entstehen saure, kalkbedürftige Böden.

1. Typische Standorte für Granitverwitterungsböden sind die Mittelgebirge wie...

- Fichtelgebirge, Münchberger Gneisplatte
- Oberpfälzer und Bayerischer Wald

Hier findet eine mehr oder weniger tonarme Verwitterung der vulkanischen, von Natur aus kalkfreien Eruptivgesteine (meist Granit) statt, die zu **flachgründigen** Bodentypen führen:

2. Sandsteinverwitterungsböden:

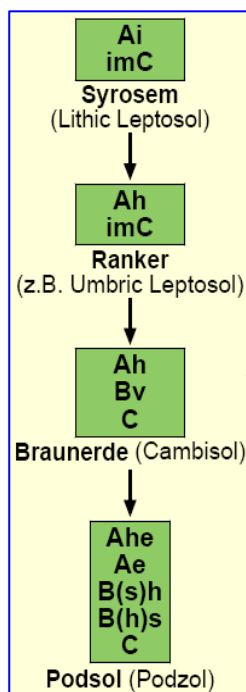
Die Sandsteinsedimente der **Fränkischen - Württembergischen Schichtstufenlandschaft** stellen einen bedeutenden Flächenanteil der Ackerstandorte Süddeutschlands dar.

Dazu zählen...

- **Buntsandstein** (Spessart, Odenwald und südwestlich davon)
- **Sandsteinkeuper** (Mittelfränkische Lagen und angrenzendes Württemberg)

Aufgrund der besseren Verwitterbarkeit sind sie tiefergründiger als Granitverwitterungsböden und damit allgemein etwas besser als diese zu beurteilen.

Folgende Böden entstehen insbesondere auf Granit oder Sandstein:



Rohboden → Ranker → saure Braunerde → Podsol

Besonderheit Münchberger Gneisplatte:

- Gneis ist ein Metamorphit (Umwandlungsgestein),
- der in der Tiefe unter Druck und hohen Temperaturen aus granitischen Gesteinen entstand.
- Dabei entstanden Silikate (Minerale),
- die bei der Verwitterung zu etwas tonreicheren Böden mit besseren Eigenschaften führen:

Ranker → nährstoffreiche Braunerde (→ Podsol)

a) Ranker:[Zurück](#)

Quelle: Bodenprofile in [Bayern](#) und Baden-Württemberg: [Übersicht](#), Grundlagen Uni [Münster](#)

Ah	Humus Tonminerale einzelne Steine
AhC	Tonminerale Humus Steine (Skelett)
C	kompaktes Gestein

Ranker sind meist flachgründige Böden mit anstehendem Ausgangsgestein (A-C-Boden) und sandigen Bodenarten. Daraus resultierende Eigenschaften wie...

- geringer nFk und geringer KAK.
- geringerer Humusgehalt
- z.T. sehr niedrige pH-Werte und damit
- meist schlechte biologische Aktivität

Eine Vernachlässigung der Kalkung führt zu den im Kapitel „pH-Wert“ beschriebenen negativen Bodeneigenschaften (Säureschäden...).

Auf Granit und Sandstein entstehen stark kalkbedürftige Böden, auch ist Zufuhr von org. Substanz wichtig!

b) Braunerden:

Ah	Humus Tonminerale Eisenoxide
Bv	Tonminerale Eisenoxide
C	Ausgangs- gestein

A-B-C - Böden, flach-, z.T. auch tiefgründiger, mit ähnlichen Eigenschaften wie bei Ranker...

- geringer bis mittlerer nFk und KAK (je nach Tongehalt)
- geringer bis mittlerer Humusgehalt
- schlechtere biologische Aktivität (pH-Wert!)

Etwas bessere Eigenschaften hinsichtlich KAK und nFK (wegen Tongehalt!) haben eutrophe Braunerden aus Gneisverwitterung.

Böden allgemein sehr kalkbedürftig!

[Zurück](#)b) Podsol:

Quelle: Bodenprofile in [Bayern](#) und Baden-Württemberg: [Übersicht](#), Grundlagen Uni [Münster](#)

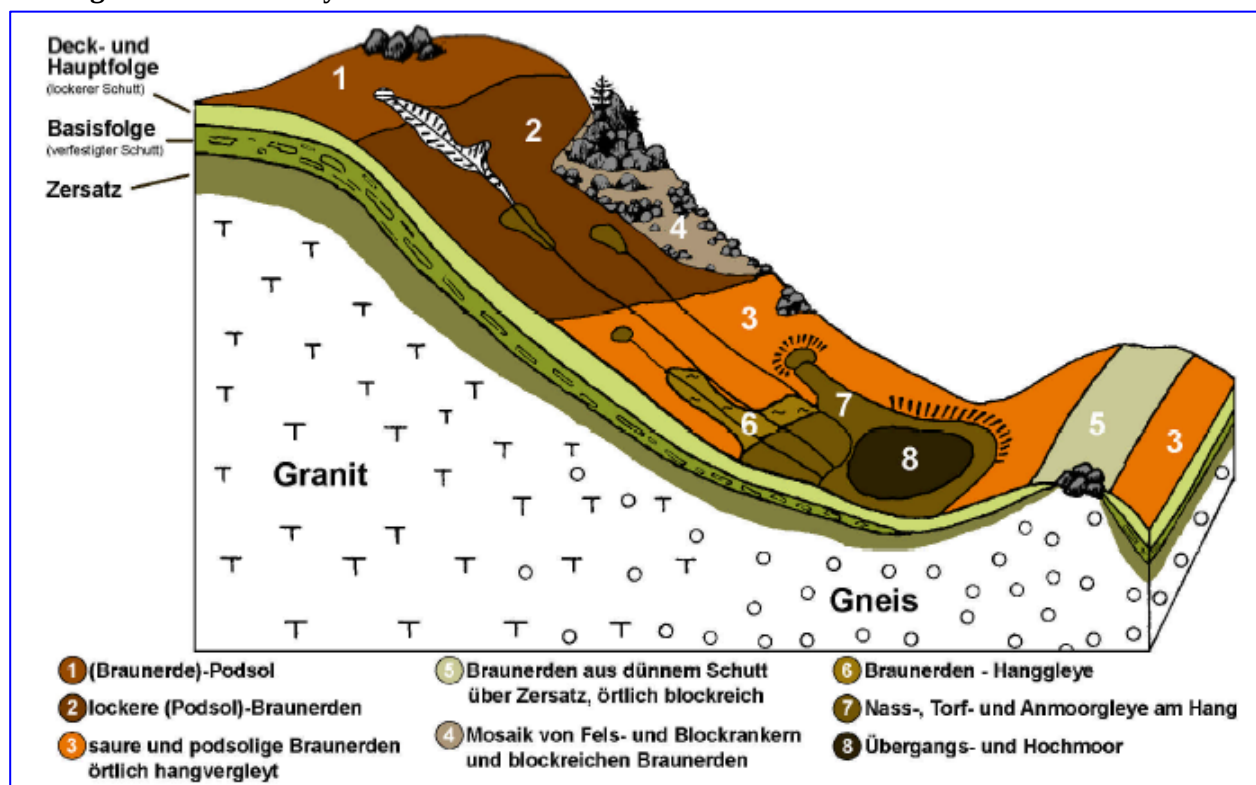
Ah	Humus
Ae	basenarmer Sand
Bh Bs	Huminstoffe Fe-, Al-oxide Komplexe
C	je nach Ausgangsgestein

Insbesondere die Sandsteine haben z.T. sehr unterschiedliche Tongehalte. Die Bodenentwicklung ist deshalb stark abhängig vom Tonanteil.

Bei sehr geringem Tonanteil (nährstoffarm!) entstehen oft Podsole

- **Extrem durchlässige saure, nährstoffarme Sande**, meist nicht unter Ackernutzung
- typischer Standort für **mittelfränkische Kiefernwälder** (Nürnberger Reichswald).
- **Extrem schlechte Eigenschaften** hinsichtlich nFk, KAK, Humus und biologischer Aktivität.

Bodengesellschaft des Bayerischen Waldes:



Quelle: TUM-Weihenstephan

[Zurück](#)

3. Standorte mit tonigen Stauschichten in geringer Tiefe (50 - 100 cm):

Rohboden → Ranker (→ saure Braunerde) → (primären) Pseudogley

Aufgrund der höheren Tongehalte haben diese Standorte...

- mittlere (bis höhere) KAK, oft hohes Nachlieferungsvermögen für Kali!
- mittlere nFk (zusätzlich Stauwasser)
- geringere Luftkapazität (staunasse, „kältere“ Böden)

Die Böden sind gekennzeichnet durch

- o Bearbeitungsprobleme (Befahrbarkeit)
- o Strukturprobleme (Verdichtungen, Vernässungen)

2.3 Lockergestein mit mittlerem Kalk - und Tongehalt (Löß)

Bodenprofile in [Bayern](#) und Baden-Württemberg: [Übersicht](#), Grundlagen Uni [Münster](#)

Löss-Landschaft [Kraichgau](#)

Zu dieser Klasse zählen sog. Mergelgesteine, kalkhaltige Schotter und Sande als auch **Löß**.

Die Ackerkrume ist je nach Entwicklung noch kalkhaltig oder schon entkalkt.

Die pH-Werte liegen bei kalkhaltigen Böden naturgemäß über 6,8 (ältere Lössen auch etwas niedriger), die davon abhängige biologische Aktivität ist allgemein sehr gut.

a) Flachgründigere Standorte:

Rohboden → Pararendzina → (eutrophe) Braunerde

Die Bodenfruchtbarkeit ist stark abhängig von der Tiefgründigkeit der Bodenentwicklung. Es entstehen meist lehmige Sande (IS) bis sandige Lehme (sL) mit ...

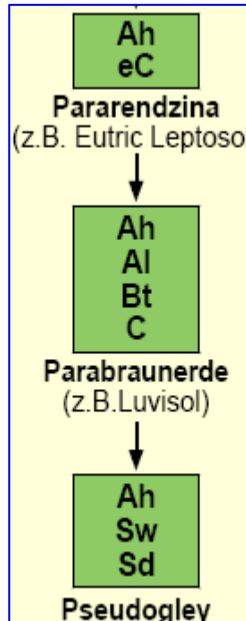
- hoher Luftkapazität
- mittlerem Humusgehalt
- mittlere bis höhere KAK
- je nach Durchwurzelungstiefe mittlere nFk

Typische Standorte:

- o Tertiäres Hügelland (München, Augsburg, Landshut)
- o voralpine Molassegebiete (eiszeitlich)

[Zurück](#)**b) Tiefgründige Standorte:**Quelle: BW [Übersicht \(Profil\)](#)

Roboden → Pararendzina → eutrophe Braunerde → Parabraunerde →
→ sekundärer Pseudogley



Steht die Entwicklung im Bereich Braunerde - Parabraunerde, so zählen diese Standorte je nach Tongehalt mit zu den fruchtbarsten Böden.

1. Auf Löß entstehen Bodenarten...

- mit sehr guter Porosität im optimalen Lehmbereich (sL, suL, utL) und damit
- hoher nFk und
- hoher KAK

Typische Standorte:

- o unterfränkische und südbayerische Gäu - bzw. Gaulagen
- o Hänge des Tertiären Hügellands Südbayerns (Lößanwehungen)

2. Bei kalkhaltigen tiefgründigen Sanden (Bodenart IS) entstehen Böden mit...

- mittlerer bis höherer nFk (gute Durchwurzelung)
- niedriger KAK (geringer Tongehalt) aber
- hoher biologischer Aktivität (pH!)

Typische Standorte sind kalkhaltige Flug - und Flusssande...

- o in den Donautälern Südbayerns
- o zwischen Nördlingen und Wemdingen (Schwaben)
- o südlich Volkach und nordöstlich Gerolzhofen (Unterfranken) ?

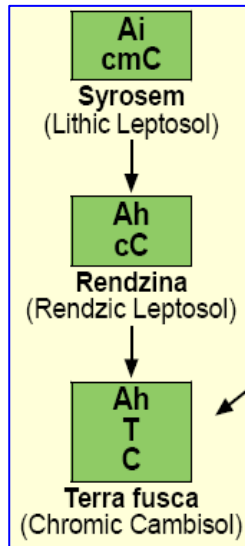
2.4 Kalkgesteine

[Zurück](#)

Quelle: Bodenprofile in [Bayern](#) und Baden-Württemberg: [Übersicht](#), Grundlagen Uni [Münster](#)

Standorte sind...

- [Weißjura](#) (Malm) und
- [Muschelkalk](#) (nördliches Unterfranken Würzburg - Hammelburg - Mellrichstadt)



Bei der Verwitterung entstehen allgemein

- flachgründige Böden (anstehendes Kalkgestein),
- oft stark mit **Kalkscherben** durchsetzt.

Rendzina → nährstoffreiche Braunerde oder Terra fusca

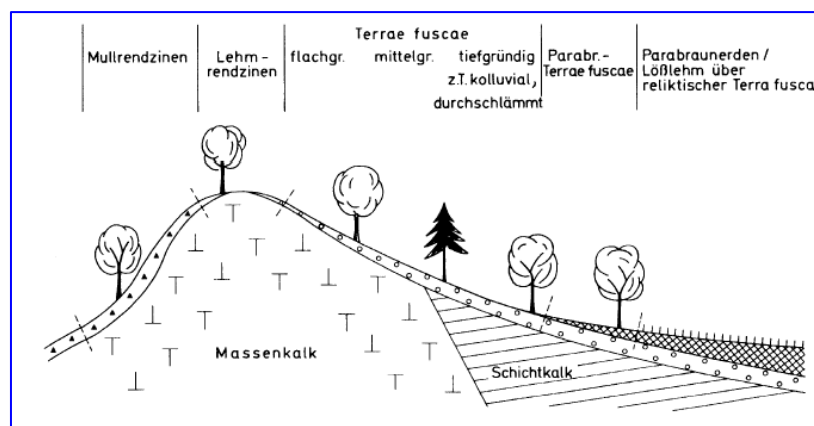
Je nach Verunreinigungen, die im Kalkgestein bei seiner Entstehung (Meeressediment!) eingeschlossen wurden, bilden sich...

- sehr tonige Böden (tonige Einschlüsse) oder
- leichtere anlehmige 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)

Bodenformen aus Weißjura und Windsedimenten (Schwäbischen Alb):



Quelle: TUM-Weihenstephan

Bodenschätzung

Quelle: Bayerisches Landesamt für Steuern, [s. nächste Seiten!](#)

Merkblatt über den Aufbau der Bodenschätzung (02/2009)

Nachfolgend wird dargestellt, wie die Bodenschätzung aufgebaut ist und wie die Schätzungskarten zu lesen sind.

1. Aufgabe der Bodenschätzung

- Die Unterscheidung der landwirtschaftlich genutzten/nutzbaren Böden von den nicht landw. genutzten/nutzbaren Böden
- Die Ermittlung der Kulturarten
- Die Beschreibung des Bodens und der sonstigen natürlichen Ertragsfaktoren
- Die Feststellung von Ertragswertzahlen (Verhältniszahlen) aufgrund der natürlichen Ertragsbedingungen

2. Diese Ermittlungen werden in folgenden Unterlagen festgehalten:

- In Karten durch Abgrenzung der Flächen gleicher natürlicher Ertragsbedingungen mit Angabe der entsprechenden Klassenzeichen. Es werden geführt die Schätzungsfeldkarten, die Schätzungsurkarten (SUK), die Schätzungskarten des Katasters (sog. *Braundrucke*) und die S-Pausen
- In den Schätzungsbüchern (FSB) durch Beschreibung des Bodens jeder Klassenfläche, also des Bodengefüges und der sonstigen natürlichen Ertragsfaktoren, wie Klima, Gelände, Wasserverhältnisse u.a.
- In den Unterlagen des Liegenschaftskatasters durch Berechnung der Klassenflächen und Berechnung der Ertragsmesszahlen.

3. Die Kulturarten

Es werden bei der landwirtschaftlichen Kulturfläche folgende Kulturarten unterschieden:

Ackerland (A), **Gartenland (G)**, **Grünland (Gr)**.

Das **Ackerland** umfasst die Bodenflächen, die regelmäßig geackert werden und zum feldmäßigen Anbau von Getreide, Hülsenfrüchten u.a. dienen.

Das **Gartenland** umfasst die dem Gartenbau dienenden Flächen einschließlich der Obstanlagen und Baumschulen.

Das **Grünland** umfasst die Dauergrasflächen, die in der Regel gemäht und geweidet werden. Hierbei wird nicht von der tatsächlichen Nutzung zum Zeitpunkt der Schätzung, sondern von der naturgemäßen Nutzung aufgrund der natürlichen Ertragsbedingungen ausgegangen.

Vom **Grünland** werden als Untergruppen noch besonders bezeichnet:

Als **GrStr (Streu)**, diejenigen Flächen, die nur durch Entnahme von Streu genutzt werden.

Als **GrHu (Hutung)**, diejenigen Flächen geringster Ertragsfähigkeit, die nicht bestellt werden (gelegentliche Weidenutzung).

Flächen die naturgemäß sowohl als Acker oder Grünland gleich gut genutzt werden können (Wechselland zwischen Acker und Grünland), werden je nach der vorherrschenden Kulturart als Acker-Grünland (AGr) oder Grünland-Acker (GrA) bezeichnet.

4. Bodenbestandsaufnahme

Der Boden wird für jede abgegrenzte Klassenfläche nach Erkenntnissen der Bodenkunde bis zu einer Tiefe von einem Meter nach seiner Zusammensetzung (Ton, Sand, Steine, Humus, Kalkgehalt), nach seiner Struktur und Farbe beschrieben. Die Stelle einer Klassenfläche, die zur Beschreibung diente und die dem Durchschnitt der entsprechenden Klassenfläche entsprechen soll, wird in Feldkarte und Urkarte mit einem liegenden Kreuz und einer laufenden Nummer festgehalten. Die lfd. Nummer wird in die Schätzungsbücher ([FSB](#)) übernommen.

5. Die Klassenzeichen

Aufgrund der Bodenbestandsaufnahme und der sonstigen natürlichen Ertragsfaktoren wird für eine bestimmte Fläche gleicher natürlicher Ertragsfähigkeit in Form von Abkürzungszeichen durch Ableitung aus dem Acker-[\(A\)](#) oder Grünlandschätzungsrahmen [\(GR\)](#) ein Klassenzeichen festgehalten.

Es wird unterschieden zwischen dem Klassenzeichen für **Acker** und **Grünland**

- Beispiel eines Klassenzeichens für **Acker**:

sL	4	D	55	/	50
Bodenart	Zustandsstufe	Entstehung	Bodenzahl		Ackerzahl

┌───────────┐
Klassenzeichen

┌───────────┐
Wertzahlen

Das Klassenzeichen des **Ackers** kennzeichnet also durch Abkürzung:

- die Bodenart
- die Zustandsstufe
- die Entstehung der Böden

Über die Ermittlung der Wertzahlen siehe die Ausführungen unter Ziffer [11](#).

- Beispiel eines Klassenzeichens für **Grünland**

Mo	II	c	2	35	/	32
Bodenart	Zustandsstufe	Klima	Wasserstufe	Grünlandgrundzahl		Grünlandzahl

Klassenzeichen

Wertzahlen

Das Klassenzeichen des **Grünlands** kennzeichnet also durch Abkürzung

- die Bodenart
- die Zustandsstufe
- das Klima
- die Wasserverhältnisse (Wasserstufe)

6. Die Bodenarten

Aufgrund der Zusammensetzung des Bodens nach Korngrößen werden folgende **Bodenarten** unterschieden und durch Abkürzungszeichen gekennzeichnet:

- beim **Acker**:

S = Sand
 Sl = schwach lehmiger Sand
 IS = lehmiger Sand
 SL = stark lehmiger Sand
 sL = sandiger Lehm
 L = Lehm
 LT = schwerer Lehm oder toniger Lehm
 T = Ton
 Mo = Moor

- beim **Grünland** wird zwischen folgenden Bodenartengruppen unterschieden :

S = Sand bis schwach lehmiger Sand
 IS = lehmiger bis stark lehmiger Sand
 L = sandiger Lehm bis Lehm
 T = schwerer Lehm bis Ton
 Mo = Moor

7. Die Zustandsstufe

Mit der **Zustandsstufe** soll die Ertragsfähigkeit einer bestimmten Bodenart gekennzeichnet werden. Die Bodenarten des Ackerlandes werden in 7 Zustandsstufen (1- 7), die des Grünlandes in 3 Zustandsstufen (I – III) eingeteilt. Die hauptsächlichen Merkmale der Zustandsstufen sind:

Stufe 1 : Der Zustand der höchsten Ertragsfähigkeit. Er ist gekennzeichnet durch eine tiefe humusreiche Krume (ca 50 cm), mit einem allmählichen Übergang zu einem humus- und kalkhaltigen Untergrund. Beste Krümelstruktur mit ausgezeichnetem Durchwurzelungsvermögen.

Stufe 3: Der Zustand der mittleren Ertragsfähigkeit. Er ist gekennzeichnet durch eine humushaltige 20 – 30 cm mächtige Krume mit einem allmählichen Übergang zu einem schwach rohen Untergrund, der aber noch eine Durchwurzelung zulässt.

Stufe 5: Der Zustand der geringeren Ertragsfähigkeit. Er ist gekennzeichnet durch eine nur 10 bis 20 cm mächtige Krume, die sich deutlich von einem verdichteten rohen Untergrund absetzt, der nur eine geringe Durchwurzelung mit Faserwurzeln zulässt.

Stufe 7: Der Zustand der geringsten Ertragsfähigkeit. Er ist gekennzeichnet durch eine sehr schwache Krume von 5 – 10 cm Mächtigkeit auf vollkommen biologisch totem Untergrund, der keinerlei Durchwurzelung zulässt (nur Wald- und Heideböden).

Die Zustandsstufen 2, 4 und 6 liegen in ihrer Kennzeichnung zwischen den oben beschriebenen Zustandsstufen. Beim **Grünland** entspricht annähernd die Zustandsstufe **II** den Ackerzustandsstufen 3 – 5 und die Zustandsstufe **III** den Ackerzustandsstufen 5 – 7.

8. Die geologische Entstehung.

Beim **Acker** wird, soweit die geologische Herkunft einen erkennbaren Einfluss auf die Ertragsfähigkeit der Böden ausübt, zwischen folgenden geologischen Herkünften unterschieden und im Klassenzeichen festgehalten:

D = Diluvium. Das sind Böden, die in der Eiszeit durch Anschwemmung und Gletscherablagerungen entstanden sind.

Lö = Löß. Es sind unsere wertvollsten Böden, die in den Zwischeneiszeiten durch Windanwehungen entstanden sind.

Al = Alluvium. Dies sind junge Schwemmlandböden in den Talniederungen

V = Verwitterungsböden. Das sind unsere Gebirgsböden (z.B. Jura, Bayerischer Wald), die durch Verwitterung aus dem anstehenden Gestein an Ort und Stelle entstanden sind.

Vg = Verwitterungsböden gesteinhaltig. Das sind Böden mit noch grobem Material in der Krume, durch das die Bewirtschaftung erschwert ist.

9. Die Wasserstufen (Wasserverhältnisse)

Die Ertragsfähigkeit des **Grünlandes** ist in erster Linie durch die Gunst oder Ungunst des zur Verfügung stehenden Wassers als Niederschlags- oder Grundwasser bestimmt.

Der Schätzungsrahmen sieht für die Beurteilung der Wasserverhältnisse 5 Stufen vor und zwar:

Wasserstufe 1 = beste Wasserverhältnisse, die in Bezug auf Menge und Güte immer ein vorzügliches Wiesenwachstum gewährleisten.

Wasserstufe 2 = kennzeichnet gute Wasserverhältnisse mit fast ausschließlichem Süßgräserbestand ohne Gefahr einer Austrocknung

Wasserstufe 3 = kennzeichnet normal mittlere Wasserverhältnisse, mit einem Pflanzenbestand, der in einem mäßigen Umfange Nässe-Anzeiger aufweisen kann.

Wasserstufe 4 = kennzeichnet Roßheu- und Streuwiesen, mit einem überwiegenden Pflanzenbestand von Nässe-anzeigern oder Trockenheitsanzeigern, also entweder infolge von Nässestau saures minderwertiges Heu oder infolge Trockenheit Kurzgrasrasen, nur als Hutungsweiden nutzbar.

Wasserstufe 5 = Sumpfwiesen, absolute, schwer nutzbare Streu, oder trockenste Schafhutung

10. Das Klima

Die Kennzeichnung der klimatischen Verhältnisse (**Wärme**) im Klassenzeichen **erfolgt nur für das Grünland.**

Die Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse für das **Ackerland** erfolgt außerhalb des Klassenzeichens bei der Errechnung der sog. Ackerzahl (siehe unter Ziffer 11).

Das Klima wird im Grünlandklassenzeichen, soweit es die Wärmeverhältnisse kennzeichnet, in 4 Stufen durch die Abkürzungszeichen a, b, c, d festgehalten.

Die Klimastufe a entspricht einem Weinbauklima mit einer Jahreswärme über 8°C (Bodenseegegend, Maintal, Salzburger Becken), einem Klima, das, mittlere Wasserverhältnisse und normale Bewirtschaftung vorausgesetzt, die volle Anzahl an Futterschnitte gewährleistet.

Die Klimastufe b entspricht ungefähr den Gebieten mit einer Jahrestemperatur zwischen 7–8°C, also dem größten Teil Bayerns.

Die Klimastufe c entspricht dem Klima der Mittelgebirgslagen.

Die Klimastufe d entspricht den Hochgebirgslagen der Alpen.

11. Die Wertzahlen

[zum „Klassenzeichen“ zurück](#)

In jeder Klassenfläche stehen anschließend an den Klassenzeichen die Wertzahlen der Flächen. Diese Wertzahlen werden aufgrund des Klassenzeichens nach den Schätzungsrahmen ([A](#), [GR](#)) festgesetzt. **Der Boden höchster Ertragsfähigkeit in Deutschland hat die Wertzahl 100.** Die Wertzahlen der Böden geben das prozentuale Ertragsverhältnis zum besten Boden an. Diese, aufgrund des Schätzungsrahmens festgelegten Wertzahlen, werden beim **Acker** „Bodenzahl“, beim **Grünland** „Grünlandgrundzahl“ genannt.

Aus den Boden- bzw. Grünlandgrundzahlen errechnen sich durch Ab- und Zuschläge für ertragsmindernde oder ertragsfördernde sonstige natürliche Ertragsfaktoren die endgültigen Acker- und Grünlandzahlen. Als sonstige natürliche Ertragsfaktoren kommen in Betracht:

Beim **Acker** die klimatischen Verhältnisse, beim **Acker** und **Grünland**, insbesondere die Geländegestaltung, Schädigungen durch Waldschatten, Nassstellen, Kiesköpfe u. dergl..

Bei den Ab- und Zuschlägen für die klimatischen Verhältnisse zur Errechnung der Ackerzahlen wird von einer mittleren Klimalage von 8°C Jahreswärme und 600 mm Jahresniederschlag ausgegangen. Abweichungen von diesem Klima bedingen die Höhe der Zu- oder Abschläge, je nach ihrer Auswirkung auf den betreffenden Boden.

Besondere Verhältnisse, die bei gleichen Bodenverhältnissen, also bei gleichem Klassenzeichen zu Abschlägen führen, werden in den Karten und Büchern durch sog. *Sonderflächen* besonders gekennzeichnet.

Bei der Ermittlung der Wertzahlen werden die unterschiedlichen Entfernungen der Grundstücke von der Hofstelle nicht berücksichtigt. Es wird von einer normalen, gegendüblichen, zeitgemäßen Bewirtschaftung ausgegangen.

12. Errechnung der Ertragsmesszahlen

[zu den „Unterlagen“ zurück](#)

Die Bodenschätzung hält für jedes Flurstück, evtl. auch für ein Teilflurstück, die Kulturart und die Klassenzeichen mit ihren Wertzahlen in Karten und Büchern fest. Für das Liegenschaftskataster muss die Größe der Klassenflächen errechnet werden. Die sog. Ertragsmesszahl ist das Produkt aus der in qm ausgedrückten Fläche und der durch 100 geteilten Wertzahl der Bodenschätzung. *Beispiel: Ein Flurstück mit der Fläche von 1 ha 20 ar 25 qm bewertet mit der Ackerzahl 50 erhält die Ertragsmesszahl $12025 \times 50 : 100 = 6012$.*

[zu den Wertzahlen zurück](#)

Ackerschätzungsrahmen

zu den Klassenzeichen

zu den Wertzahlen zurück

Ackerschätzungsrahmen

Boden- art	Ent- ste- hung	Zustandsstufe						
		1	2	3	4	5	6	7
S	D		41-34	33-27	26-21	20-16	15-12	11-7
	AI		44-37	36-30	29-24	23-19	18-14	13-9
	V		41-34	33-27	26-21	20-16	15-12	11-7
SI (S/IS)	D		51-43	42-35	34-28	27-22	21-17	16-11
	AI		53-46	45-38	37-31	30-24	23-19	18-13
	V		49-43	42-36	35-29	28-23	22-18	17-12
IS	D	68-60	59-51	50-44	43-37	36-30	29-23	22-16
	Lö	71-63	62-54	53-46	45-39	38-32	31-25	24-18
	AI	71-63	62-54	53-46	45-39	38-32	31-25	24-18
	V		57-51	50-44	43-37	36-30	29-24	23-17
	Vg			47-41	40-34	33-27	26-20	19-12
SL (IS/sL)	D	75-68	67-60	59-52	51-45	44-38	37-31	30-23
	Lö	81-73	72-64	63-55	54-47	46-10	39-33	32-25
	AI	80-72	71-63	62-55	54-47	46-40	39-33	32-25
	V	75-68	67-60	59-52	51-44	43-37	36-30	29-22
	Vg			55-48	47-40	39-32	31-24	23-16
sL	D	84-76	75-68	67-60	59-53	52-46	45-39	38-30
	Lö	92-83	82-74	73-65	64-56	55-48	47-41	40-32
	AI	90-81	80-72	71-64	63-56	55-48	47-41	40-32
	V	85-77	76-68	67-59	58-51	50-44	43-36	35-27
	Vg			64-55	54-45	44-36	35-27	26-18
L	D	90-82	81-74	73-66	65-58	57-50	49-43	42-34
	Lö	100-92	91-83	82-74	73-65	64-56	55-46	45-36
	AI	100-90	89-80	79-71	70-62	61-54	53-45	44-35
	V	91-83	82-74	73-65	64-56	55-47	46-39	38-30
	Vg			70-61	60-51	50-41	40-30	29-19
LT	D	87-79	78-70	69-62	61-54	53-46	45-38	37-28
	AI	91-83	82-74	73-65	64-57	56-49	48-40	39-29
	V	87-79	78-70	69-61	60-52	51-43	42-34	33-24
	Vg			67-58	57-48	47-38	37-28	27-17
T	D		71-64	63-56	55-48	47-40	39-30	29-18
	AI		74-66	65-58	57-50	49-41	40-31	30-10
	V		71-63	62-54	53-45	44-36	35-26	25-14
	Vg			59-51	50-42	41-33	32-24	23-14
Mo			54-46	45-37	36-29	28-22	21-16	15-10

Hochwald		Nieder- und Schälwald
guter	geringer	
Durchschnittliche Mittelhöhe in m		
22-20	14 - 12	8 - 7
Breite der Sonderfläche		
30	20	10

Abrechnung in v.H.

S	24-16
O o. W	16-10

Grünlandschätzungsrahmen

zum Klassenzeichen

zu den Wertzahlen zurück

Grünlandschätzungsrahmen

Boden- Art	Stufe	Klima	Wasserverhältnisse				
			1	2	3	4	5
S	I (45-40)	a	60-51	50-43	42-35	34-28	27-20
		b	52-44	43-36	35-29	28-23	22-16
		c	45-38	37-30	29-24	23-19	18-13
	II (30-25)	a	50-43	42-36	35-29	28-23	22-16
		b	43-37	36-30	29-24	23-19	18-13
		c	37-32	31-26	25-21	20-16	15-10
	III (20-15)	a	41-34	33-28	27-23	22-18	17-12
		b	36-30	29-24	23-19	18-15	14-10
		c	31-26	25-21	20-16	15-12	11-7
IS	I (60-55)	a	73-64	63-54	53-45	44-37	36-28
		b	65-56	55-47	46-39	38-31	30-23
		c	57-49	48-41	40-34	33-27	26-19
	II (45-40)	a	62-54	53-45	44-37	36-30	29-22
		b	55-47	46-39	38-32	31-26	25-19
		c	48-41	40-34	33-28	27-23	22-16
	III (30-25)	a	52-45	44-37	36-30	29-24	23-17
		b	46-39	38-32	31-26	25-21	20-14
		c	40-34	33-28	27-23	22-18	17-11
L	I (75-70)	a	88-77	76-66	65-55	54-44	43-33
		b	80-70	69-59	58-49	48-40	39-30
		c	70-61	60-52	51-43	42-35	34-26
	II (60-55)	a	75-65	64-55	54-46	45-38	37-28
		b	68-59	58-50	49-41	40-33	32-24
		c	60-52	51-44	43-36	35-29	28-20
	III (45-40)	a	64-55	54-46	45-38	37-30	29-22
		b	58-50	49-42	41-34	33-27	26-18
		c	51-44	43-37	36-30	29-23	22-14
T	I (70-65)	a	88-77	76-66	65-55	54-44	43-33
		b	80-70	69-59	58-48	47-39	38-29
		c	70-61	60-52	51-43	42-34	33-23
	II (55-50)	a	74-64	63-54	53-45	44-36	35-26
		b	66-57	56-48	47-39	38-30	29-21
		c	57-49	48-41	40-33	32-25	24-17
	III (40-35)	a	61-52	51-43	42-35	34-28	27-20
		b	54-46	45-38	37-31	30-24	23-16
		c	46-39	38-32	31-25	24-19	18-12
Mo	I (40-45)	a	60-51	50-42	41-34	33-27	26-19
		b	57-49	48-40	39-32	31-25	24-17
		c	54-46	45-38	37-30	29-23	22-15
	II (30-25)	a	53-45	44-37	36-30	29-23	22-16
		b	50-43	42-35	34-28	27-21	20-14
		c	47-40	39-33	32-26	25-19	18-12
	III (20-15)	a	45-38	37-31	30-25	24-19	18-13
		b	41-35	34-28	27-22	21-16	15-10
		c	37-31	30-25	24-19	18-13	12-7

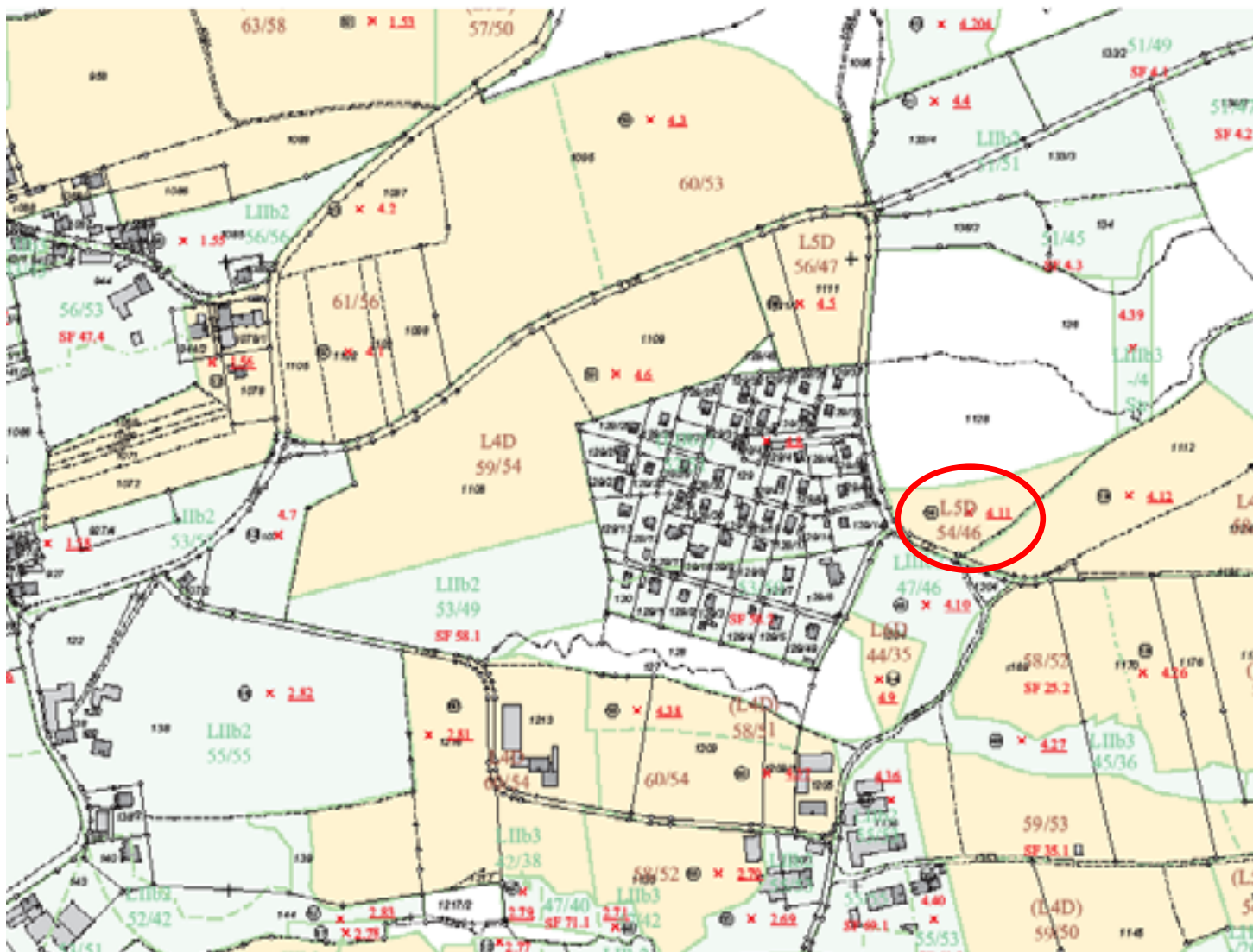
Klima a = 8,0°C Jahreswärme und darüber

b = 7,0-7,9°C, c= 6,9-5,7°C, d= 5,6°C und darunter

(v.H.)	9	18	27	36	47	58	70	84	100
Gel.-Neigung (Grad)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Abrechnung in v.H.									
A	2-6	8-12	14-18	18-26	24-32	30-38	36-44	42-52	-
Agr u. GrA	2-4	4-8	8-14	12-18	16-24	20-28	26-34	30-40	-
Gr.	-	2-4	4-8	8-12	10-16	14-20	18-24	20-28	24-34

Schätzungsurkarte

zu den [Unterlagen](#) zurück



Feldschätzungsbuch

zu den Unterlagen

zur Bodenbestandsaufnahme zurück

Schätzungsbuch

Seite 53

Gemeinde - Gemarkung (Bayern)
Isen - Mittbach

Tagesabschnitt
04

Feuchte: F3 Datum: 17.11.1953

Grab- loch	fld. Nr.	best. Grabl.	Lage	Richtg.	Nelq.	fr. Wasser	Bodentyp	M. L.	T. N.	Erläut. Kat.
8										
Kulturart	Bodenklasse	GrGZ	Besonderheiten, Abrechnungen [%]				Allg. Klima	Wertzahlen		
GrA	L II b 2	52	Gel SO -2					52 / 51		

Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feu.	Sonst.	Bodenart	Schicht [dm]	Horizont
1	h3-h2					L ₃ -c3	1,5	
2		gb3				L ₃ -gnu2	1,5	
3		gb				L ₃ -gnu3		

Feuchte: F3 Datum: 17.11.1953

Grab- loch	fld. Nr.	best. Grabl.	Lage	Richtg.	Nelq.	fr. Wasser	Bodentyp	M. L.	T. N.	Erläut. Kat.
9										
Kulturart	Bodenklasse	BZ	Besonderheiten, Abrechnungen [%]				Allg. Klima	Wertzahlen		
A	L 6 D	44	Gel -4, Wild SW -8					-10 % 44 / 35		

Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feu.	Sonst.	Bodenart	Schicht [dm]	Horizont
1	h2					L ₃ -	0,5	
2		gb4	e3			L ₃	2,0	
3		gb3	e3			L ₃ 2		

Feuchte: F3 Datum: 17.11.1953

Grab- loch	fld. Nr.	best. Grabl.	Lage	Richtg.	Nelq.	fr. Wasser	Bodentyp	M. L.	T. N.	Erläut. Kat.
10										
Kulturart	Bodenklasse	GrGZ	Besonderheiten, Abrechnungen [%]				Allg. Klima	Wertzahlen		
Gr	L III b 2	48	Gel -2					47 / 46		

Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feu.	Sonst.	Bodenart	Schicht [dm]	Horizont
1	h3-h2					L ₃	1,0	
2		gb4				L ₃	1,5	
3			n4			L ₃ -kr		

Feuchte: F3 Datum: 17.11.1953

Grab- loch	fld. Nr.	best. Grabl.	Lage	Richtg.	Nelq.	fr. Wasser	Bodentyp	M. L.	T. N.	Erläut. Kat.
11										
Kulturart	Bodenklasse	BZ	Besonderheiten, Abrechnungen [%]				Allg. Klima	Wertzahlen		
A	L 6 D	54	Wild N -4					-10 % 54 / 46		

Humus	Kalk	Farbe	Eisen	Feu.	Sonst.	Bodenart	Schicht [dm]	Horizont
1	h3-h2					L ₃ -	1,5	
2		gb3				L ₃	2,0	
3		gb3	e3			L ₃ 2		