

Boden

Entstehung, Eigenschaften, Fruchtbarkeit, Management

Bodenpraktiker-Kurs - Burgenland, September 2018

Gernot BODNER

Universität für Bodenkultur

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau

Arbeitsgruppe Nutzpflanzenökologie

Inhalt

Teil 1. Bodenbildung

Welcher Boden entwickelt sich in welcher Umwelt und warum?

Teil 2. Bodenfruchtbarkeit

Welche Bodeneigenschaften bestimmen die Fruchtbarkeit und kann man diese verändern?

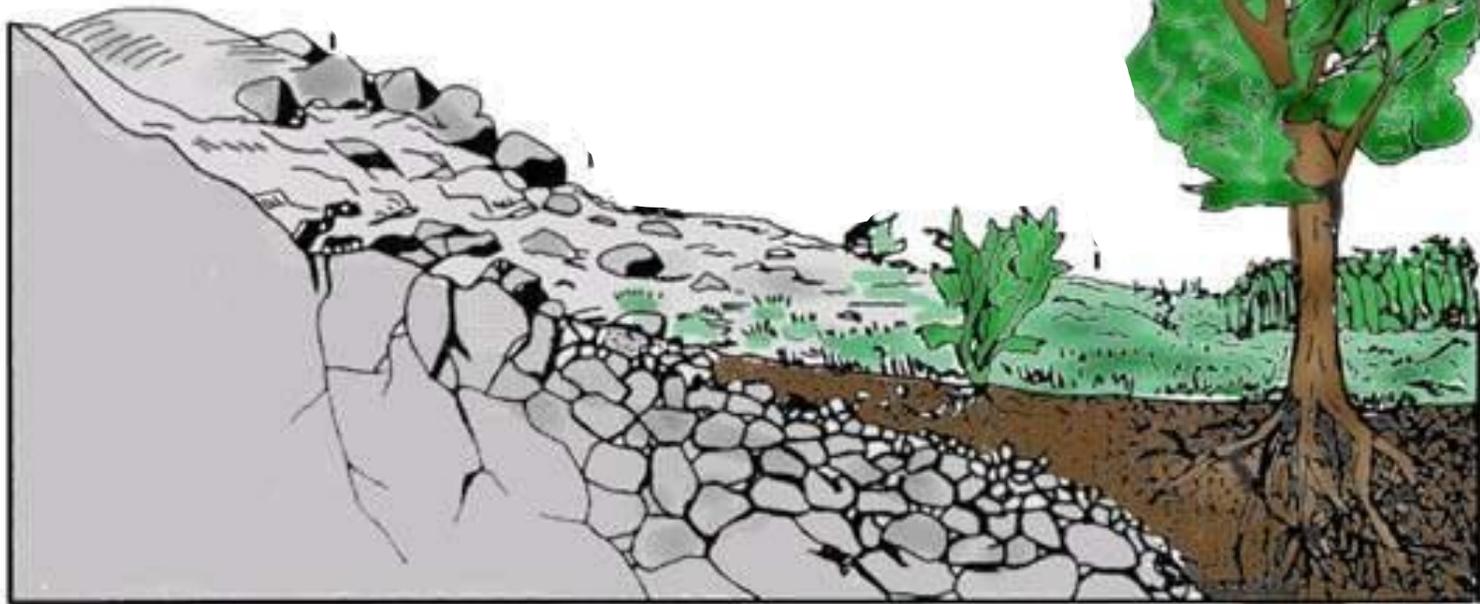
Teil 3. Bodenmanagement

Wie diagnostiziert man Bodenprobleme und was kann man dagegen tun?

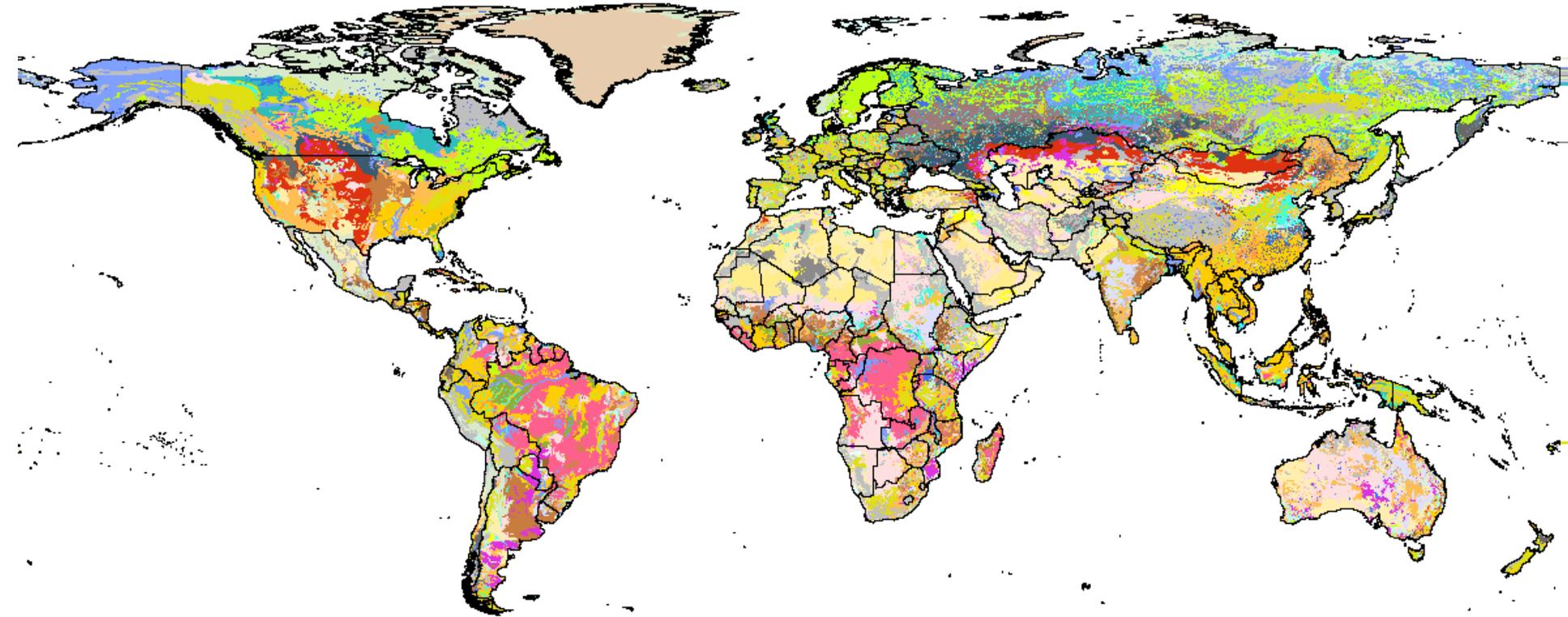
Teil 1. Bodenbildung

Was ist Boden?

Boden ist der natürliche Körper aus **Feststoffen** (mineralischen und organischen), **Flüssigkeit** und **Gasen** an der Erdoberfläche (...) und sich durch eine oder beiden folgenden Merkmale auszeichnet: **Horizonte** oder Schichten die sich vom Ausgangsmaterial unterscheiden als Ergebnis der Zufuhr, des Verlustes, der Verlagerung oder der Umwandlung von Energie und Stoffen, oder die Fähigkeit **bewurzelte Pflanzen** natürlicherweise wachsen zu lassen (*US Soil Taxonomy*).



Gibt es eine Ordnung im Chaos?

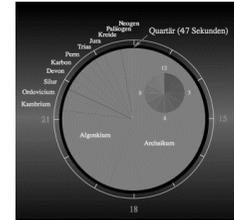


Weltbodenkarte, FAO

Die 5 Faktoren der Bodenbildung



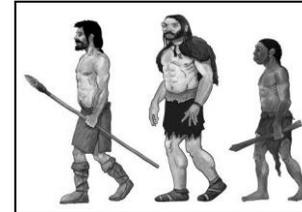
Klima



Zeit



Ausgangsgestein



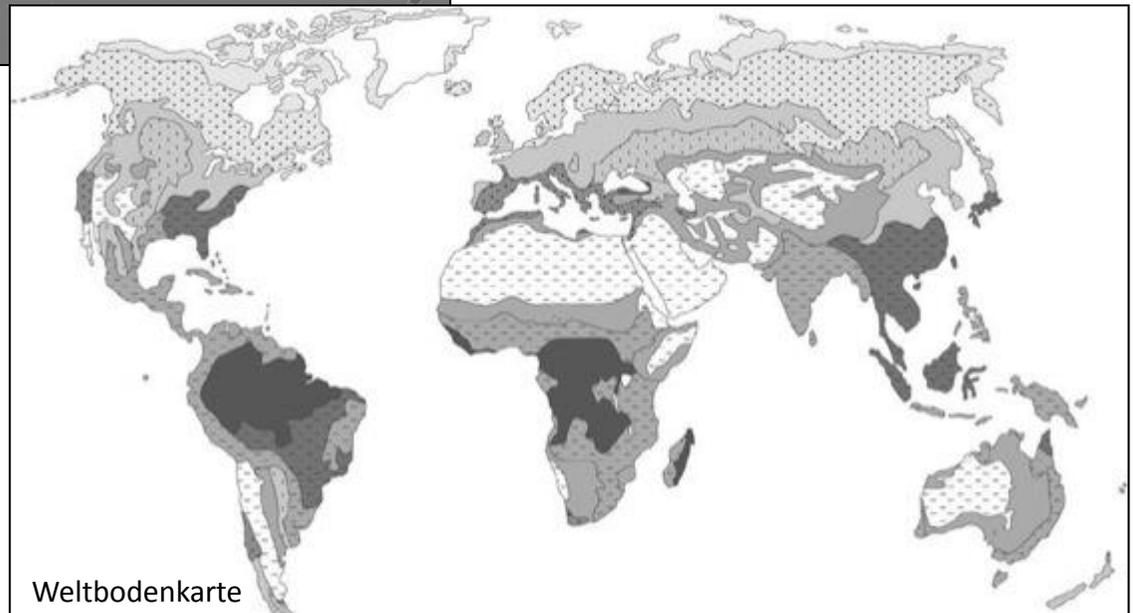
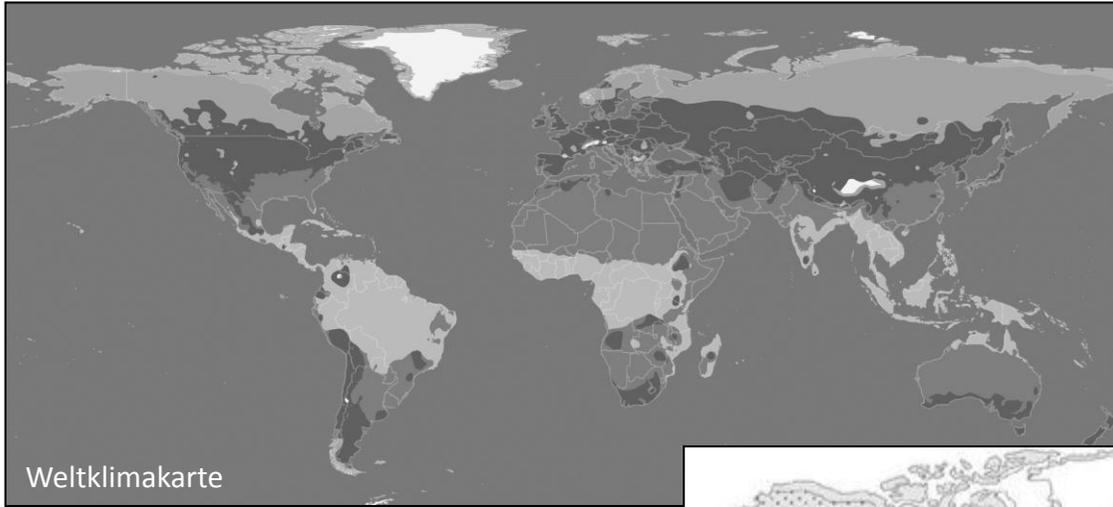
Mensch



Relief



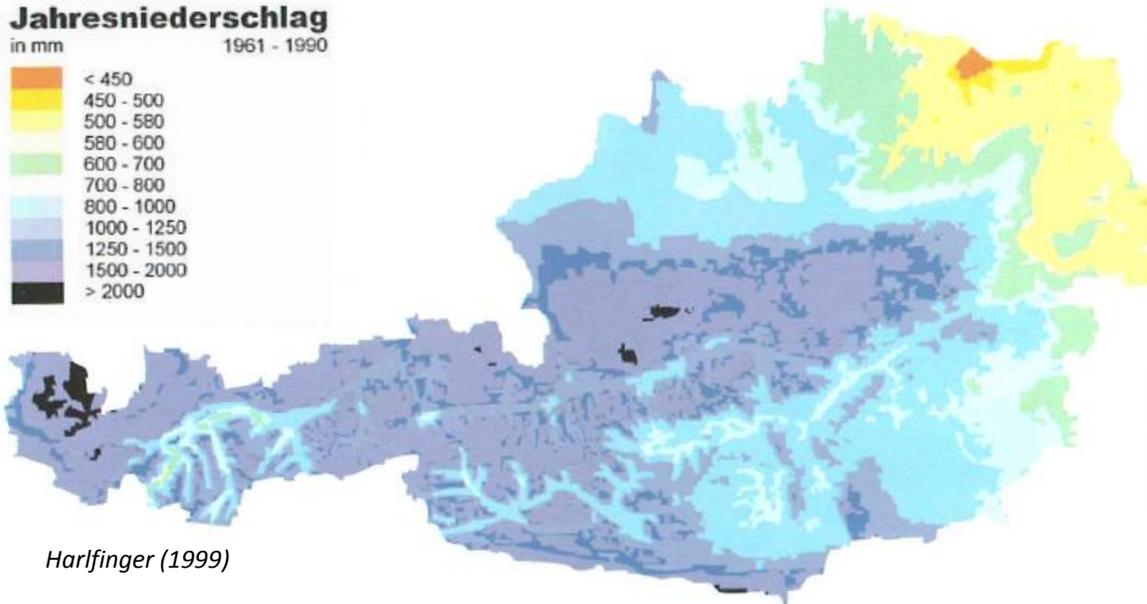
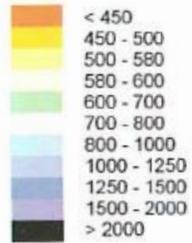
Faktor 1. Klima





Faktor 1. Klima

Jahresniederschlag
in mm 1961 - 1990



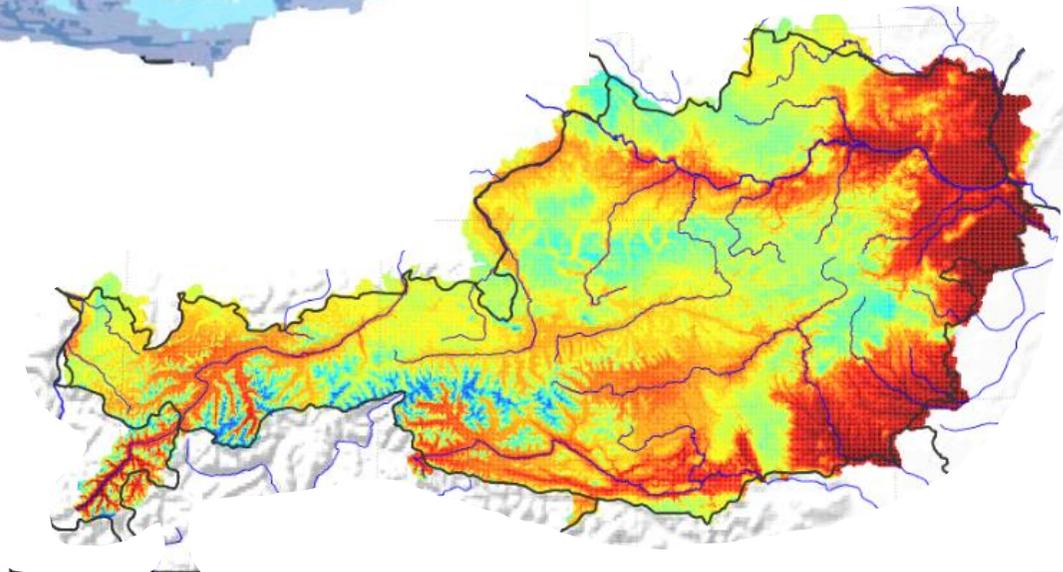
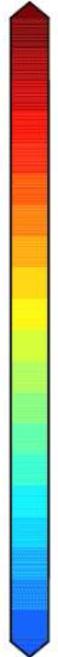
Harlfinger (1999)

Niederschlag
+
Verdunstung

**Klimatische
Wasserbilanz**

Jahresverdunstung

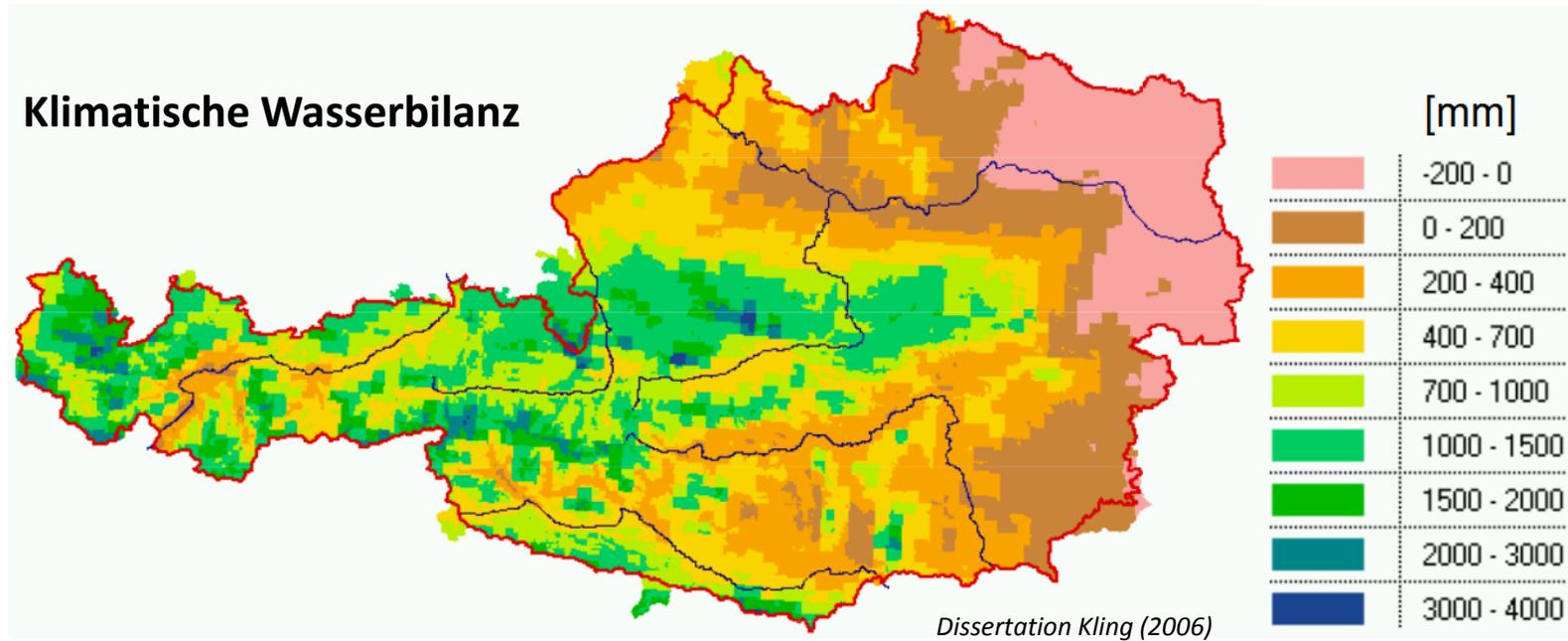
mm/d



Haslinger und Bartsch (2016)



Faktor 1. Klima



Konsequenzen für die Bodenbildung ?



Faktor 1. Klima



Auswaschung

- Basische Kationen
(Na^+ , Ca^{++} , K^+ , Mg^+)
- Tonminerale
- Humus
- Eisenoxide



Faktor 1. Klima



Diez und Weigelt (1987)

Verbraunung und Verlehmung

- Physikalisch: Säure führt zu verstärkter Verwitterung von Gesteinen (Hydrolyse). Dies führt zur Bildung von Tonmineralen.
- Chemisch: Aus den Gesteinen wird Eisen freigesetzt. Es bilden sich Eisenoxide (v.a. Goethit), die den Boden braun färben (*Munsell-Farbe 10YR 4-6/3-6*).

Oberbodenentkalkung

- Ab ca. 600 mm Jahresniederschlag zu beobachten (z.B. Schwarzerden).
- Einfluss von Humusgehalt (Säurebildung)

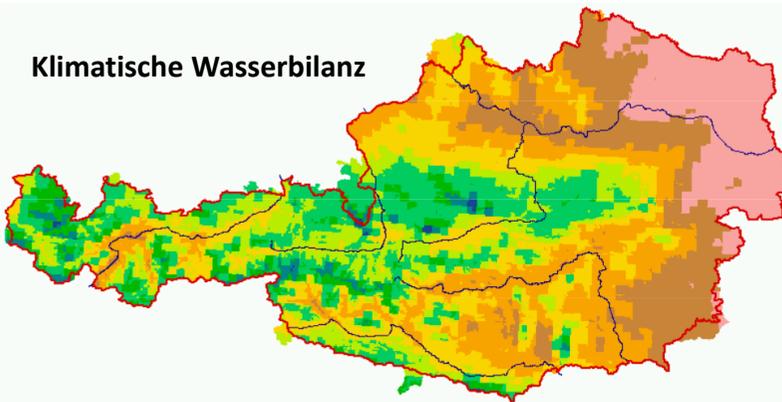


Faktor 1. Klima

Braunerde in Österreich



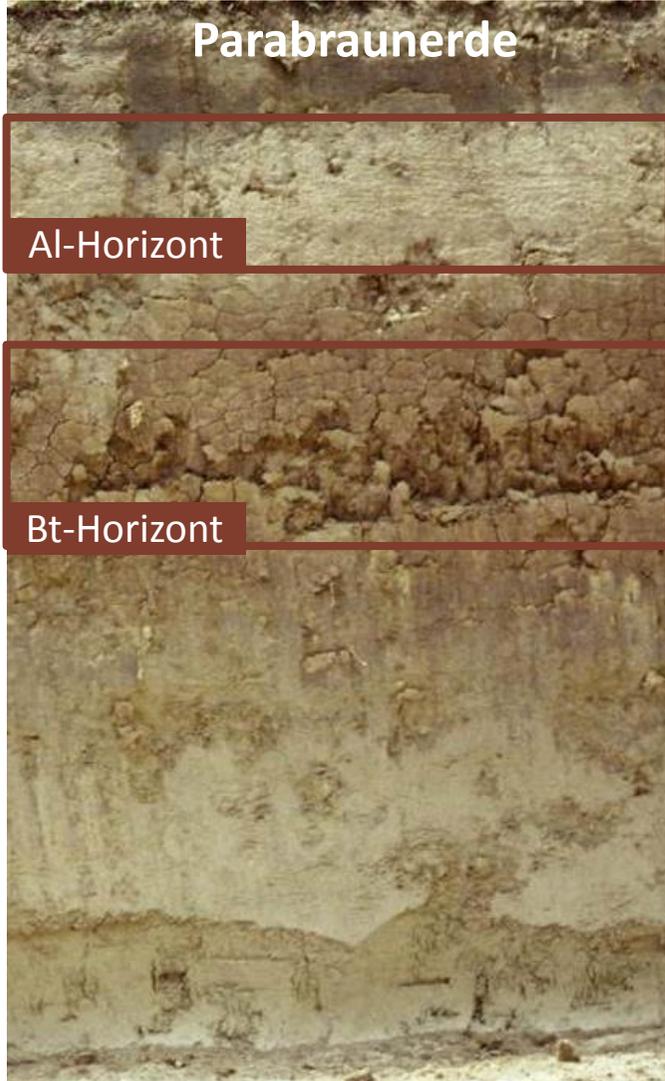
Klimatische Wasserbilanz



Quelle: Harmonized World Soil Database

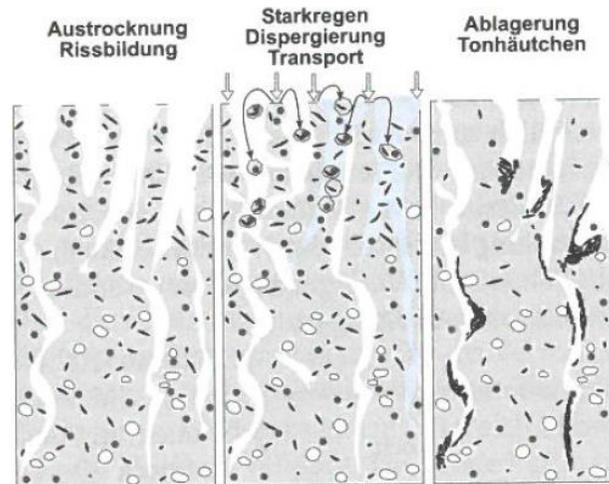
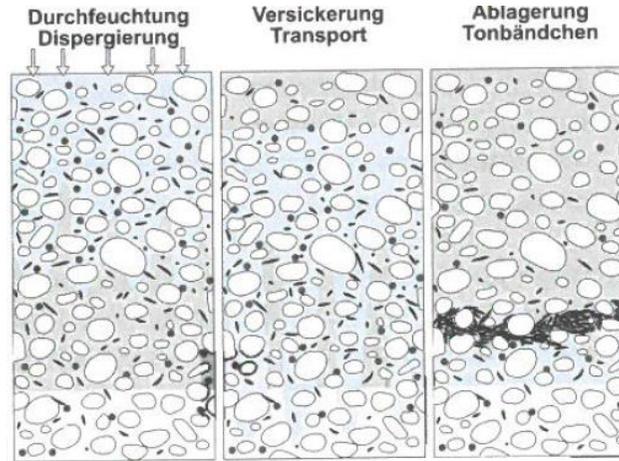


Faktor 1. Klima



www.ahabc.de

Tonverlagerung

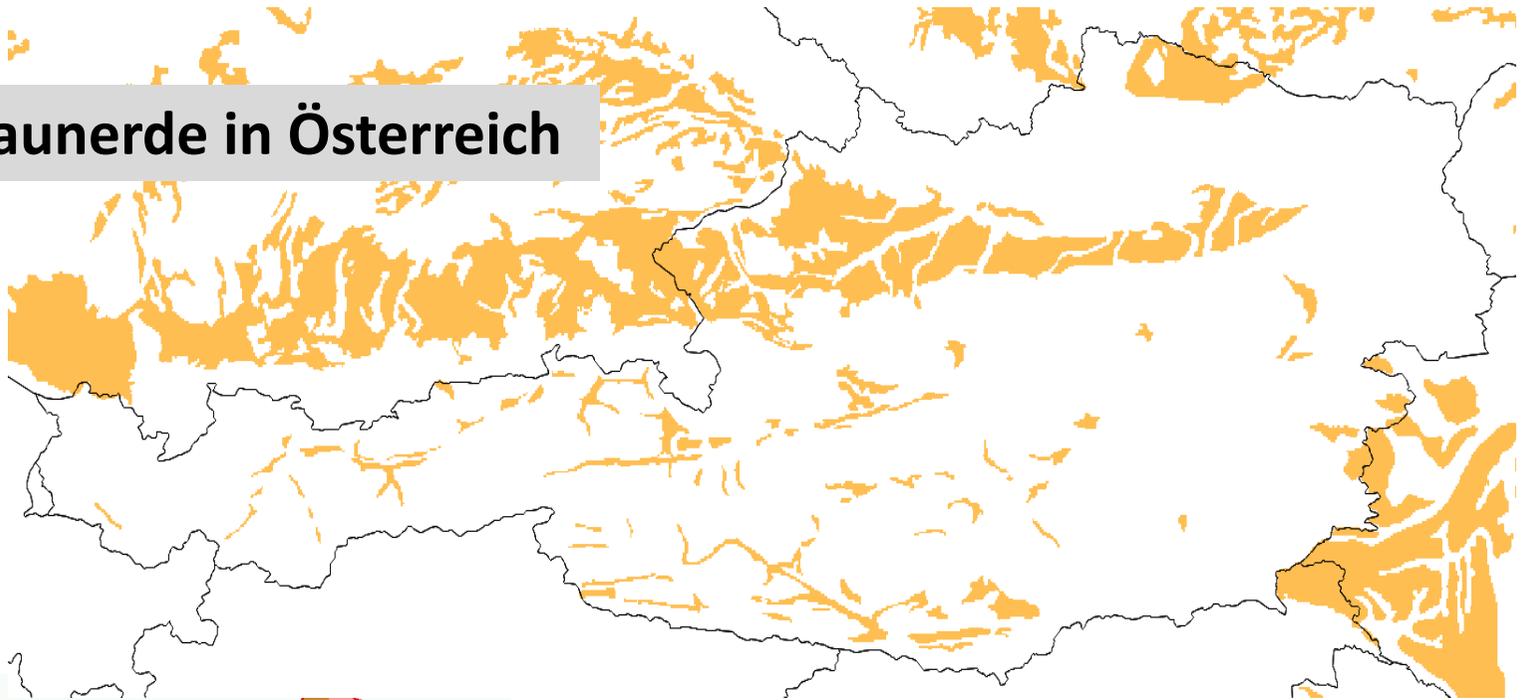


Stahr et al. (2008)



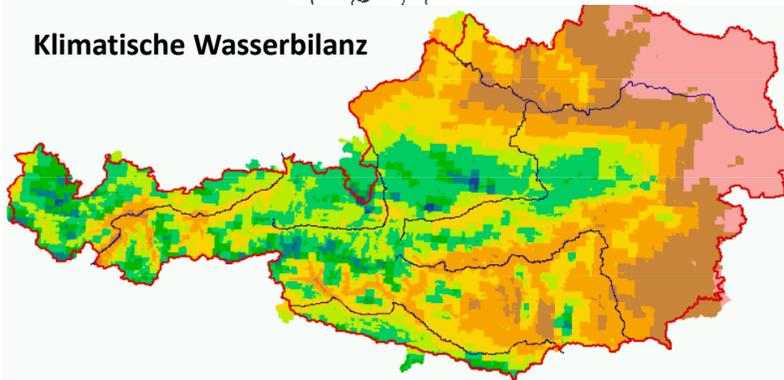
Faktor 1. Klima

Parabraunerde in Österreich



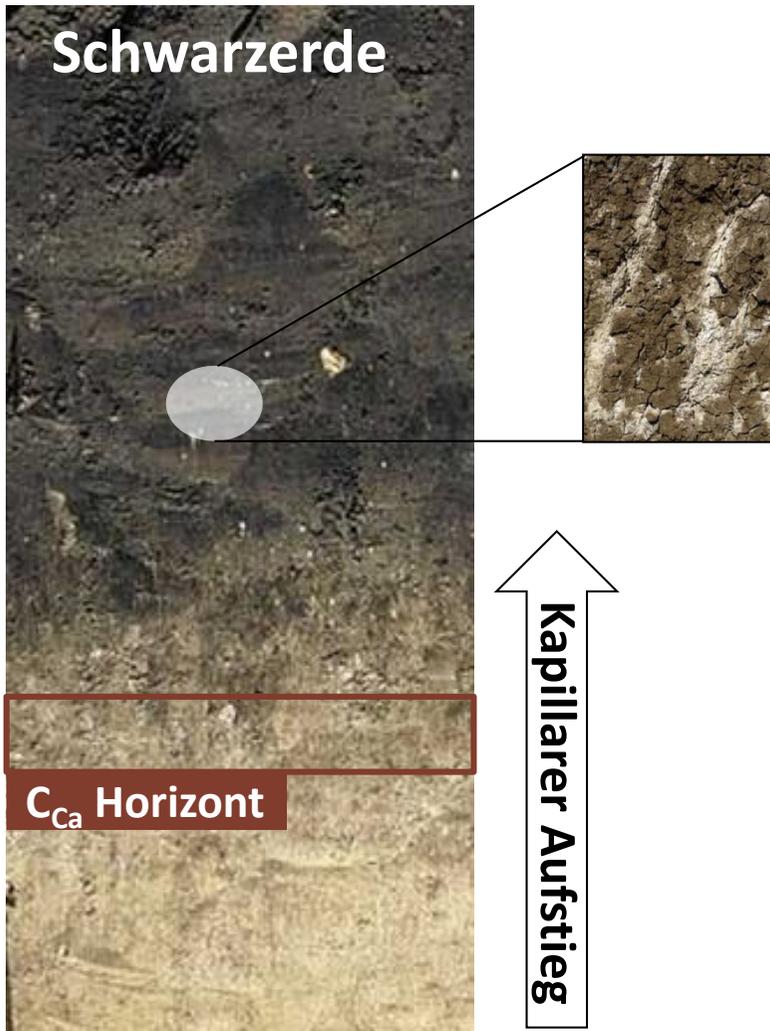
Harmonized World Soil Database

Klimatische Wasserbilanz





Faktor 1. Klima



Pseudomyzel

Kalziumcarbonat steigt mit dem Bodenwasser auf. Wenn das Wasser verdunstet, fällt es in den Poren aus.

C_{Ca}-Horizont

Anreicherung von Kalziumcarbonat im oberen C-Horizont (mittlere Versickerungstiefe des Niederschlages). Kann sich stark ver härten.



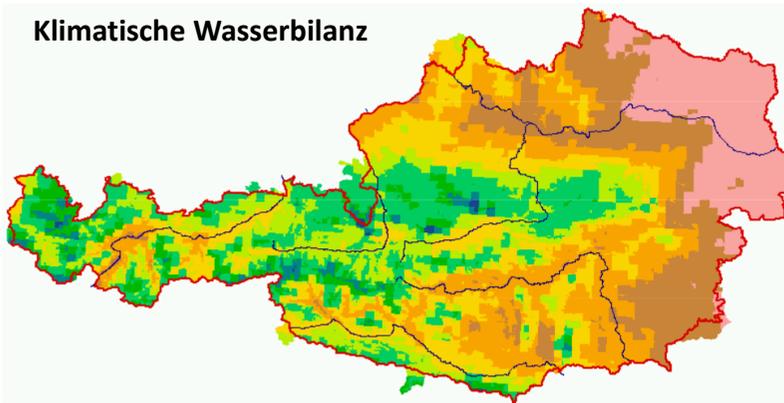
Faktor 1. Klima

Schwarzerden in Österreich



Harmonized World Soil Database

Klimatische Wasserbilanz





Faktor 1. Klima

- Kühl, trocken, hoher pH

Verwitterungsintensität

Warm, feucht, niedriger pH +

Eisenoxide	Lepitocrocit	Goethit	Ferrihydrit	Hämatit / Maghemit
	Orange; hohe CO ₂ Sättigung (Stauwasser)	Braun-gelb; in gemäßigttem und tropischen (Oberboden) Klima	Braunrot; rasche Oxidation (G _O -Horizonte)	Rot; Warmes tropisches Klima, Unterboden

Tonminerale	Illit	Smectit/Vermiculit	Kaolinit	Chlorit	Gibbsit
	3 Schicht, hohe Ladungsdichte, ähnlich Glimmer, 4-6 % K ⁺	3 Schicht, schwellend, mittlere Ladungsdichte, weniger K ⁺	2 Schicht, niedrige Ladung (kein isomorpher Ersatz), Desilifizierung	2 Schicht, verbunden über Al-Oktaeder-Schicht (Versauerung => Zufuhr von freiem Al)	Al-Oxid als Endprodukt vollständiger Desilifizierung

Beispiel: Bodenserie auf Granit entlang eines Temperaturgradienten

Hohe Breiten

Mittlere Breiten

Subtropen

Tropen

Vergleyte Braunerde ⇒ **Vergleyter Podsol** ⇒ **Parabraunerde** ⇒ **Acrisol** ⇒ **Ferralsol**

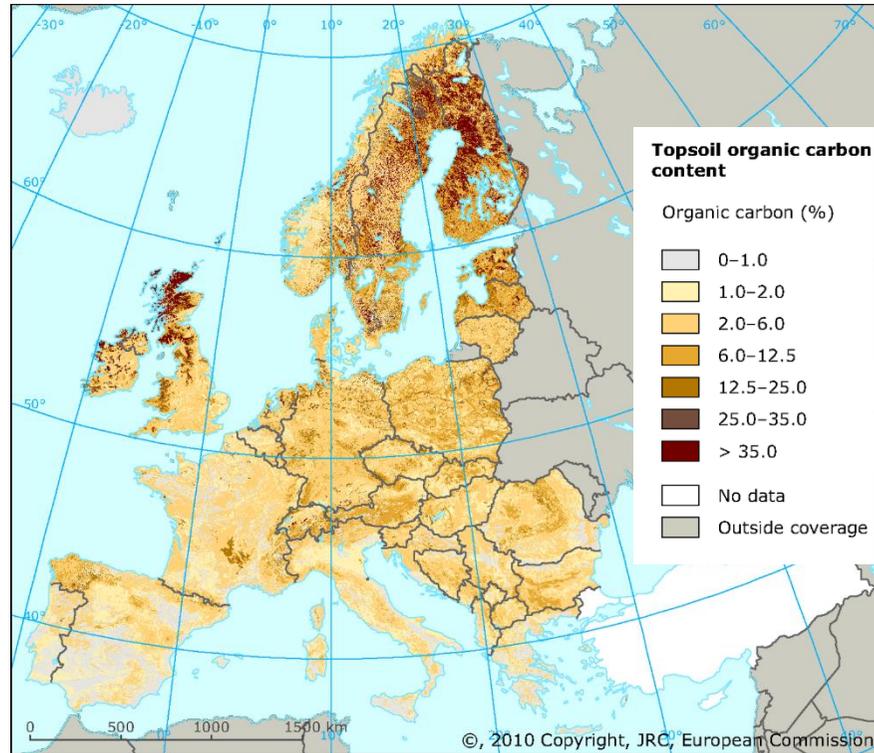
Verwitterung

Stahr et al. (2008)

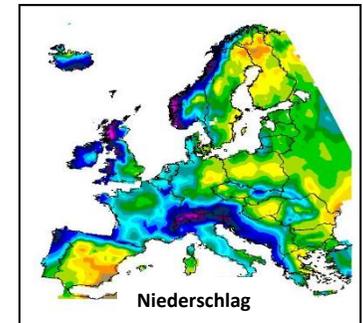
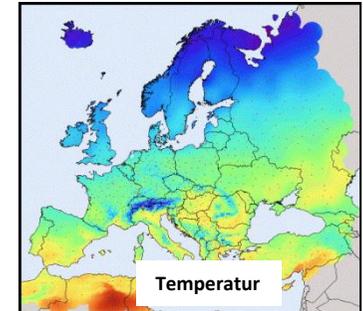
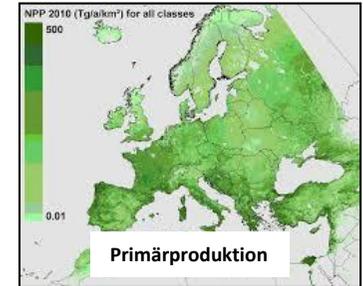


Faktor 1. Klima

Zufuhr Abbau



Böden mit hohen Humusgehalten
 Moore, Anmoore, Feuchtschwarzerden,
 Gebirgsböden





Faktor 1. Klima

Beispiel: Bodenserie auf Mergel entlang eines Niederschlagsgradienten

Boreal

Gemäßigt

Kontinental

Subtropisch trocken

Fahlerde



Griserde



Tschernosem



Kastanozem



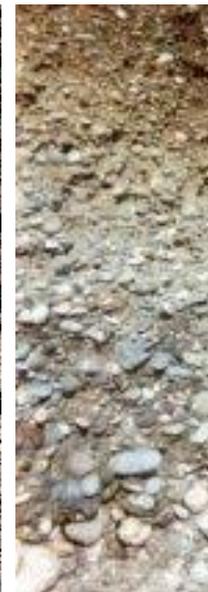
Calcisol



Carbonat-Rohboden

Humus

Stahr et al. (2008)

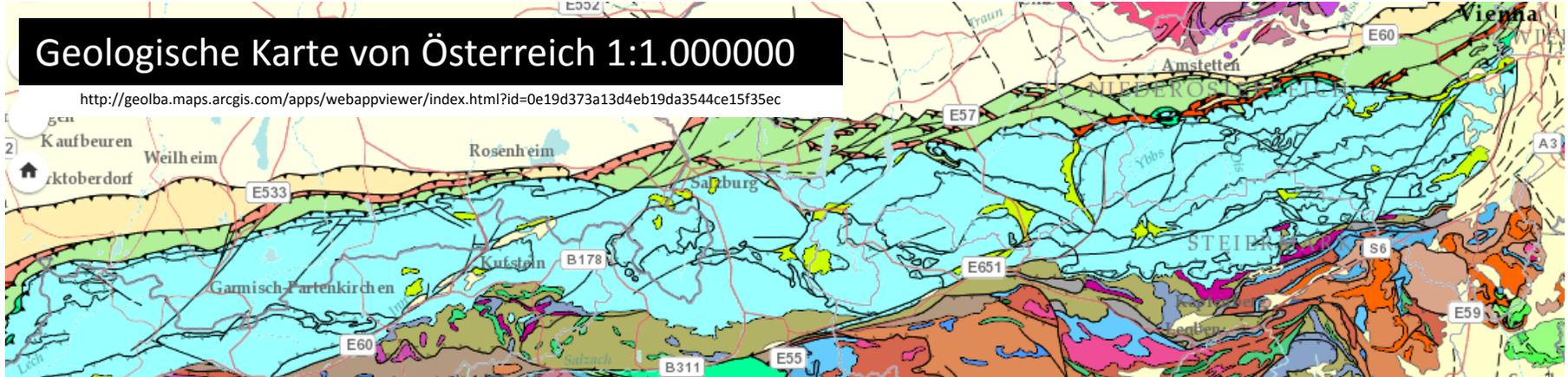




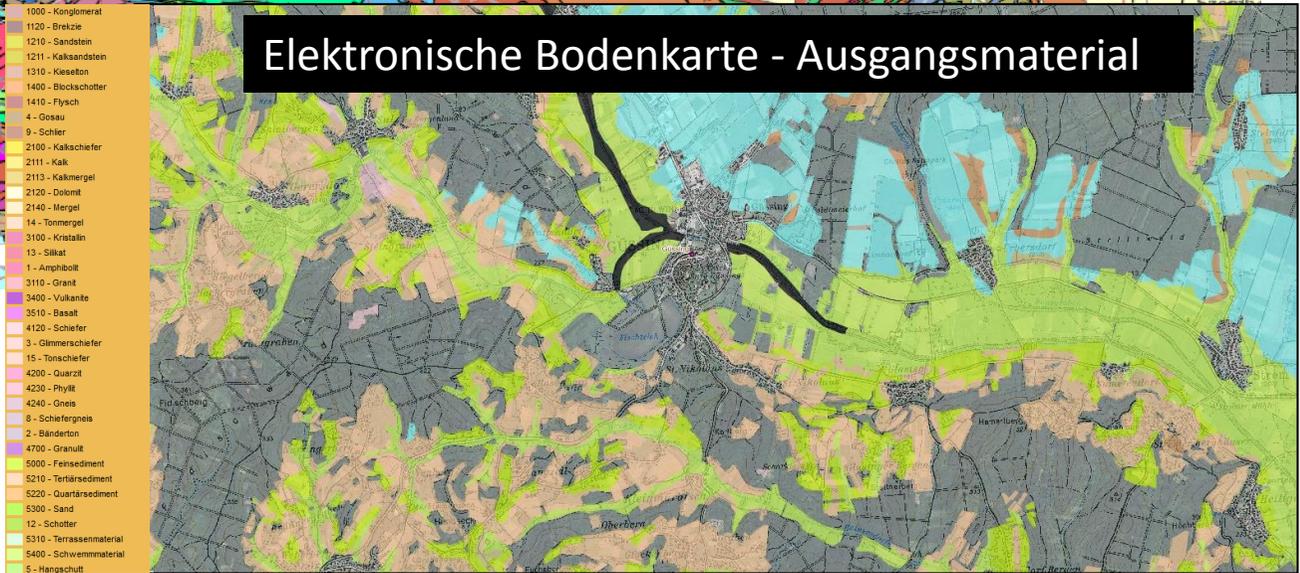
Faktor 2. Ausgangsmaterial

Geologische Karte von Österreich 1:1.000000

<http://geolba.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=0e19d373a13d4eb19da3544ce15f35ec>



Elektronische Bodenkarte - Ausgangsmaterial





Faktor 2. Ausgangsmaterial

„Chemie“ des Ausgangsmaterials

Silikat



z.B. Plattengneis

Böden: Ranker,
Felsbraunerde

Grober Verwitterungs-
rückstand, geringer
Nährstoffgehalt

Karbonat



z.B. Dachsteinkalk

Böden: Rendzina

Hoher Gehalt an CaCO_3 ;
wenig silikatische
Verwitterungsrückstände
für Tonmineralbildung

Saures Gestein



z.B. Granit

Böden: Ranker,
Felsbraunerde

Grober Verwitterungs-
rückstand, viel Quarz,
geringer Nährstoff-
gehalt

Basisches Gestein



z.B. Basalt

Böden: Ranker,
Felsbraunerde

Feiner Verwitterungs-
rückstand, viel
Pyroxen und Feldspat;
viele Nährstoffe



Faktor 2. Ausgangsmaterial

„Physik“ des Ausgangsmaterials

Sandig



z.B. Greifensteiner Sandstein

Böden: leichte Braunerden

Grober Verwitterungsrückstand, geringer Nährstoffgehalt

Tonig



z.B. Mergel

Böden: Braunerde, Parabraunerde, Pseudogley,

Feiner Verwitterungsrückstand und CaCO_3 -haltig. schwere Böden

z.B. Felsbraunerde aus Sandstein



	S (%)	U (%)	T (%)
A	58	37	5
Bv	64	27	9
C	-	-	-

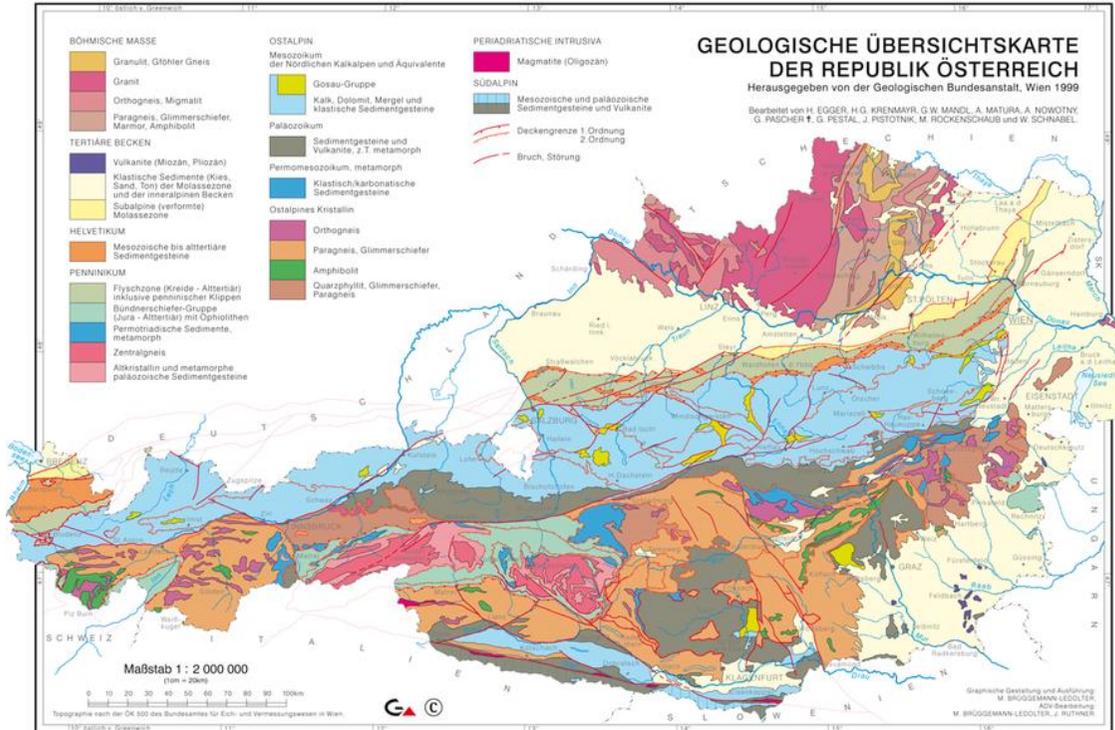
z.B. Lockersedimentbraunerde aus Mergel



	S (%)	U (%)	T (%)
A	6	58	36
Bv	4	57	39
C	7	58	35

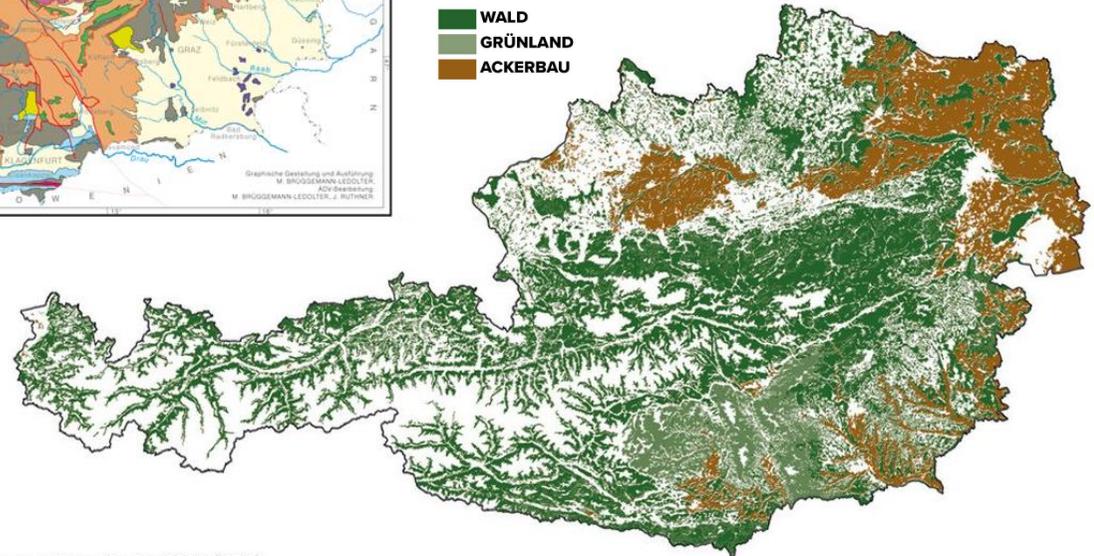


Faktor 2. Ausgangsmaterial



Ackerbau vor allem auf Böden, die aus tertiären oder quartären **Sedimenten** entstanden sind

WALD
GRÜNLAND
ACKERBAU



Datengrundlage: Corine 1990 (UBA)
Erstellung: Schaumberger / August 2005



Faktor 3. Relief

Großräumiges Relief Alpen und Beckenlandschaften



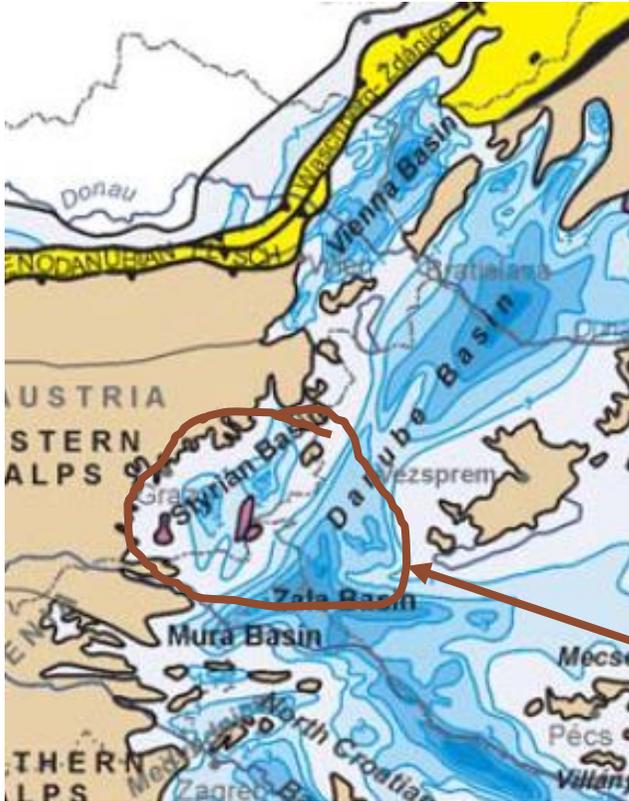
www.ötk.at



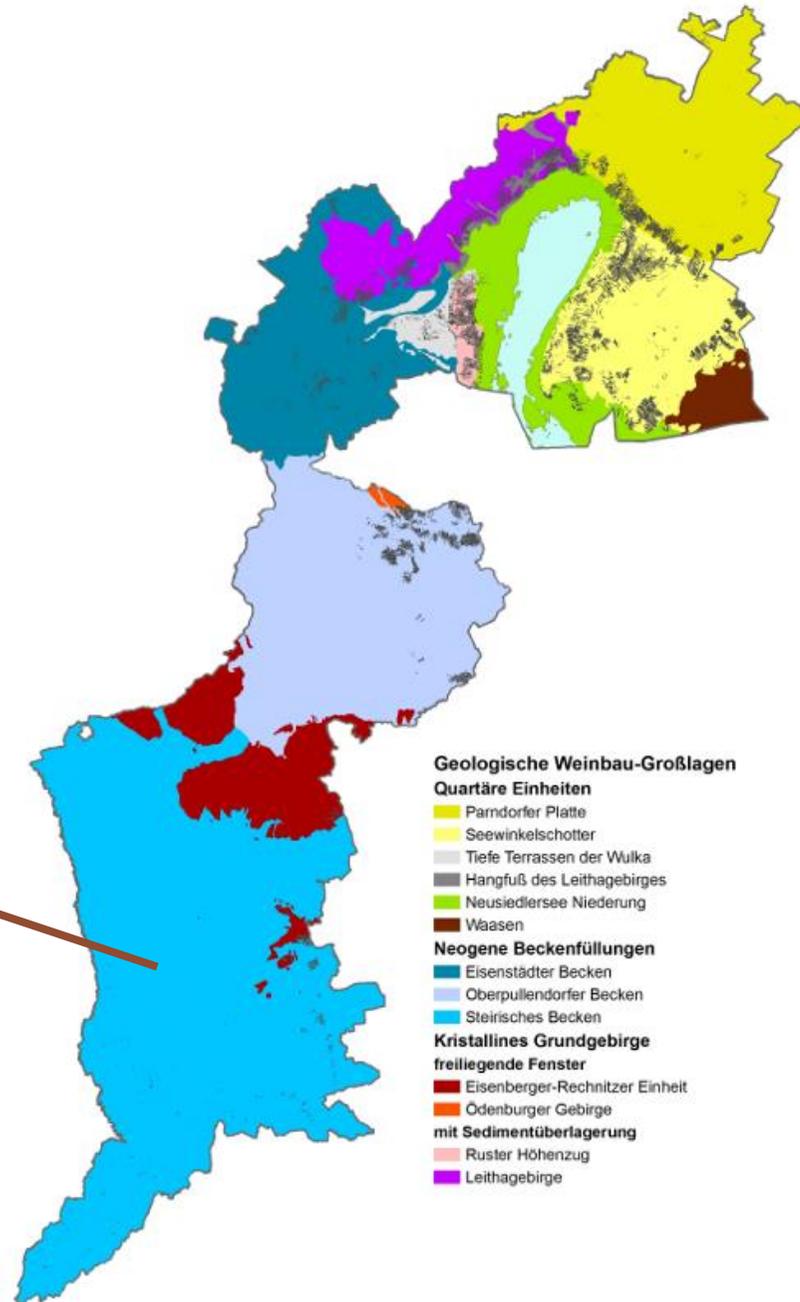
Wikipedia



Faktor 3. Relief

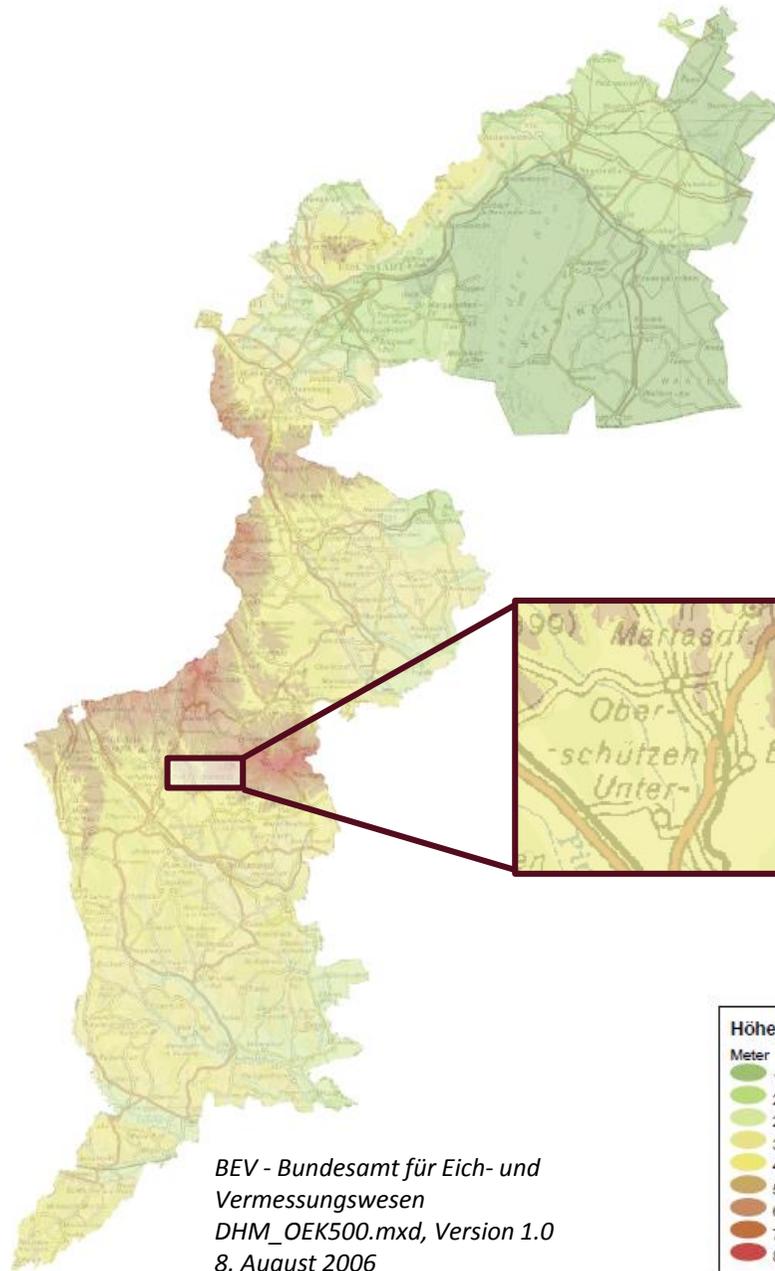
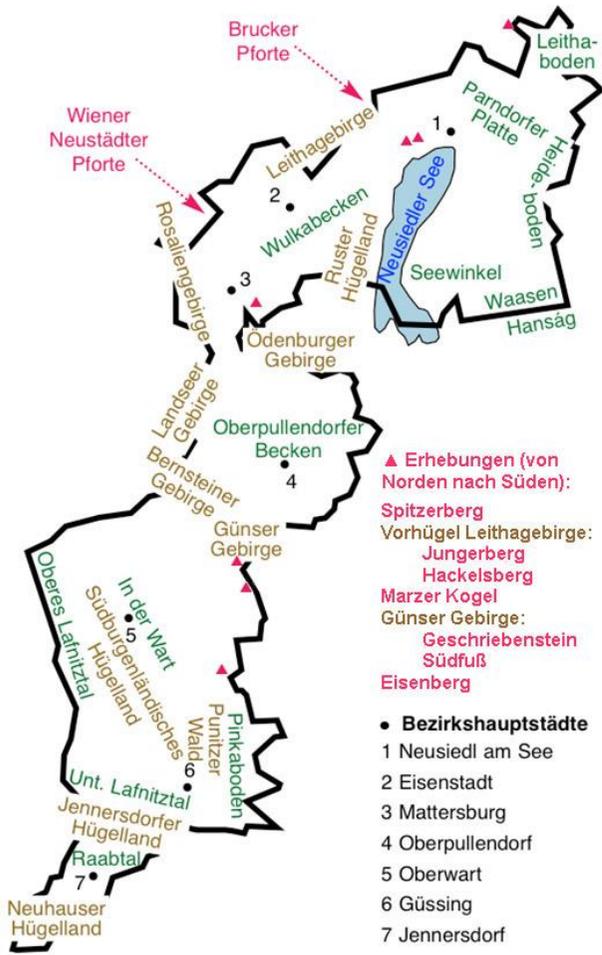


Kováč et al., 2007





Faktor 3. Relief



BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
 DHM_OEK500.mxd, Version 1.0
 8. August 2006

Die Landschaften des Burgenlandes. Copyright: J. Fally, verändert



Faktor 3. Relief

Tertiär – Sarmant

Alter: 12,7-11,6 Mio

Gesteine: Grobsand, Kies, Schotter

Tertiär – Sarmant

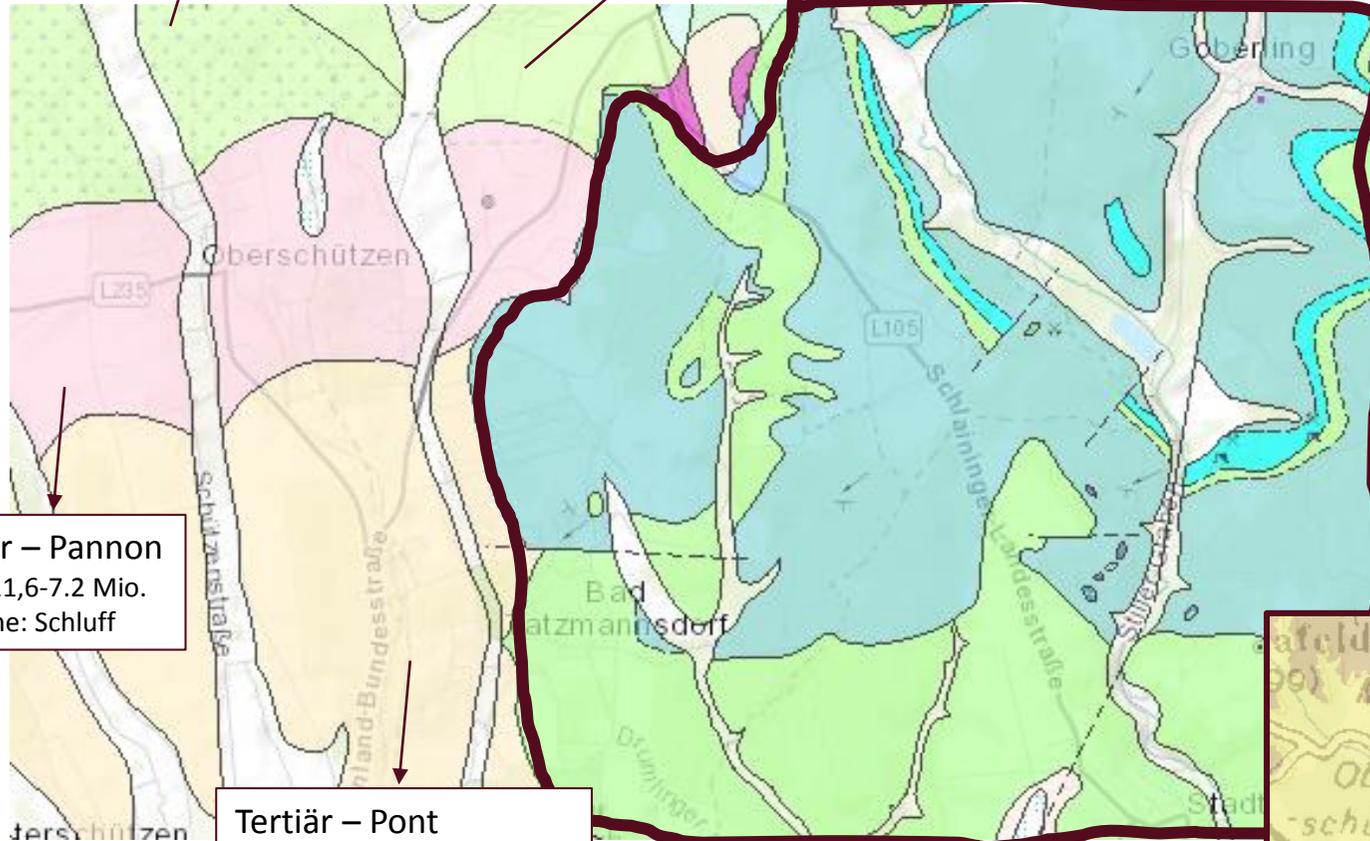
Alter: 12,7-11,6 Mio

Gesteine: Schluff, Feinsand

Jura - Penninikum (*Rechnitzer Fenster*)

Alter: ca. 165 Mio.

Gesteine: (Kalk)phylit, Grünschiefer



Tertiär – Pannon

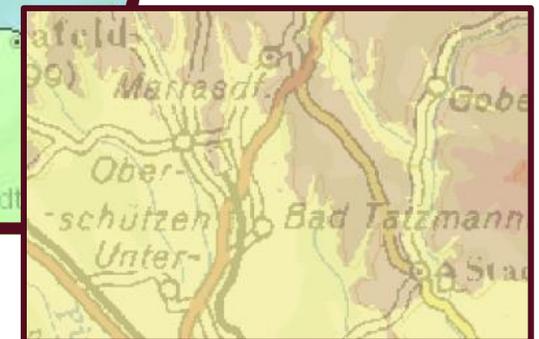
Alter: 11,6-7.2 Mio.

Gesteine: Schluff

Tertiär – Pont

Alter: 7.2-5.5 Mio.

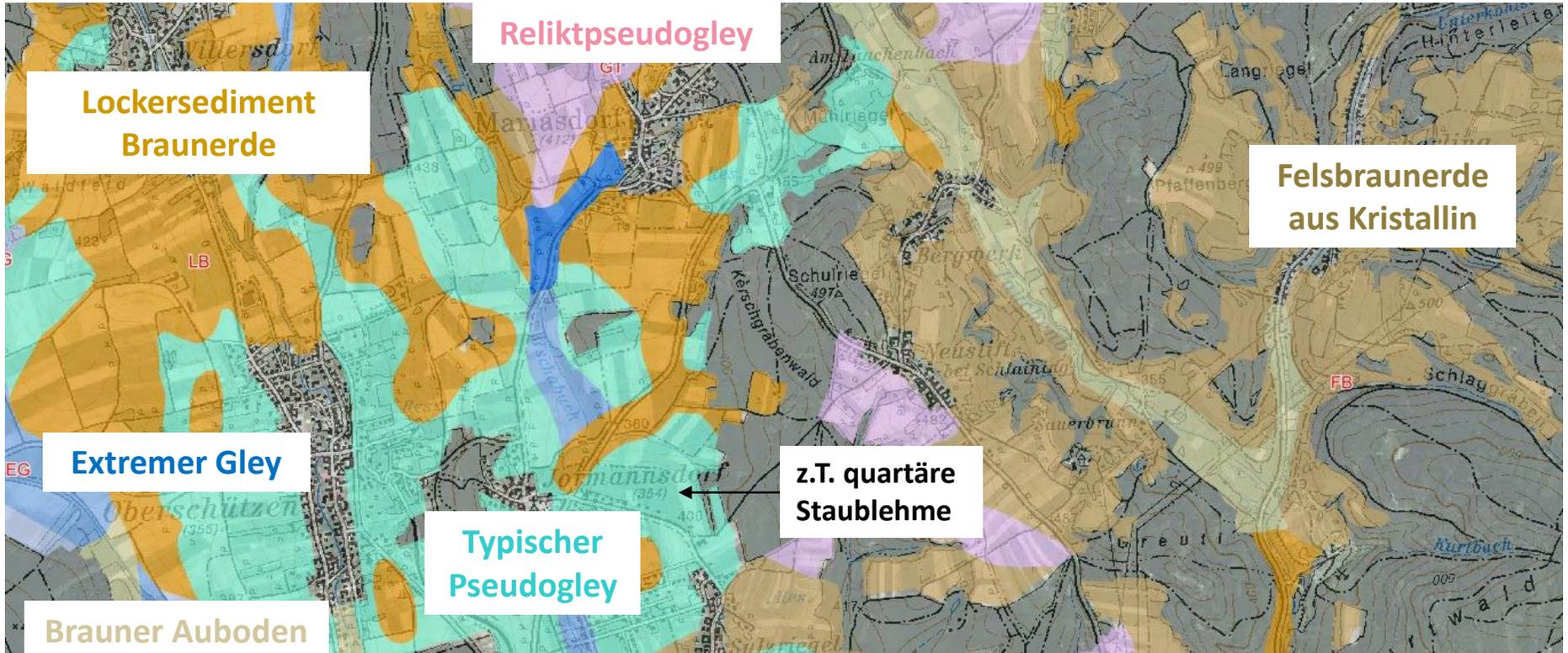
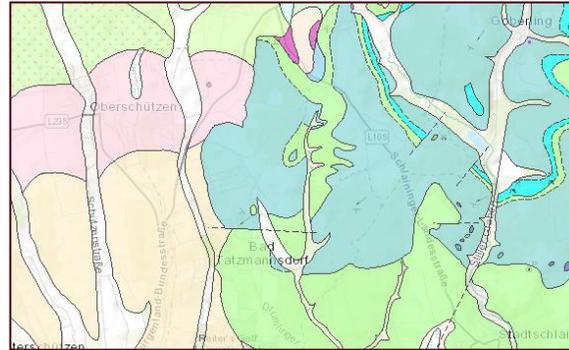
Gesteine: Schluff mit Kies- und Sandeinlagerung





Faktor 3. Relief

Tertiäre Beckenfüllungen (teils quartäre Überlagerung, s.u.)





Faktor 3. Relief

Kleinräumiges Relief

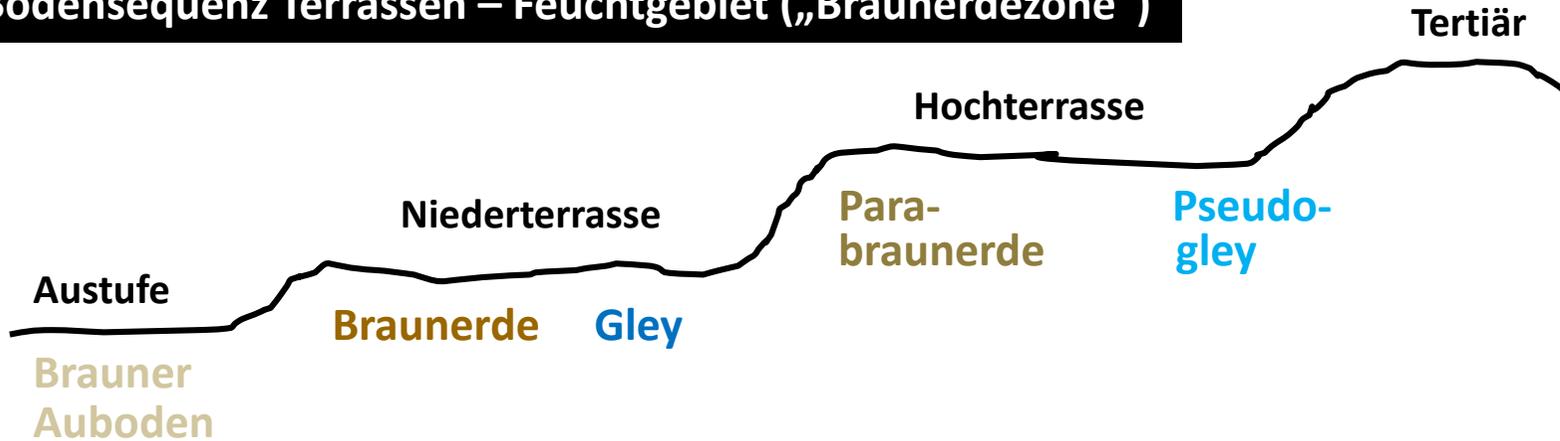
Quartäre Terrassenlandschaften



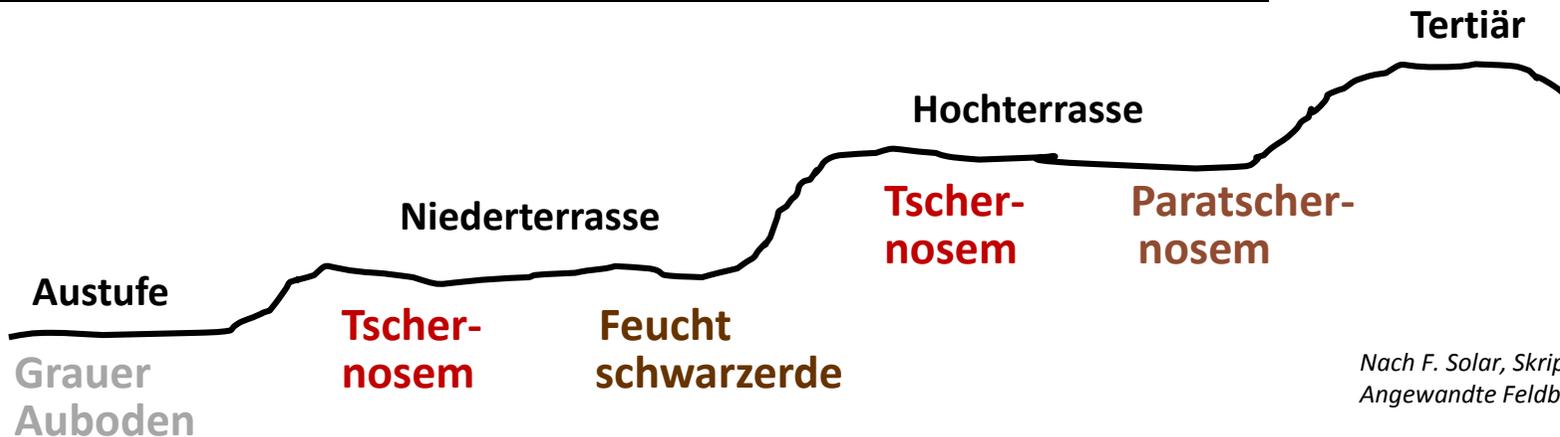


Faktor 3. Relief

Bodensequenz Terrassen – Feuchtgebiet („Braunerdezone“)



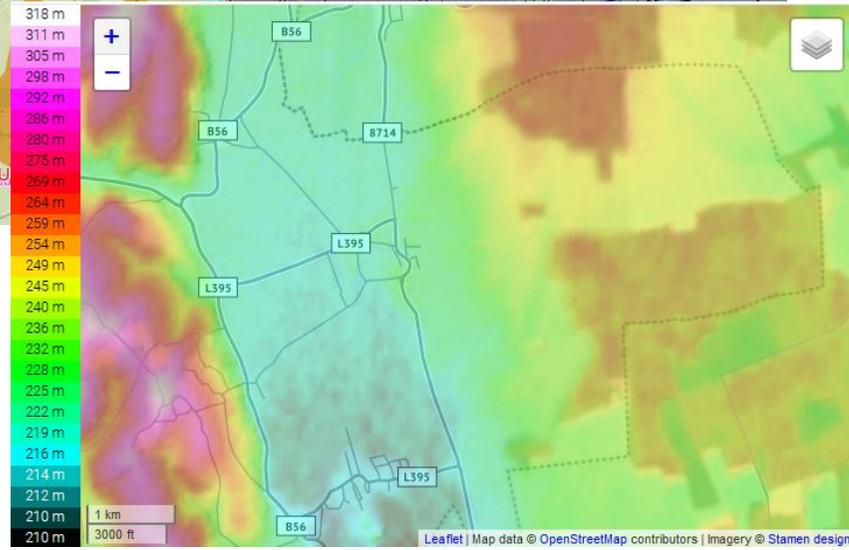
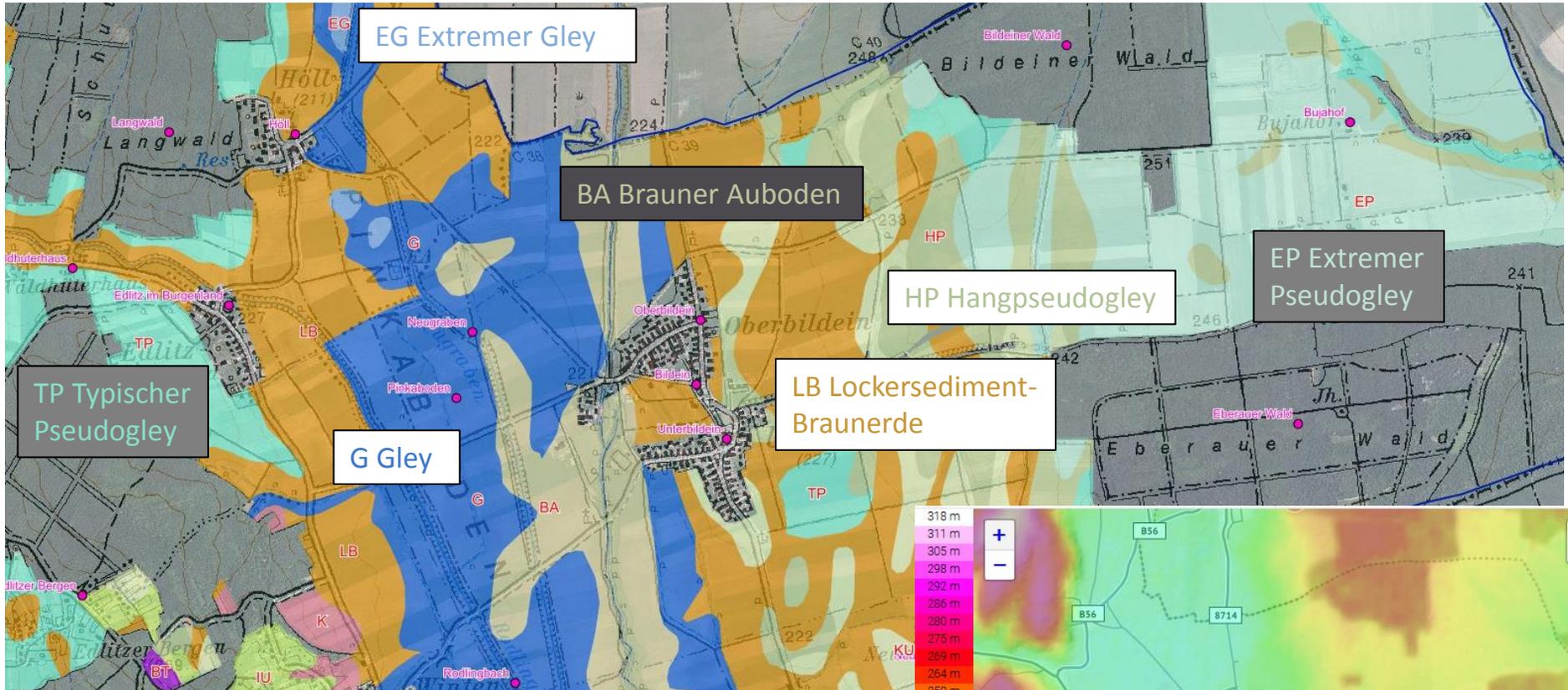
Bodensequenz Terrassen – Trockengebiet („Tschernosemzone“)



Nach F. Solar, Skriptum
Angewandte Feldbodenkunde



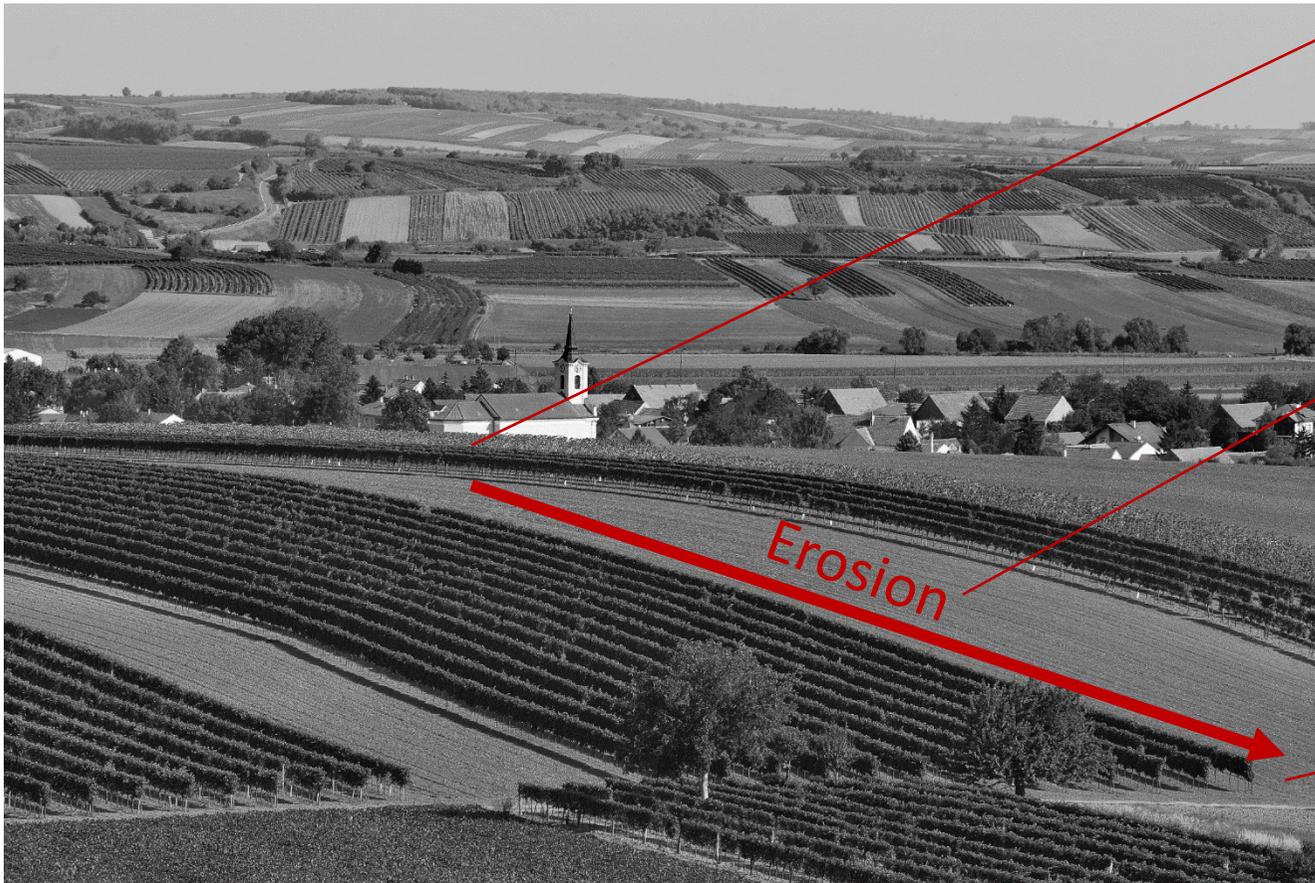
Faktor 3. Relief





Faktor 3. Relief

Schlag-skaliges Relief



„Reifer Boden“

z.B. Tschernosem
z.B. Pseudogley

„Gekappter Boden“

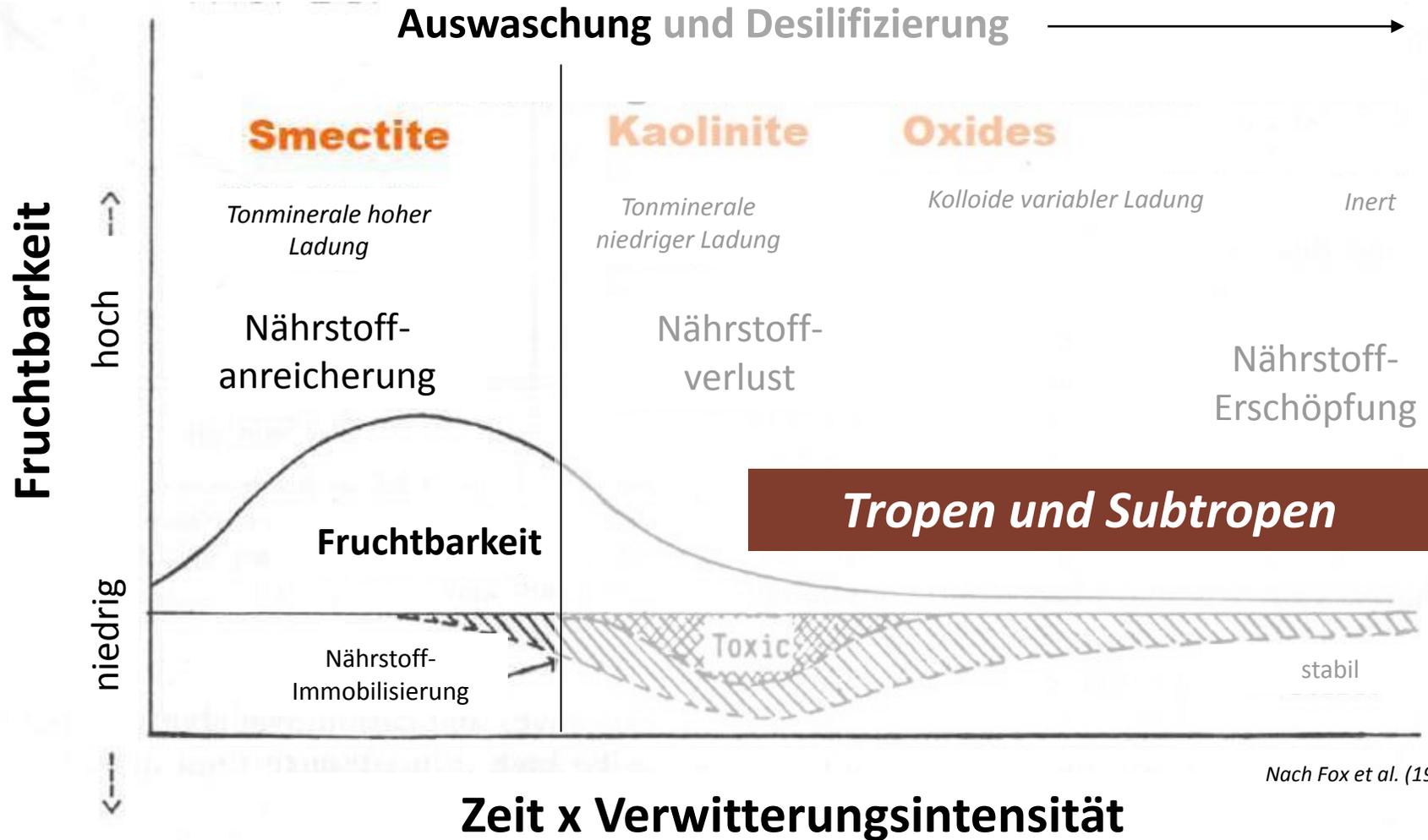
z.B. Kultur-Rohboden
z.B. Rumpf-Tschernosem
z.B. Hangpseudogley

„Angelandeter Boden“

z.B. Kolluvisol



Faktor 4. Alter



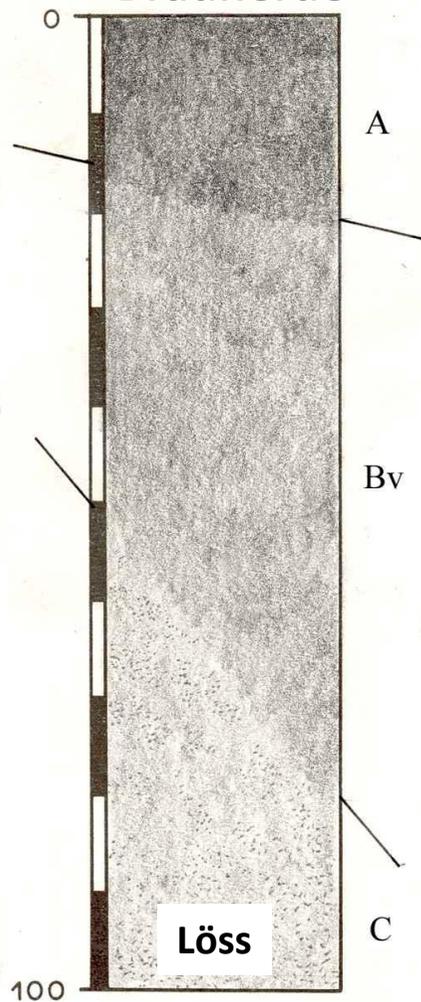
Nach Fox et al. (1991)



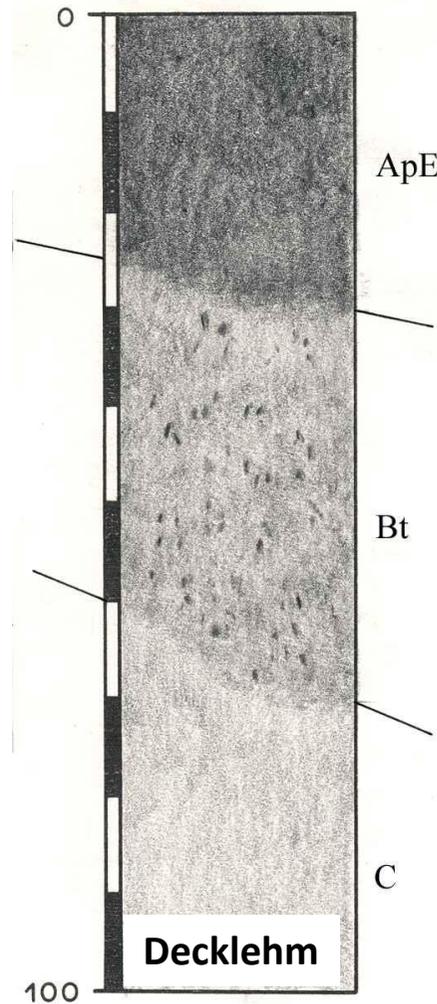
Faktor 4. Alter

Alterssequenz Donauterrasse (Pöchlarn)

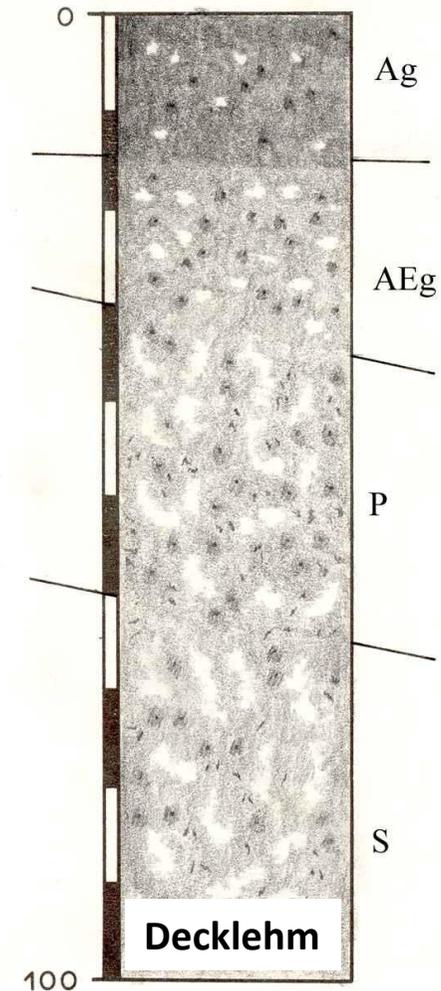
Lockersediment -Braunerde



Parabraunerde



Pseudogley

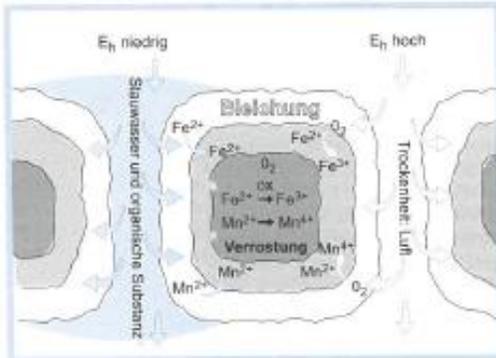




Faktor 4. Alter

Pseudogley und Gley: Rost- und Bleichflecken

Pseudovergleyung



Stahr et al. 2008

- Vergrauter Horizont (Stauzone, P) über marmoriertem Horizont (Staukörper, S)
- Aggregate außen bleich, innen Oxidgefärbt.
- (Ältere) Terrassen

Vergleyung

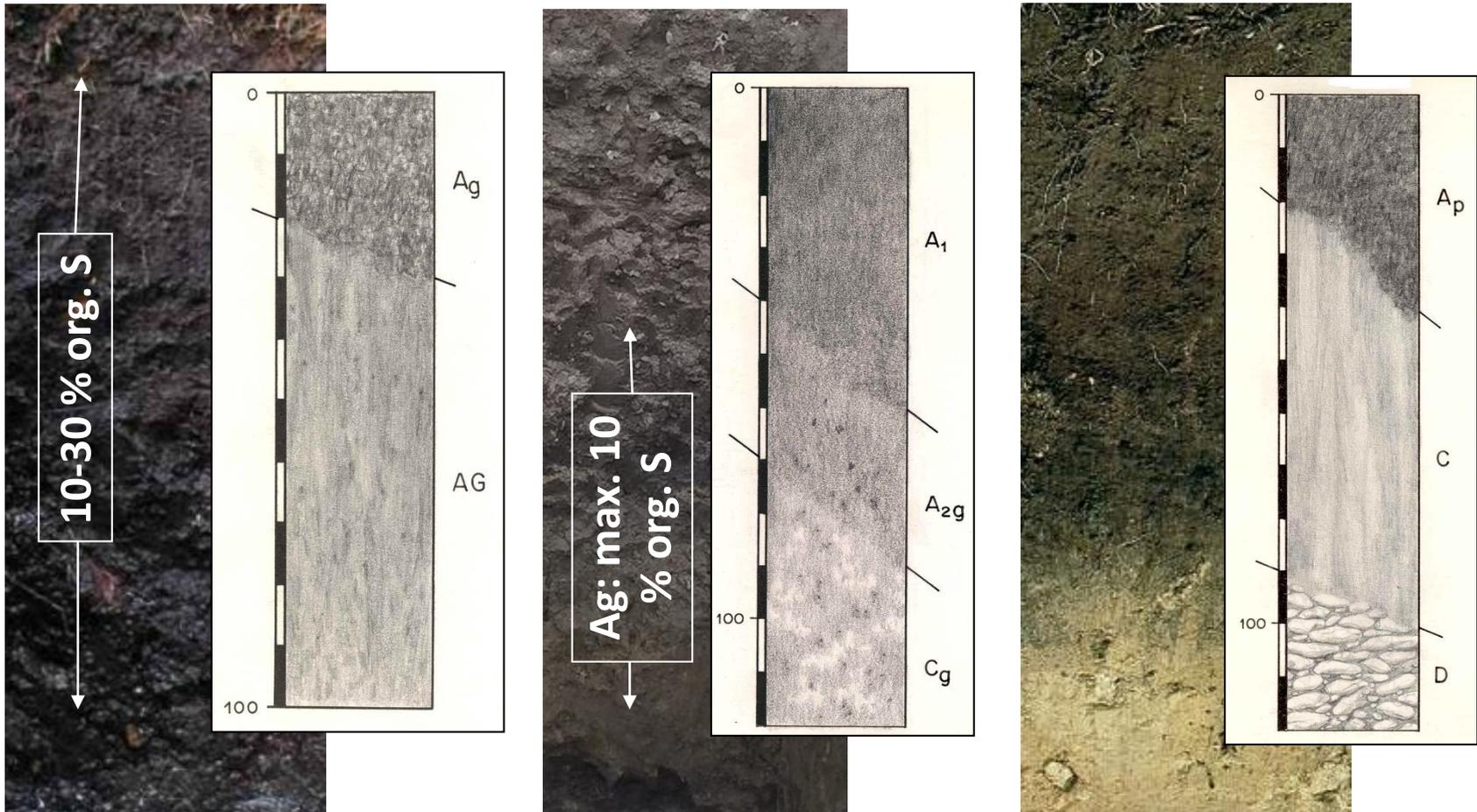


- Vergrauter Horizont (Gr) unter marmoriertem Horizont (Go)
- Rostfärbung an Porenrändern (Außenseite der Aggregate)
- Tallagen



Faktor 4. Alter

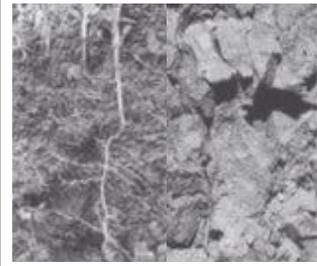
Anmoor-Feuchtschwarzerde-Schwarzerde: Entwässerung



Teil 2. Bodenfruchtbarkeit

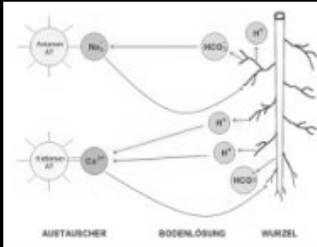
Bodengesundheit = Bodenfruchtbarkeit = Ertragseffizienz

Management zum Erhalt, Verbesserung und Ausnutzung des natürlichen Bodenpotentials



Physikalische Bodenfruchtbarkeit

Boden als poröser Speicherraum für Wasser- und Nährstoffe sowie Wachstumsraum der Pflanzenwurzel (Wasser- und Lufthaushalt)



Chemische Bodenfruchtbarkeit

Boden als Speicher von Nährstoffen (Sorption) und Filter für Schadstoffe (Nährstoffhaushalt)



Biologische Bodenfruchtbarkeit

Boden als Lebensraum für Bodentiere und Bodenmikroorganismen (Umsetzungsvorgänge)

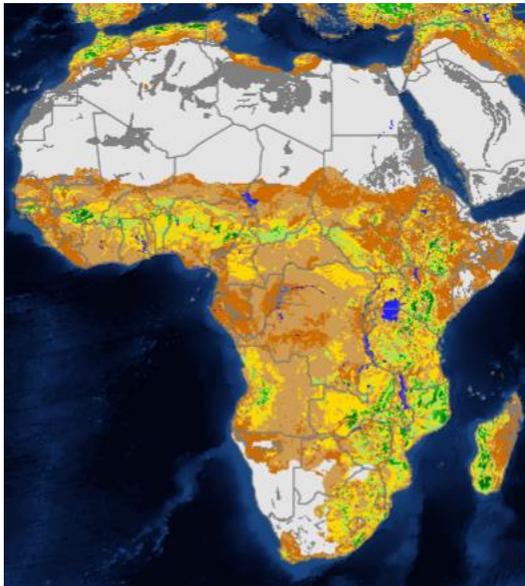
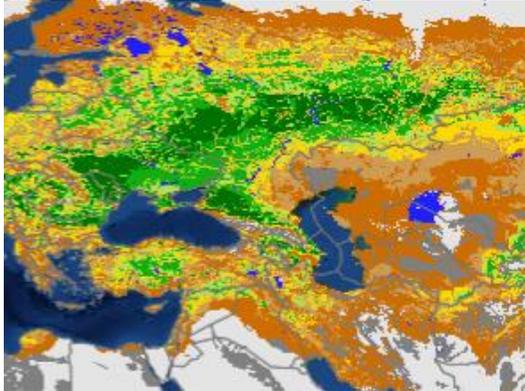
Wo liegt die Grenze der Produktivität?

Vegetationszone	Produktivität* (kg m ⁻² a ⁻¹)	Blattfläche (m ² m ⁻²)
Tropischer Regenwald	2,2	8
Immergrüner Wald der gemäßigten Zone	1,3	12
Savannen	0,9	4
Trockenbusch- und Hartlaubgehölze	0,7	4
Landwirtschaftliche Pflanzungen	0,65	4
Tundra und Gebirge	0,14	2

*Nettoprimärproduktion

Nach Larcher, 1994

Umwelteinigung Getreide



FAO/IIASA GAEZ Modell

Stress	Bedeutung
Hitze	12 % der globalen Ackerfläche ¹ (Kontinentale Gebiete Asiens und Nordamerikas)
Kälte/Frost	13 % der globalen Ackerfläche ²
Sonstige (Ozon, ...)	Keine flächenbezogenen Daten
Wassermangel	27 % der globalen Ackerfläche ²
P-Mangel	30 % der globalen Agrarfläche ³
N-Mangel	Humusarme Böden
Versauerung (pH < 5,5)	25 % der globalen Ackerfläche ⁴
Verdichtung	25% (AT, Alpenvorland ⁶) - 30 % (DT, Mecklenburg-Vorpommern ⁷) der Ackerfläche
Versalzung (EC > 4 dS m ⁻¹)	7 % der Landfläche, 50 % der bewässerten Fläche ⁵

Realer / potentieller Ertrag = 40 %¹

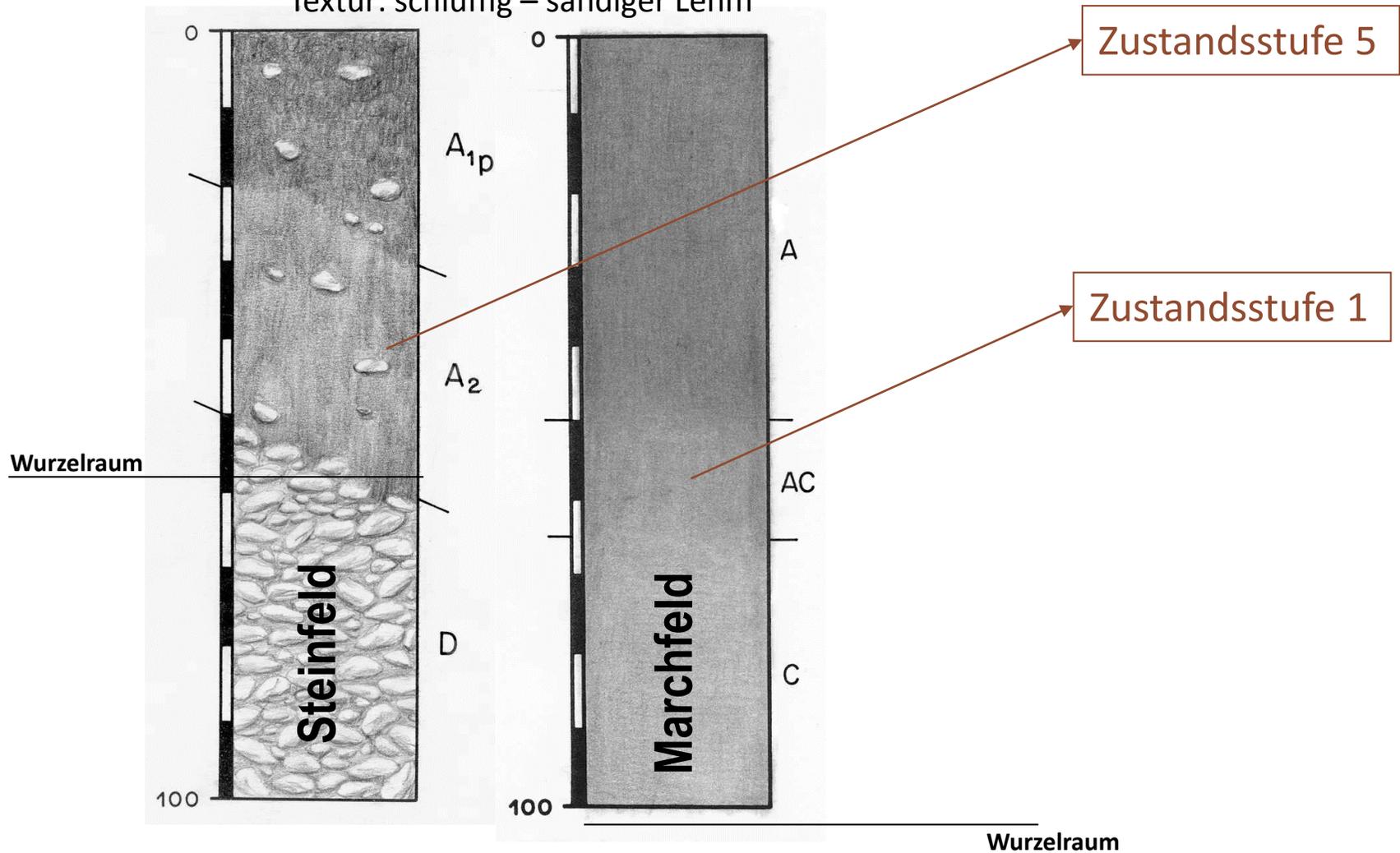
Quellen: Teixeira et al. (2013) Agric. Forest Meteorol. 170 und eigene Berechnung; ²FAO/IIASA (2000); ³MacDonald et al. (2011) PNAS 108; ⁵Lynch et al. (2004) Field Crops Res. 90; ⁶Murer et al. (2012) Die Bodenkultur; ⁷Frielinghaus et al. (s.a.) Beiträge Bodenschutz

Regionalklima						Lokalklima						
Temperatur °C		Temperatur > 5°C		Niederschlag		Frosttage IV - IX:			Bergschatten			
14 Uhr IV - VIII:		Zahl d.Tage:		Jahr (mm):		Schneedecke Tage:			OSekt:			
Jahr:				IV - VIII (mm):		Nebellage IV - IX:			WSekt:			
Winter XII - II:				IV - VIII (%):		Wind m/sec.:						
Klimastufe(Temp.):				NS Tage IV - IX:		Stürmtage:			BGSch:			
Horizonte		Humus	Bodenart	Grobanteil	Karbo	Lagerung	Konsistenz	Struktur	Hohlräume	Bodenfarbe	Sonstige Merkmale (z.B. Flecken, Konkretionen, Durchwurzelung, Übergänge)	
Symbol	Mächtigkeit											
Bodentyp:		Wasserverhältnisse des Standortes				Kulturart:			Boden- bzw. Grünland- grund- zahl:		Acker bzw. Grünland- Zahl	
Ausgangsmaterial		Bearbeitbarkeit:				Klasse:						
Gründigkeit:		Erosion:										

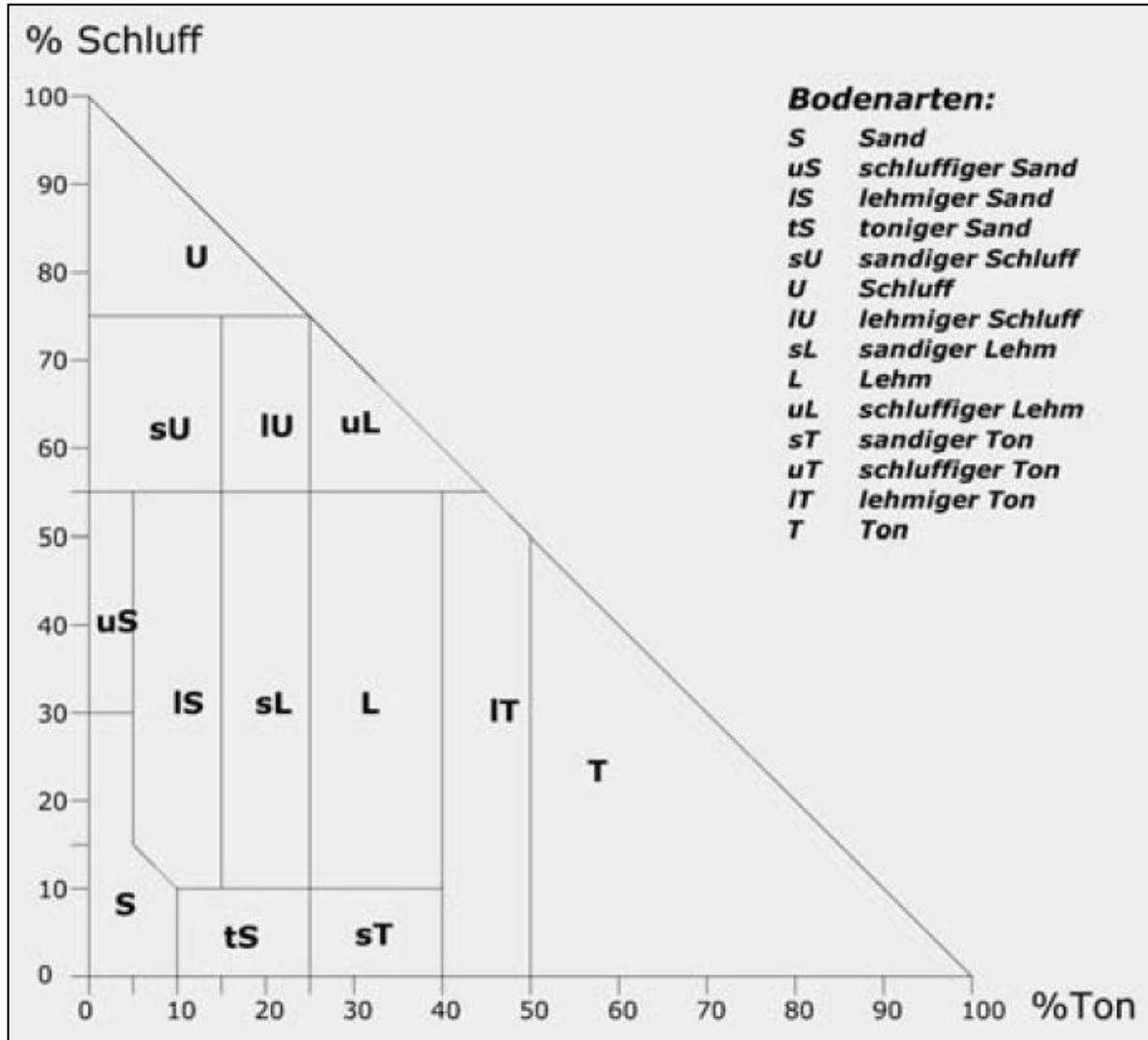
„Schicksal“ Profiltiefe

Tschernosem

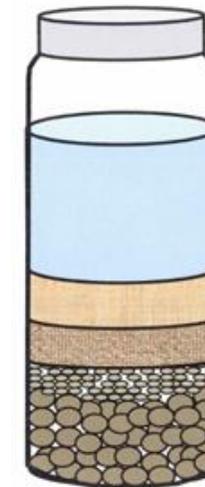
Textur: schluffig – sandiger Lehm



Bodentextur



**Messung
Sand**



**Messung
Schluff und Ton**

Langsame Absetzung

Rasche Absetzung

„Schicksal“ Bodentextur

Eigenschaft	Sandiger Boden	Toniger Boden
Porengröße	Weit	Eng
Luftkapazität (Vol.%)	30-40	0-15
Wasserdurchlässigkeit	Gut	Schlecht
Wasserspeicherung	Niedrig	Hoch
Nährstoffspeicherung	Niedrig	hoch
Erwärmung	Rasch	Langsam
Durchwurzelung	Leicht	Schwer
Bearbeitbarkeit	Gut	Schlecht

Bodenzahl = f (Textur, Zustandsstufe, Ausgangsmaterial)

Vor allem Tiefe und Alter

Bodenstruktur: Das „Aggregat-Hierarchie-Modell“

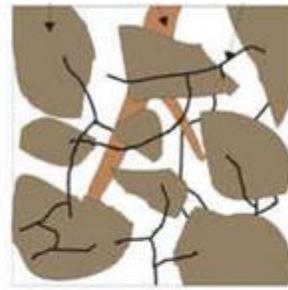
Bodenkrümel - Makroaggregat



Verändert nach: Nature Education und University of British Columbia

Bauteile und Bindungskräfte

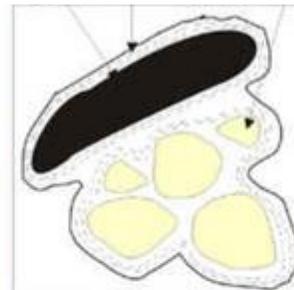
Meso-Aggregate



200µm

Wurzeln und
Pilzhyphen

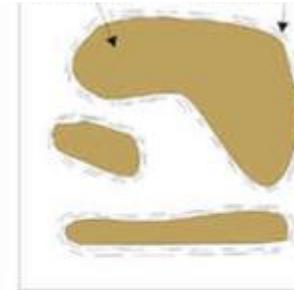
Mikro-Aggregate



20µm

Wurzel-, Pilz-
und Bakterielle
Schleimstoffe

Ton-Humus- Komplexe



2µm

Organische
Makromoleküle

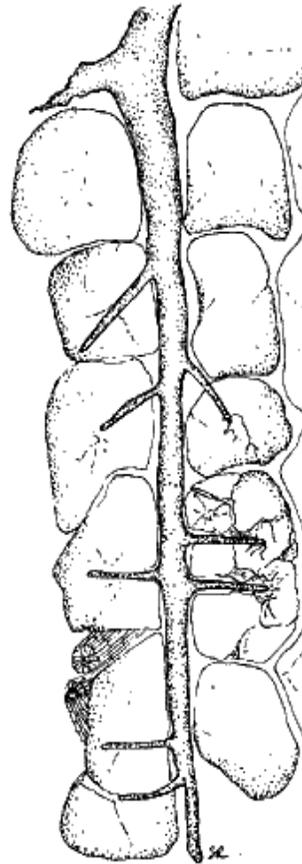
Tonteilchen



0.2µm

Elektrostatische
Grenzflächenkräfte,
Ladungen,
Ionenbrücken (Ca⁺⁺)

Bodenstruktur: Das „Poren-Hierarchie-Modell“



Poren-Hierarchie-Modell	
Intra-Mikroaggregatporen	Restwasser (Textur)
Inter-Mikroaggregatporen	↑ Wasserspeicherung, Mikrofauna ↓
Inter-Makroaggregatporen	
Makroporen	Drainage, Durchlüftung, Wurzeln, Makrofauna

Nach Elliot und Coleman, 1988)

Makroporen unterliegen hoher raum-zeitlicher Variabilität.

Gute und schlechte Strukturen

Krümelige Struktur

Biologischer Aufbau (Ah-Horizont)



Plattige Struktur



Polyeder-Struktur

Abiotisch (B-Horizont)



Kompakte Struktur



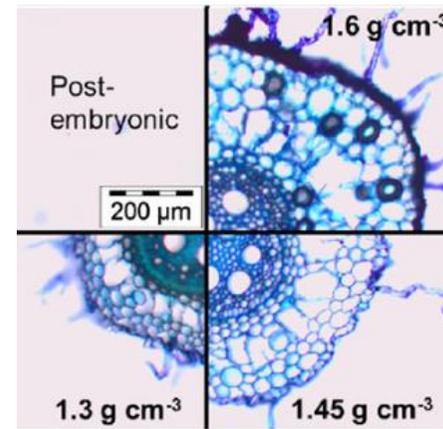
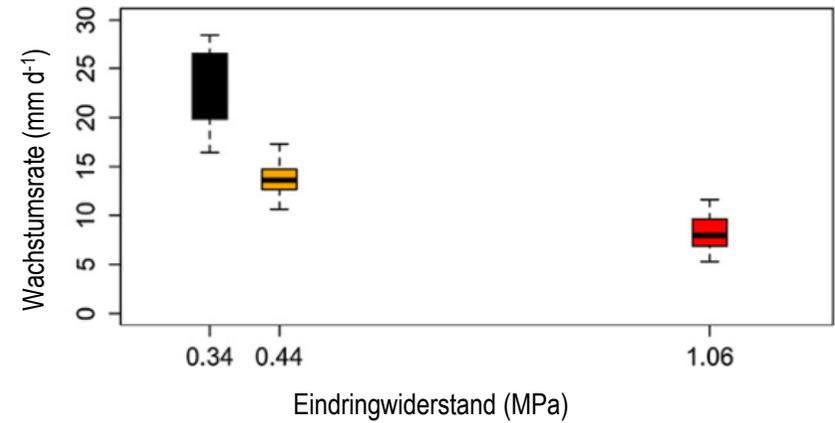
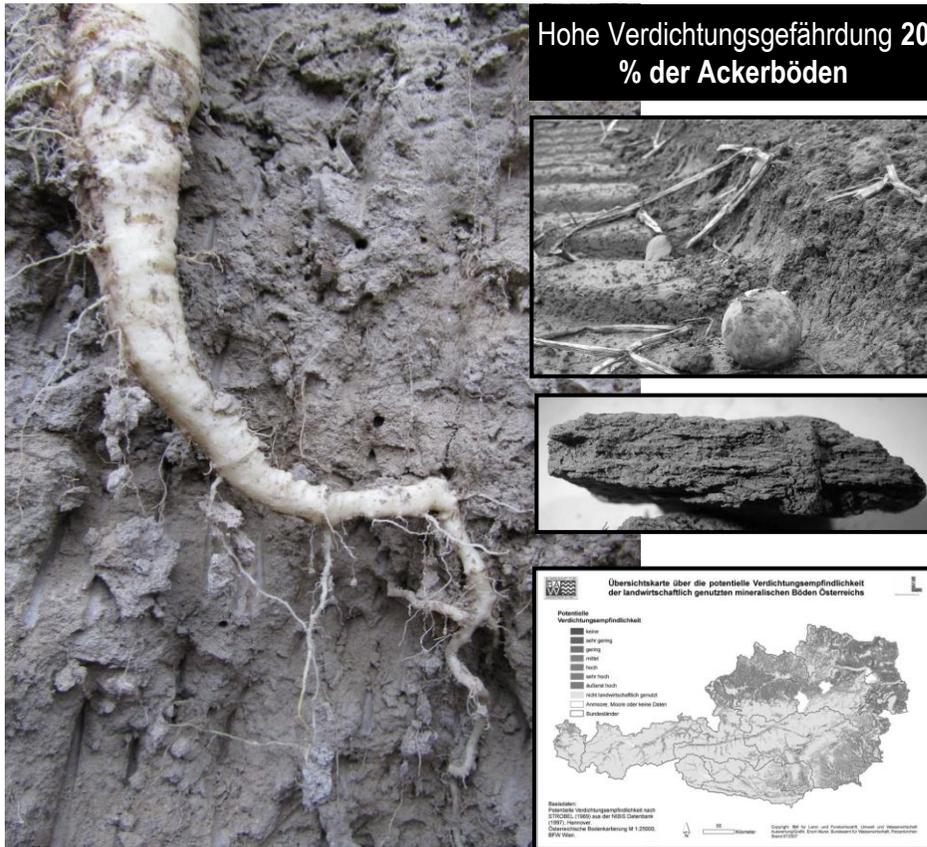
Entscheidung über die Wurzel



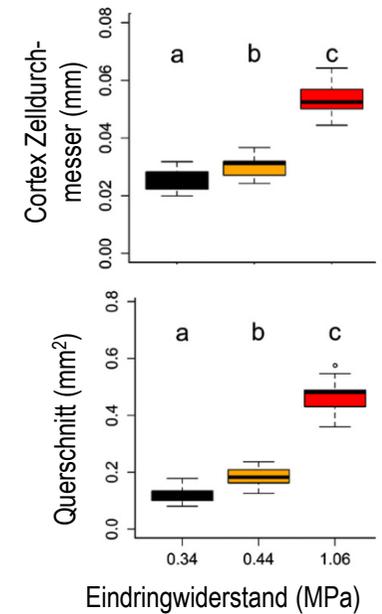
Symptome für Probleme:

- Ungleichmäßige Verteilung (in Rissen)
- Geringe Wurzeldichte
- Wurzelachsen plattgedrückt

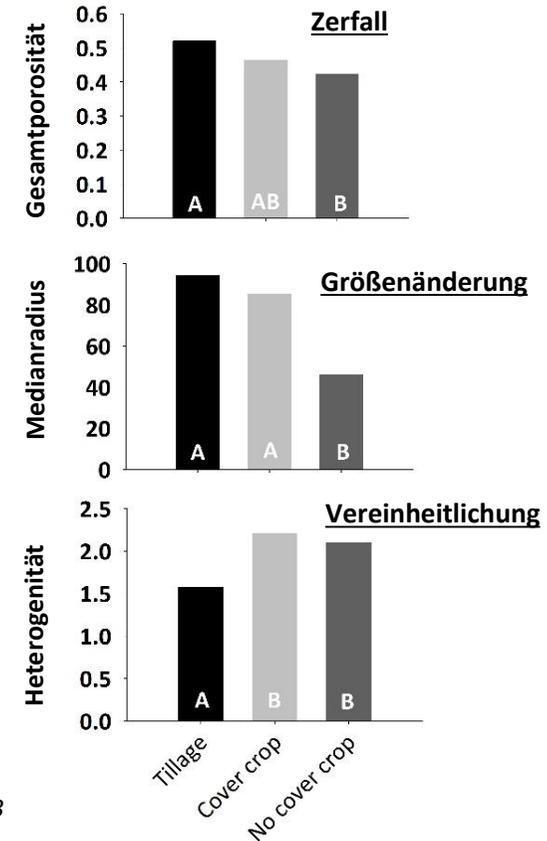
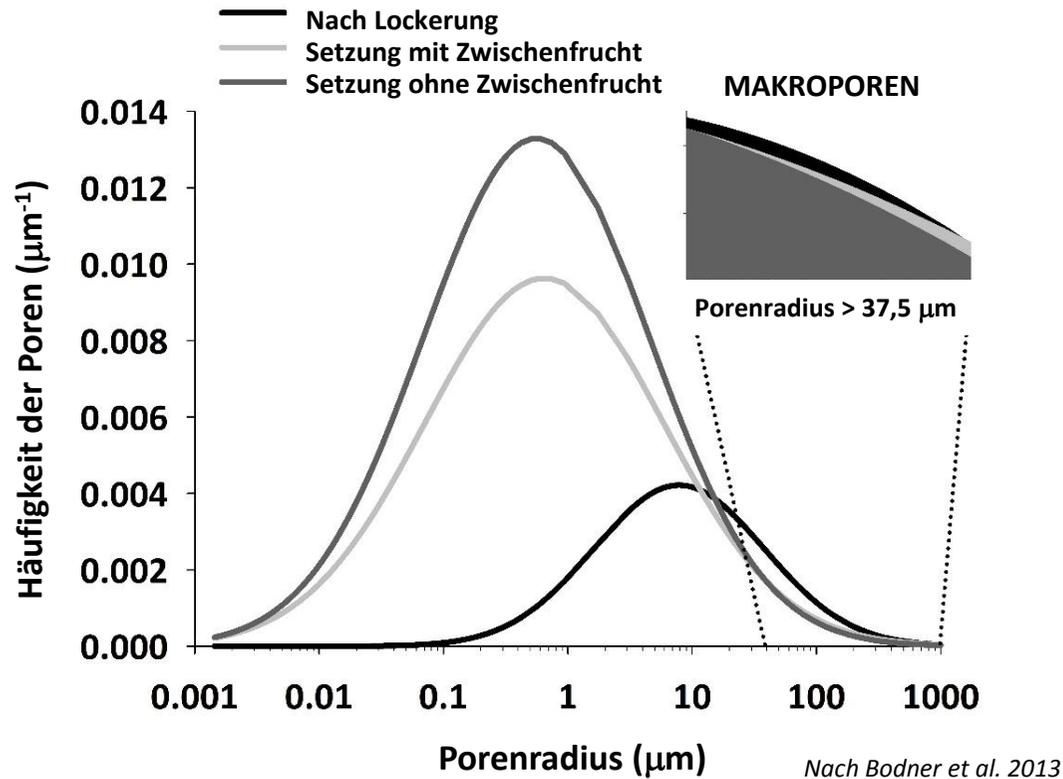
Wurzelwachstum und Bodenschadverdichtung



Colombi et al. (2017)



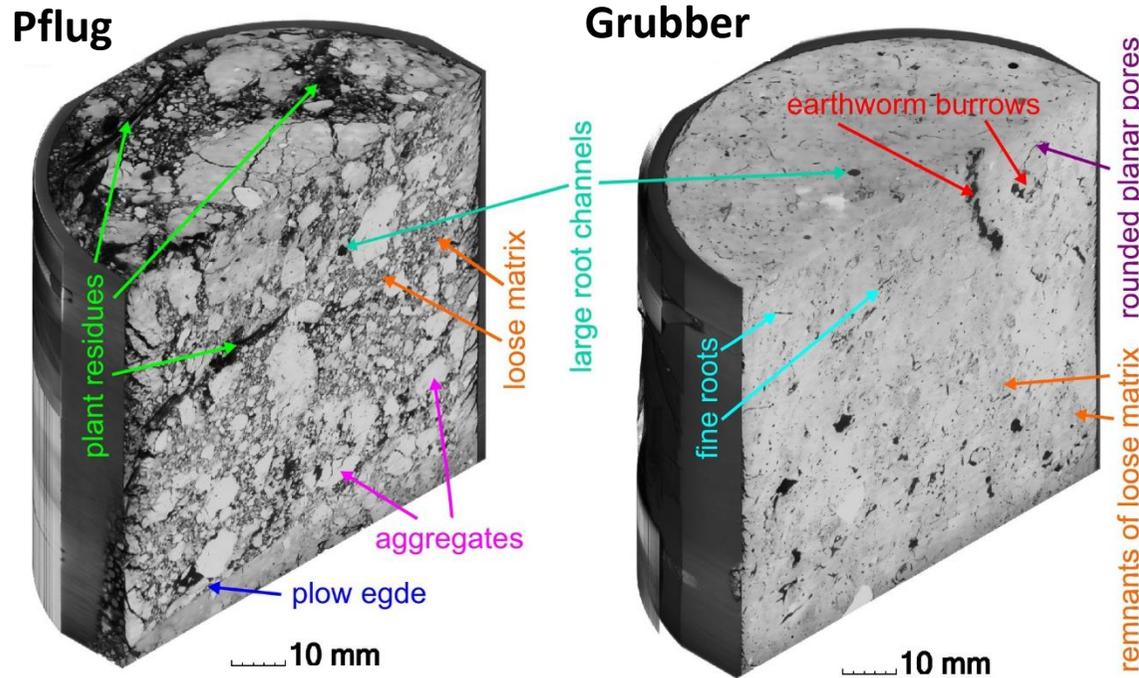
Biologie der Bodenbearbeitung



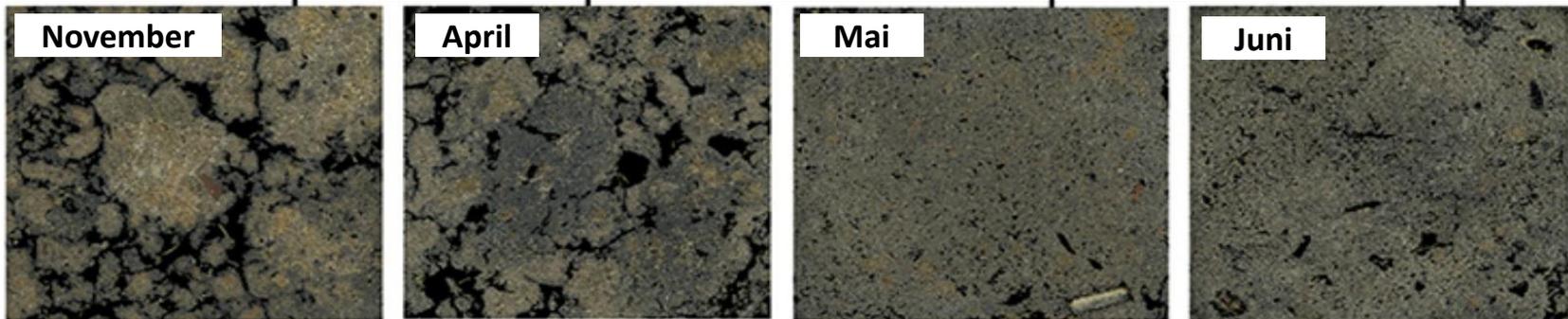
Mechanisches Porensystem: Homogen mit hohem Anteil instabiler und verstreuter Makroporen.
Biologisches Porensystem: Heterogenes multifunktionales Sekundärsystem.

Reduzierte Bodenbearbeitung: Löss-Schwarzerde (8 % S, 79 % U, 13 % T; Humus 3 %_{Pflug} - 3,6 %_{Grubber})

Schlüter et al., 2018



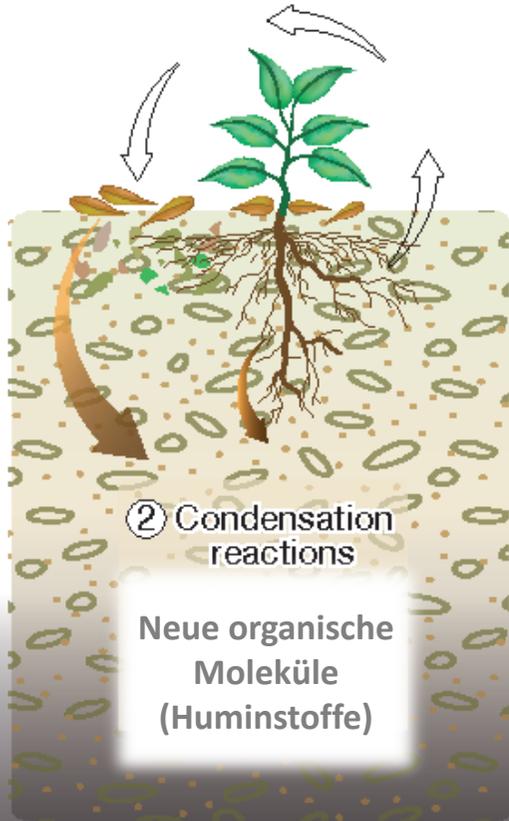
Jahresgang Bodenstruktur: Löss-Parabraunerde (32 % S, 60 % U, 8 % T; Humus 1.7 %)



Bryk et al., 2017

Alte Humustheorie

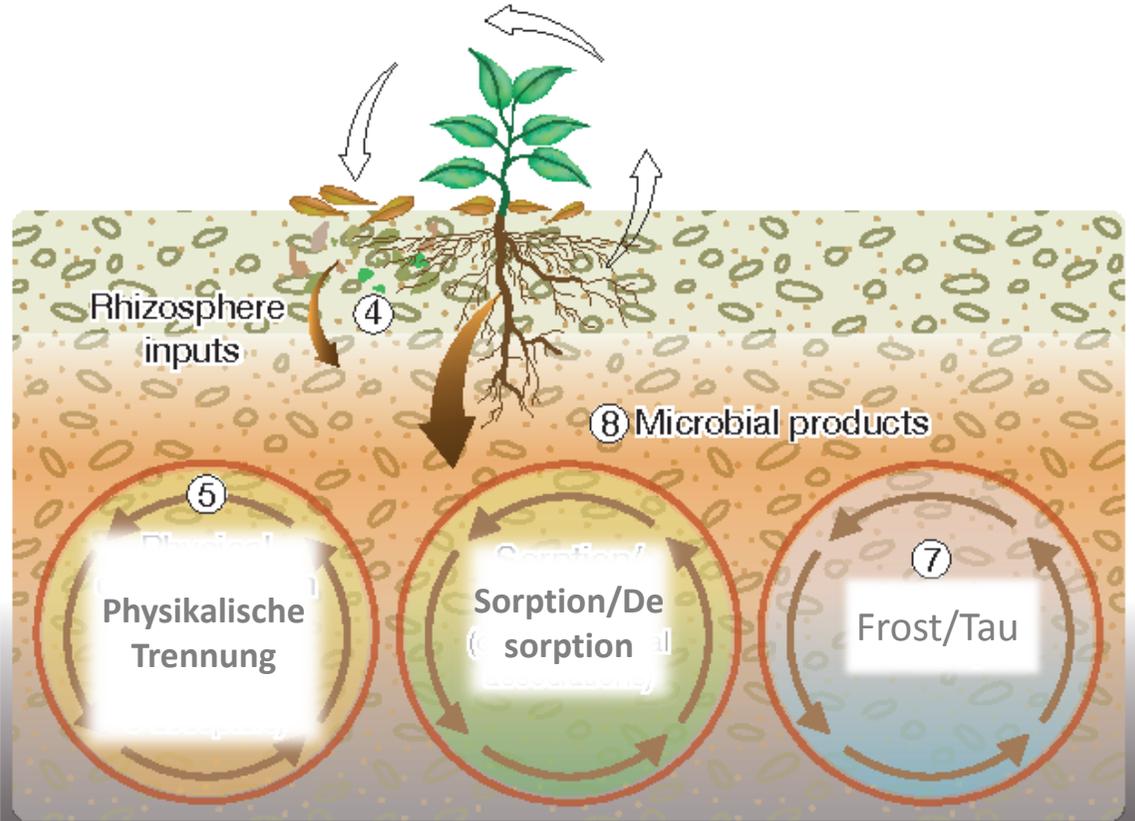
Frischer Bestandesabfall (Blätter)



Molekulare Struktur entscheidend für Stabilität

Neue Humustheorie

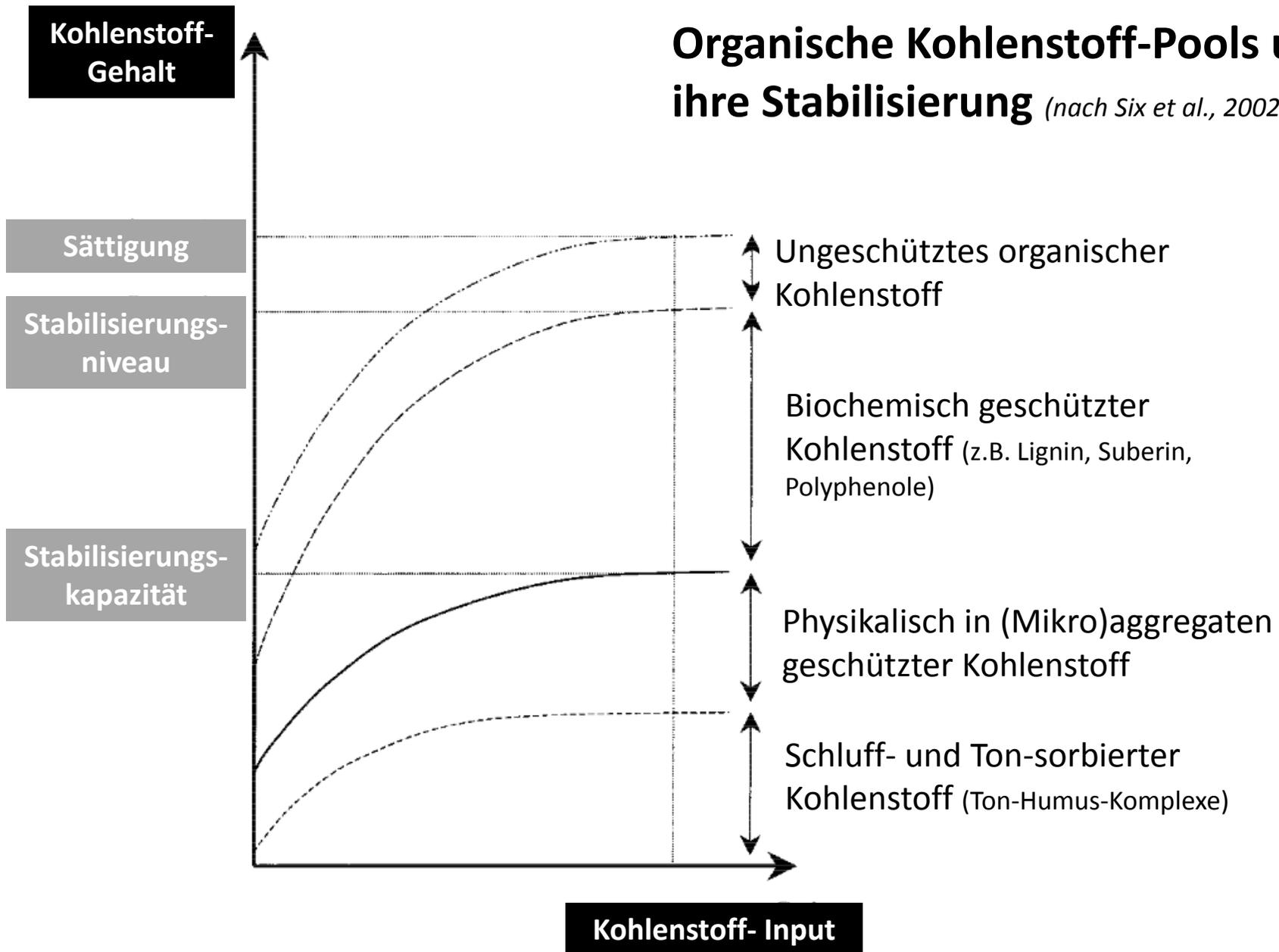
Frischer Bestandesabfall (Blätter, Wurzeln, Rhizodeposition); Kohle-Rückstände ③

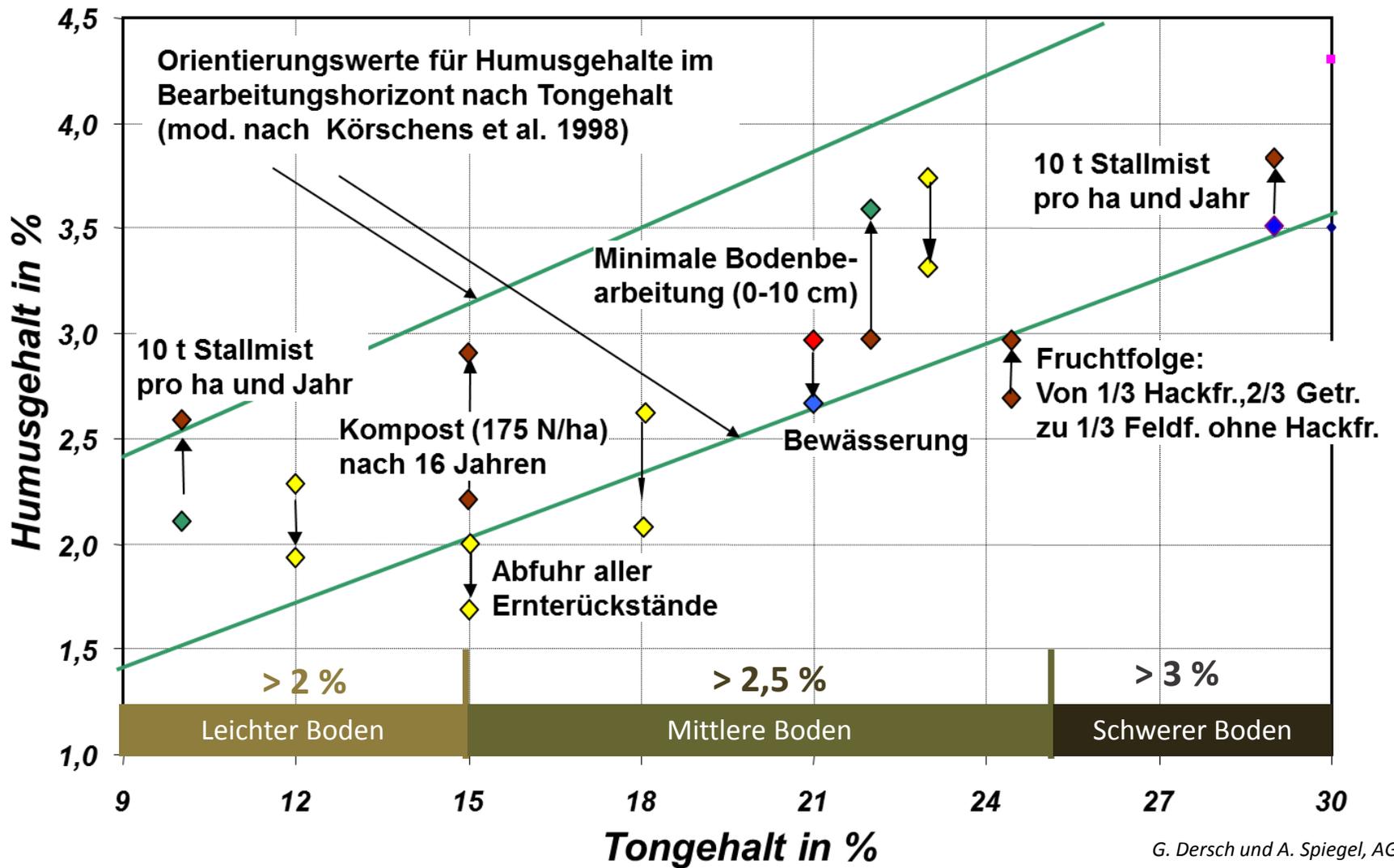


Umweltveränderungen bedingen Umsetzungsgeschwindigkeit organischer Verbindungen

Schmidt et al., 2011

Organische Kohlenstoff-Pools und ihre Stabilisierung *(nach Six et al., 2002)*





Wurzel als wichtige Kohlenstoff-Quelle

1

	Wurzeln dt/ha		Anteil Wurzeln an Ernterückständen (%)	
	Lehm	Sand	Lehm	Sand
Ackerbohne	14,60	-	72,7	-
Wicke	4,63	-	75,7	-
Erbse	3,98	6,88	79,3	74,5
Hafer	6,43	9,23	57,6	68,3
Wintergerste	10,50	-	66,8	-
Sommergerste	6,02	-	-	-
Winterweizen	8,63	-	59,8	-
Winterroggen	6,86	9,85	59,6	67,7
Zwischenfrüchte (eigene Erhebungen, Hollabrunn, Schwarzerde, uL)				
Phacelia	7,68	-	35,9	-
Winterwicke	5,58	-	22,2	-
Winterroggen	6,16	-	43,8	-
Gelbsenf	10,33	-	40,4	-

Hauptfrüchte nach Köhnlein und Vetter, 1953

Anteil der Assimilat-Verlagerung in den Wurzelraum

	Prozent
Winterweizen	29
Sommergerste	28
Eng. Raygras	32

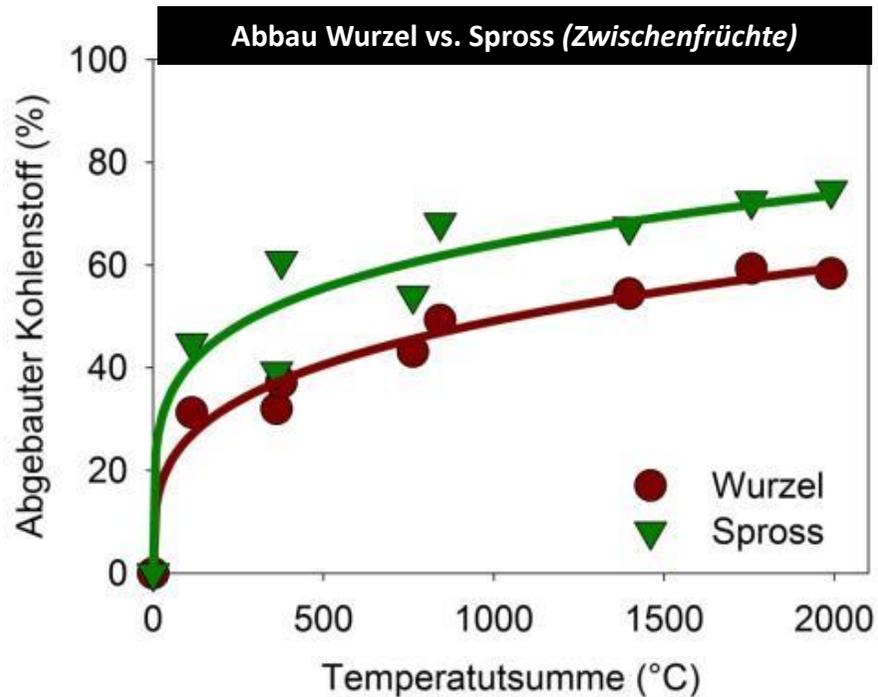
Prozentaufteilung

Wurzeln	Atmung	Boden
38	52	9
40	53	7
44	41	15

Daten aus: Kuzyakov und Schneckenberger, 2004

Wurzel als wichtige Kohlenstoff-Quelle

2



Humusbeitrag der Wurzel

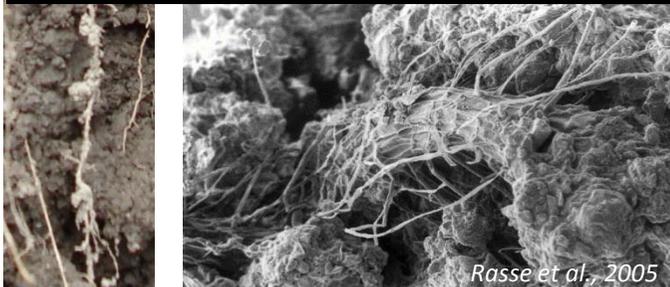
Art	Wurzelbeitrag*
Mais	1,65-3,30
Gerste	1,33
Luzerne	1,34-2,70
Weißklee	1,30
Raygrass	1,24
Brutknospen- Schwingel	1,50-2,1
Kresse	1,33
MITTEL	1,66

***Beitrag zum Gesamt-Bodenkohlenstoff (SOC);** 1... Input von Wurzel-Kohlenstoff gleichbedeutend wie Input von Sprosskohlenstoff; Werte > 1 Beitrag der Wurzel wichtiger; Werte < 1 Beitrag des Sprosses wichtiger.

Quelle: Rasse et al., 2005

3

Vernetzung Wurzel - Bodenaggregate



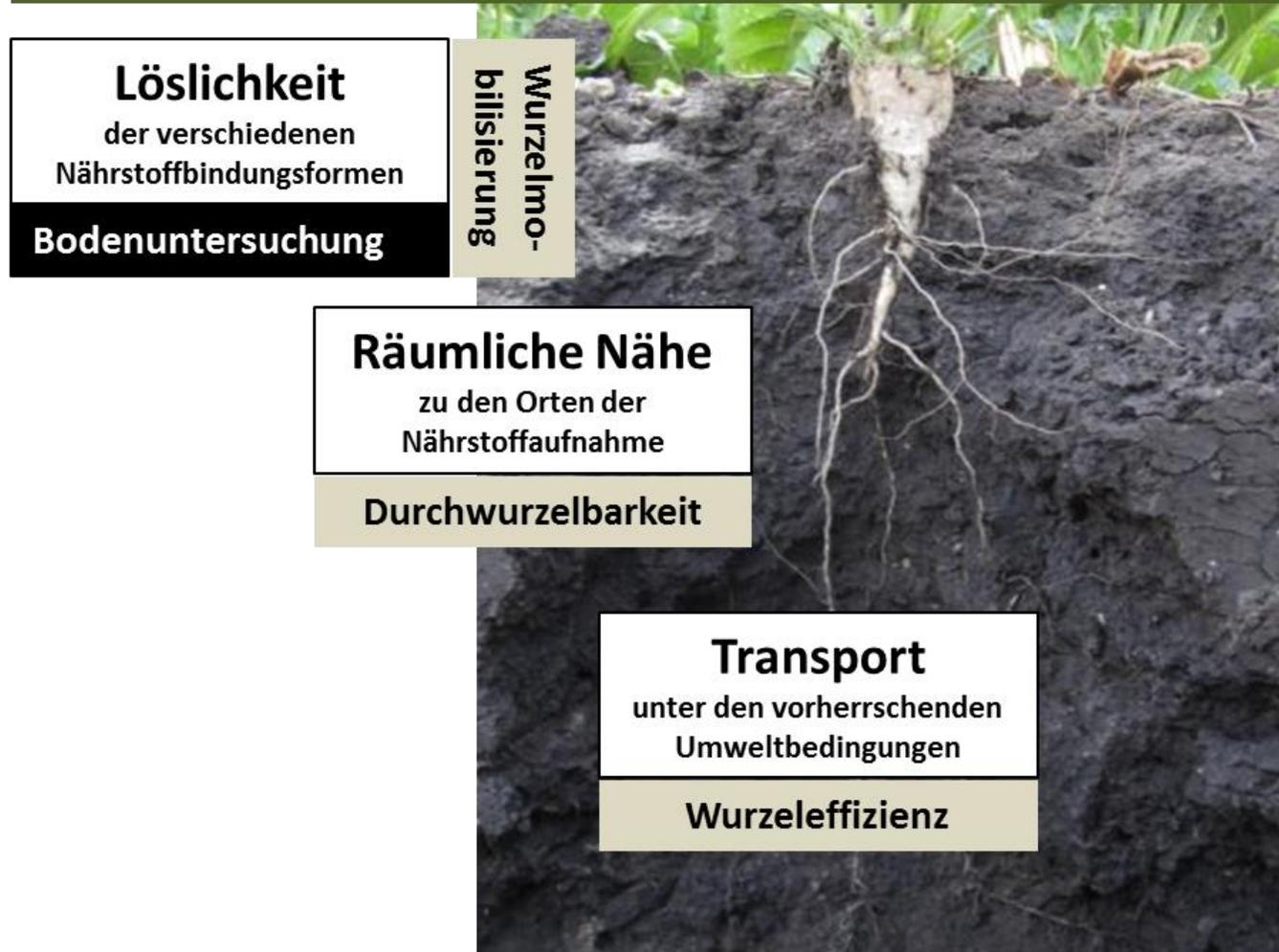
Erträge Biolandbau vs. konventioneller Landbau (%)

Kultur	Trockengebiet	Feuchtgebiet
Weichweizen	73	55
Roggen	69	65
Wintergerste	65	63
Sommergerste	69	63
Körnermais	62	74
Ackerbohne	75	85
Soja	75	108
Sonnenblume	57	73

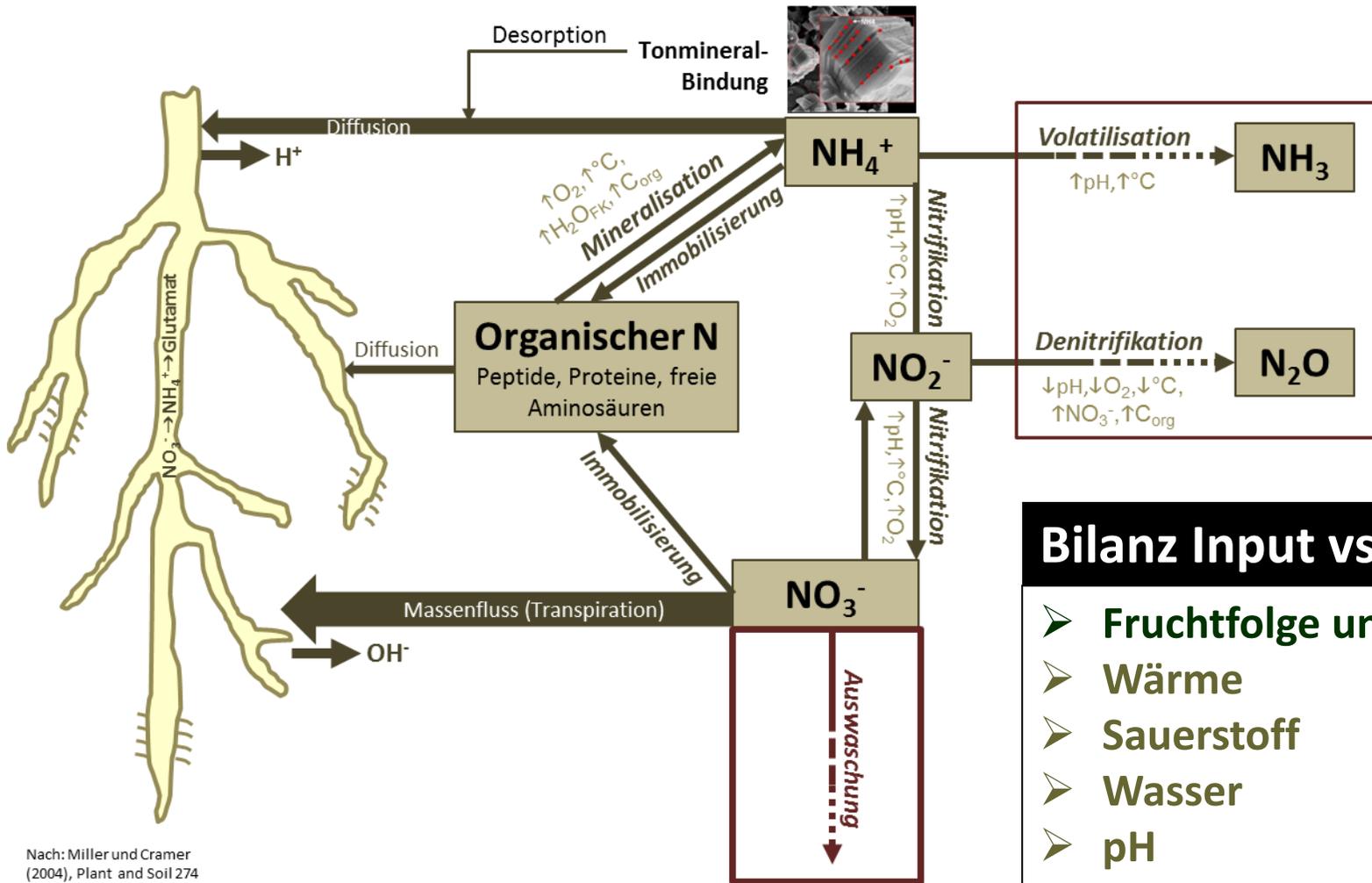
Resl, AWI 2016

Gründe ? Nährstofflimitierung

Komponenten der

NÄHRSTOFFVERFÜGBARKEIT

„Lückiger“ Stickstoffkreislauf mit Verlustgefahr



Nach: Miller und Cramer (2004), Plant and Soil 274

Bilanz Input vs. Output

- Fruchtfolge und Art
- Wärme
- Sauerstoff
- Wasser
- pH
- Wurzelaufnahme

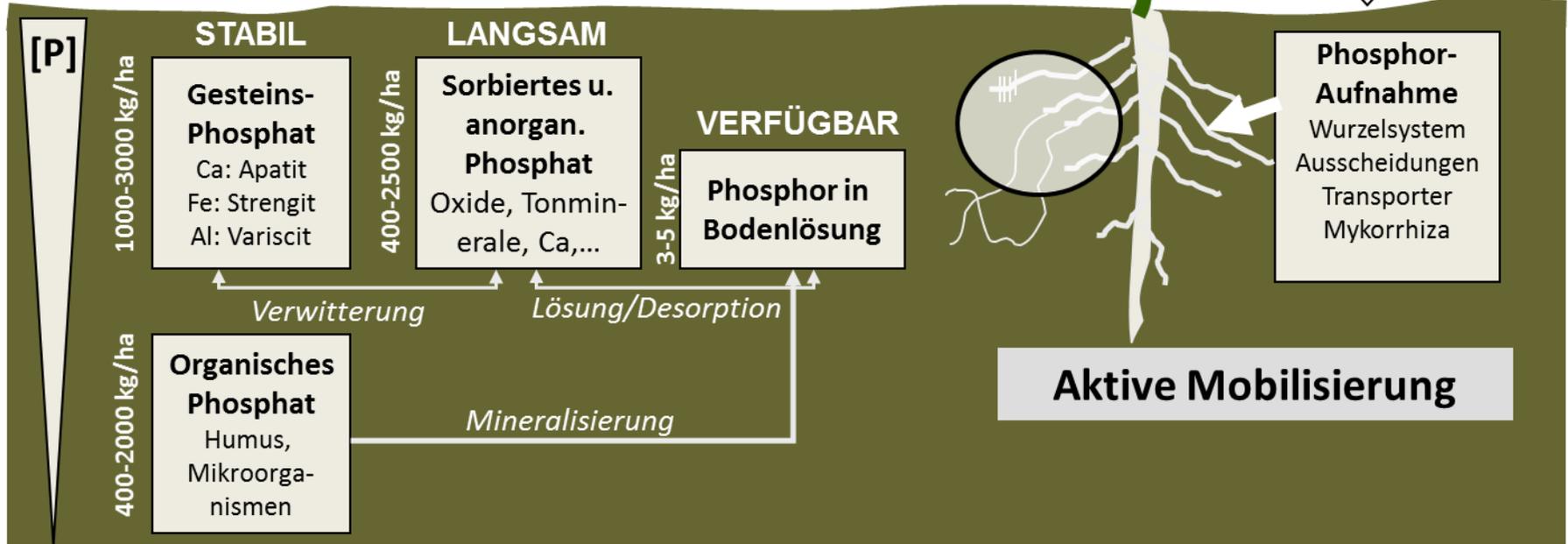
PHOSPHOR

Boden

Pflanze

Nachlieferung ⇔ Alterung

Einflussfaktoren: pH (optimal 6,0-6,5) Ca^{2+} , Humusgehalt, Bodenleben, Luft- und Wasserhaushalt

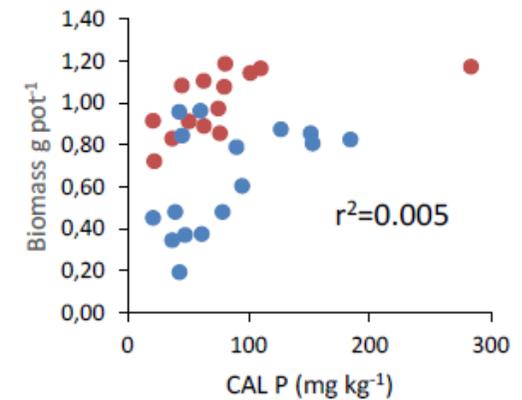
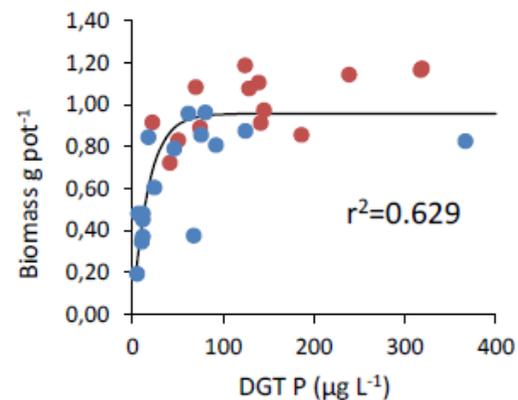
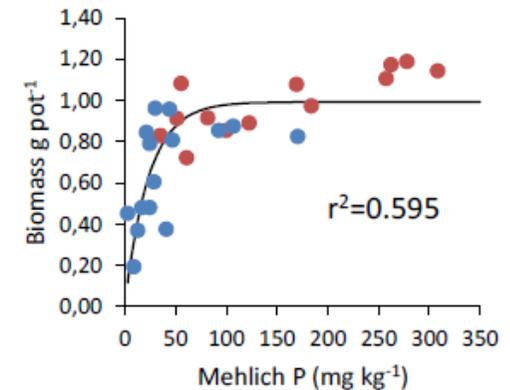
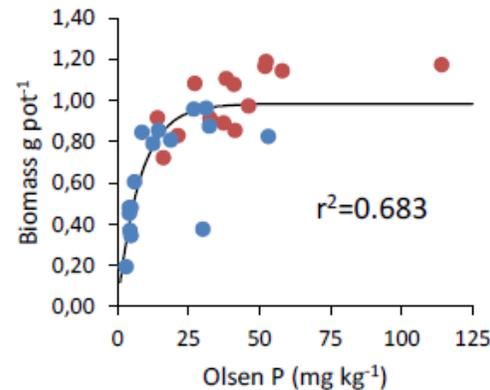
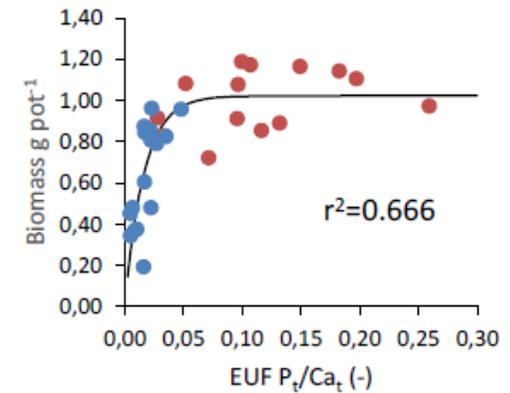
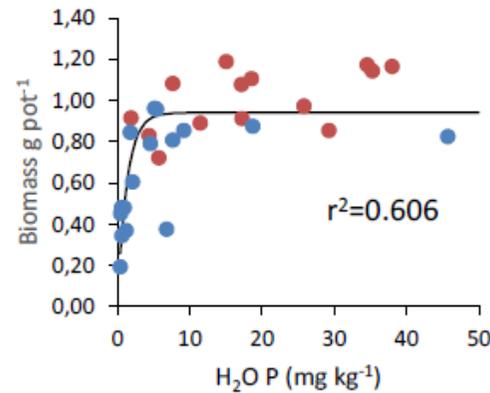


Nach Unterfrauner (2013), K+S KALI GmbH, Wang (2010)

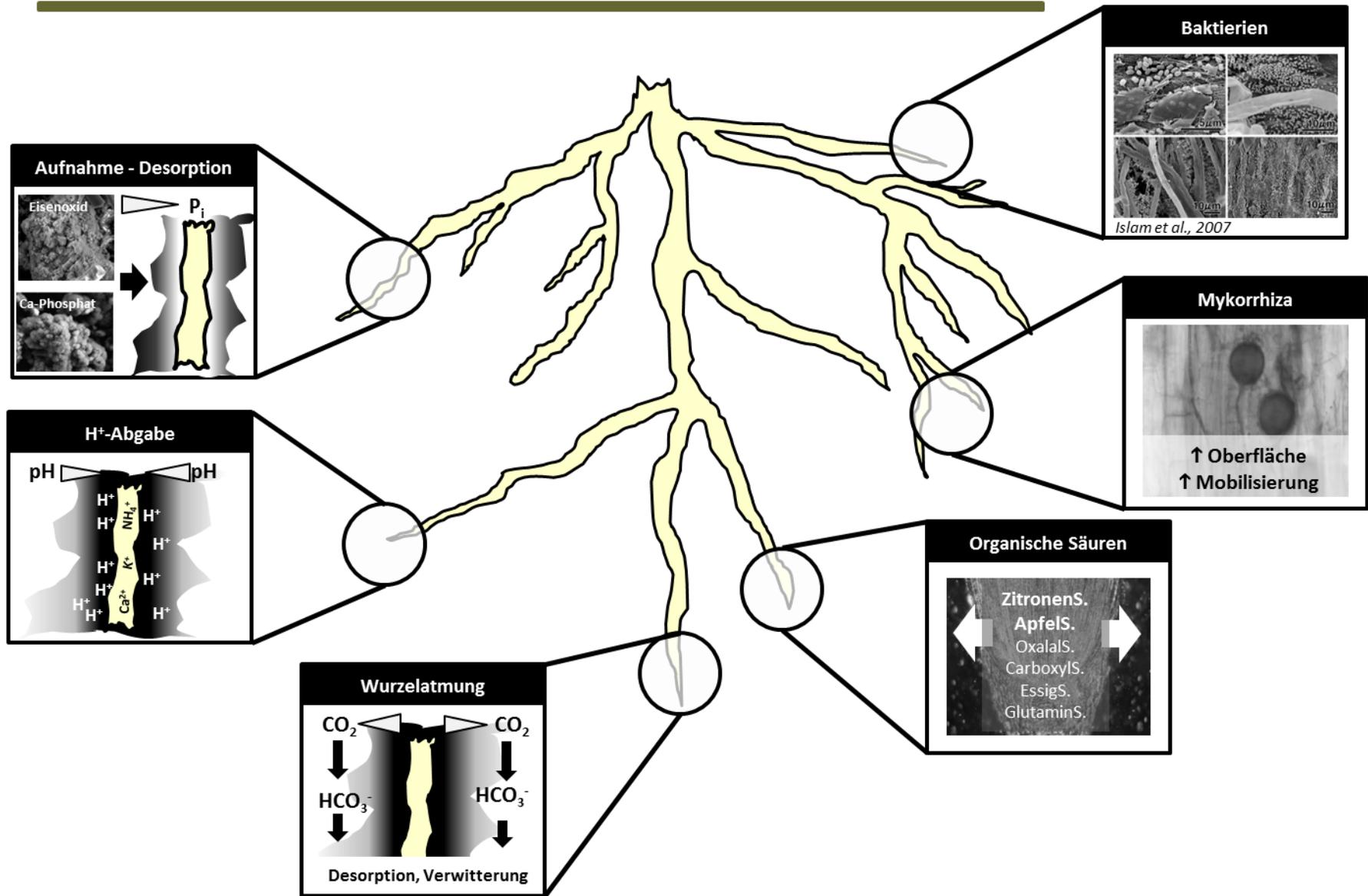
Herausforderung Bodenanalyse

Vergleich P-Extraktion und Biomasse (Roggen, Topfversuch; J. Santner, BOKU)

- Extraktion (oder Desorption) des Nährstoffs aus dem Boden (*Bodenlösung, Bodenpaste*).
- Bodenuntersuchung gibt eine Entscheidungshilfe.
- Berücksichtigt nicht die „Dynamik“ der Wurzelbiologie im realen (strukturierten) Boden.



Wurzelmechanismen der P-Mobilisierung



Phosphor-Mobilisierung durch Pflanzen

Buchweizen



Starke Ansäuerung der Rhizosphäre. Lösung von Kalziumphosphaten.

Phacelia



Hoher Feinwurzelanteil und Mykorrhiza. Geringer Diffusionsweg des Phosphors.

Lupine



Wurzelcluster mit hoher Exudation. Desorption von (Fe-) Phosphaten

Hohe Phosphormobilisierung dieser Kulturen bedeutet **nicht immer** eine **höhere Verfügbarkeit** für die **Folgefucht**. Summe von Wirkungen der Gründüngung kann jedoch P-Versorgung verbessern.

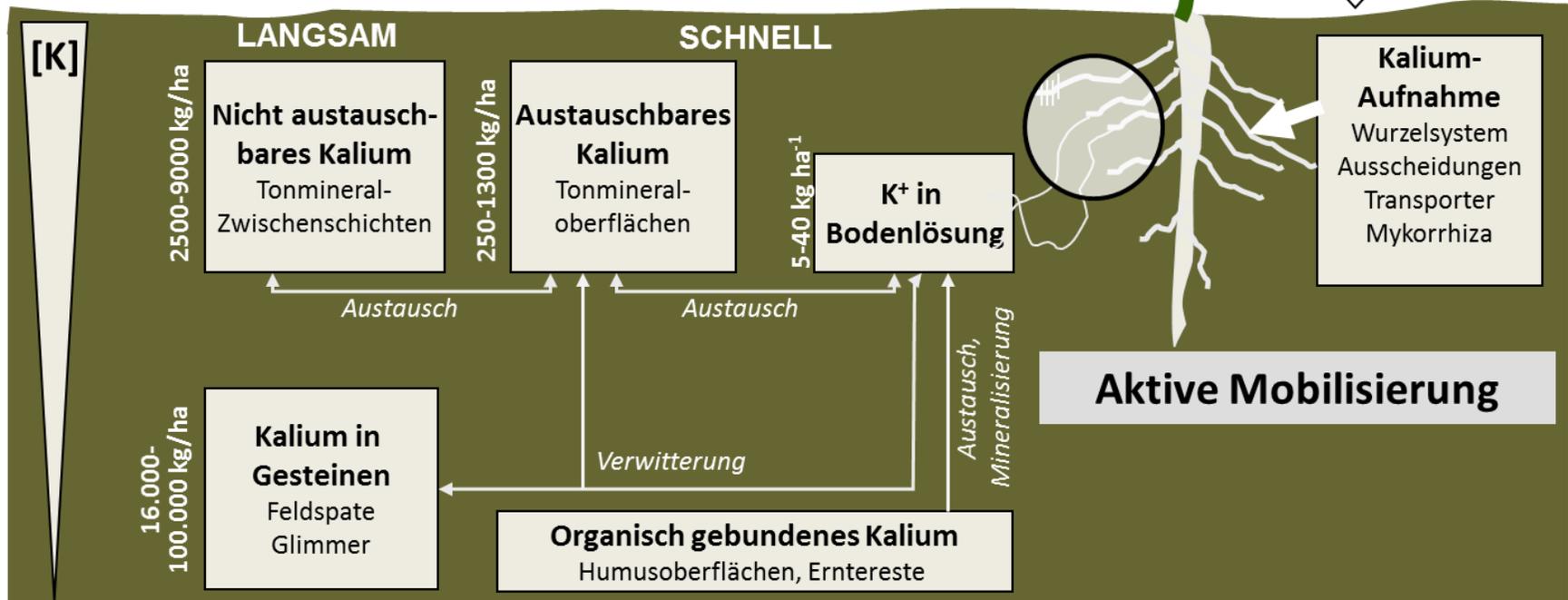
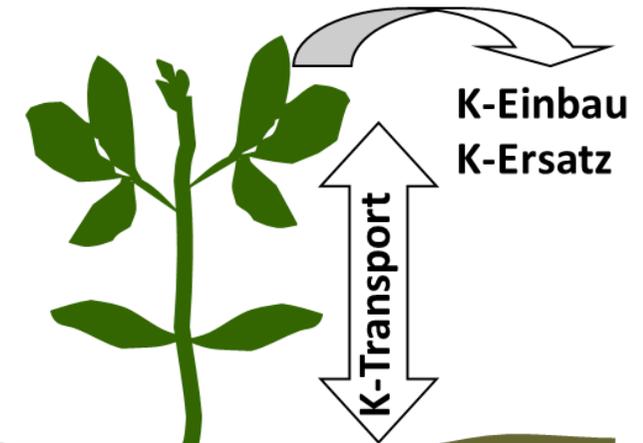
KALIUM

Boden

Pflanze

Nachlieferung ↔ Fixierung

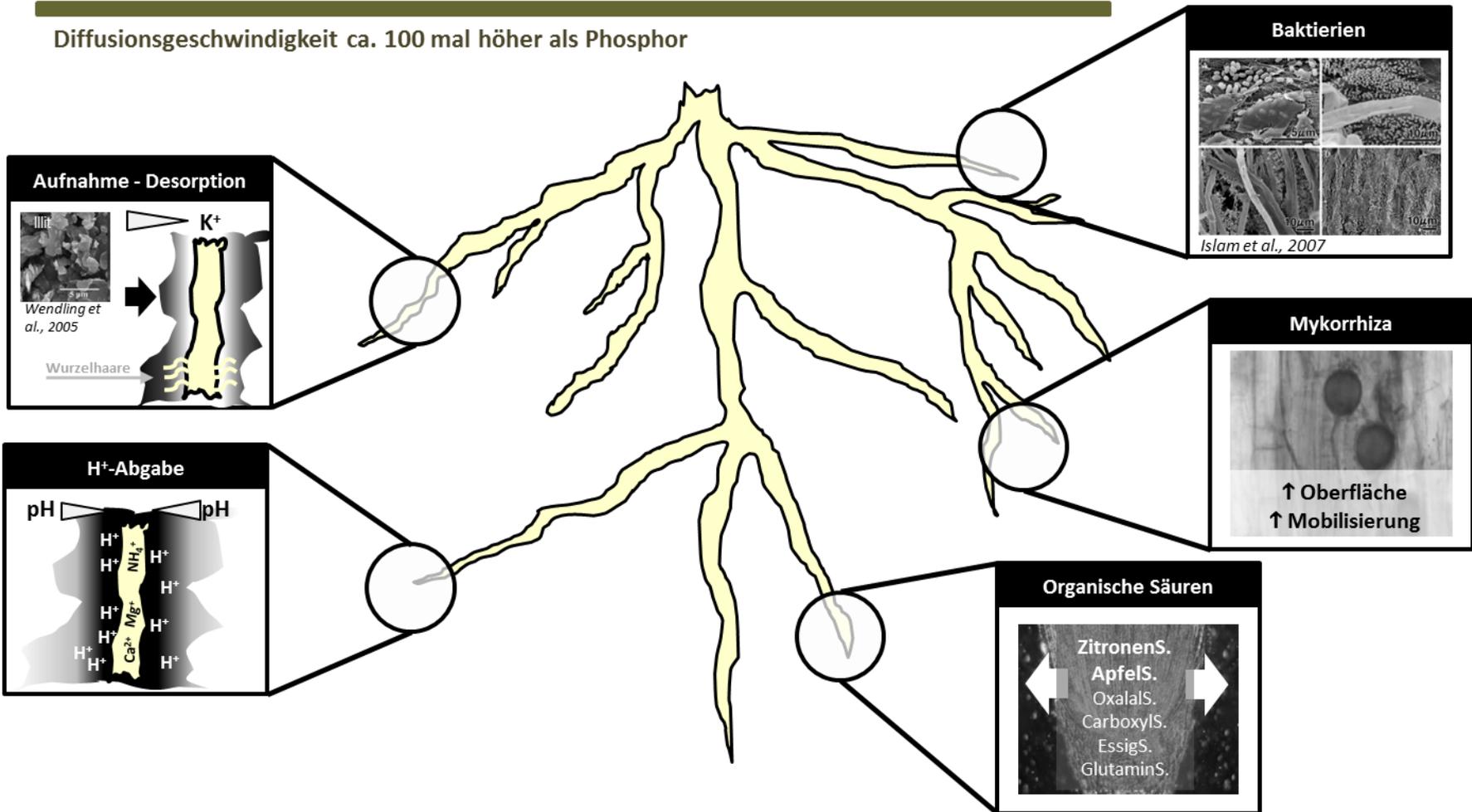
Einflussfaktoren: Tongehalt und Tonmineralart, pH, N-Ernährung, Luft- und Wasserhaushalt



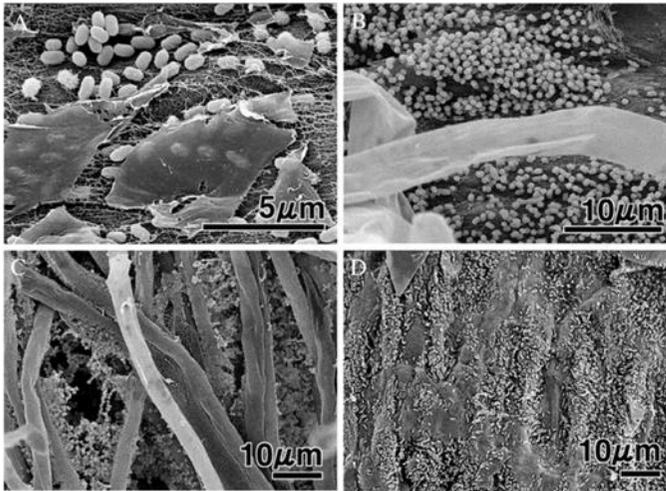
Nach: K+S KALI GmbH und Zörb et al. (2014)

Wurzelmechanismen der K-Mobilisierung

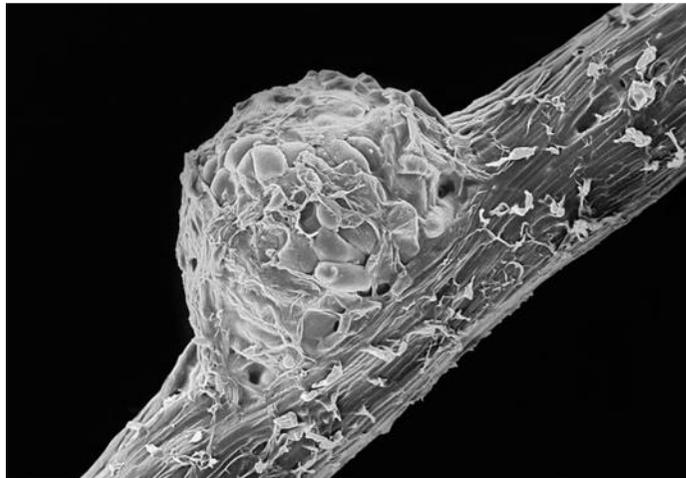
Diffusionsgeschwindigkeit ca. 100 mal höher als Phosphor



Bakterielle Biodünger



Quelle: Islam et al., 2007

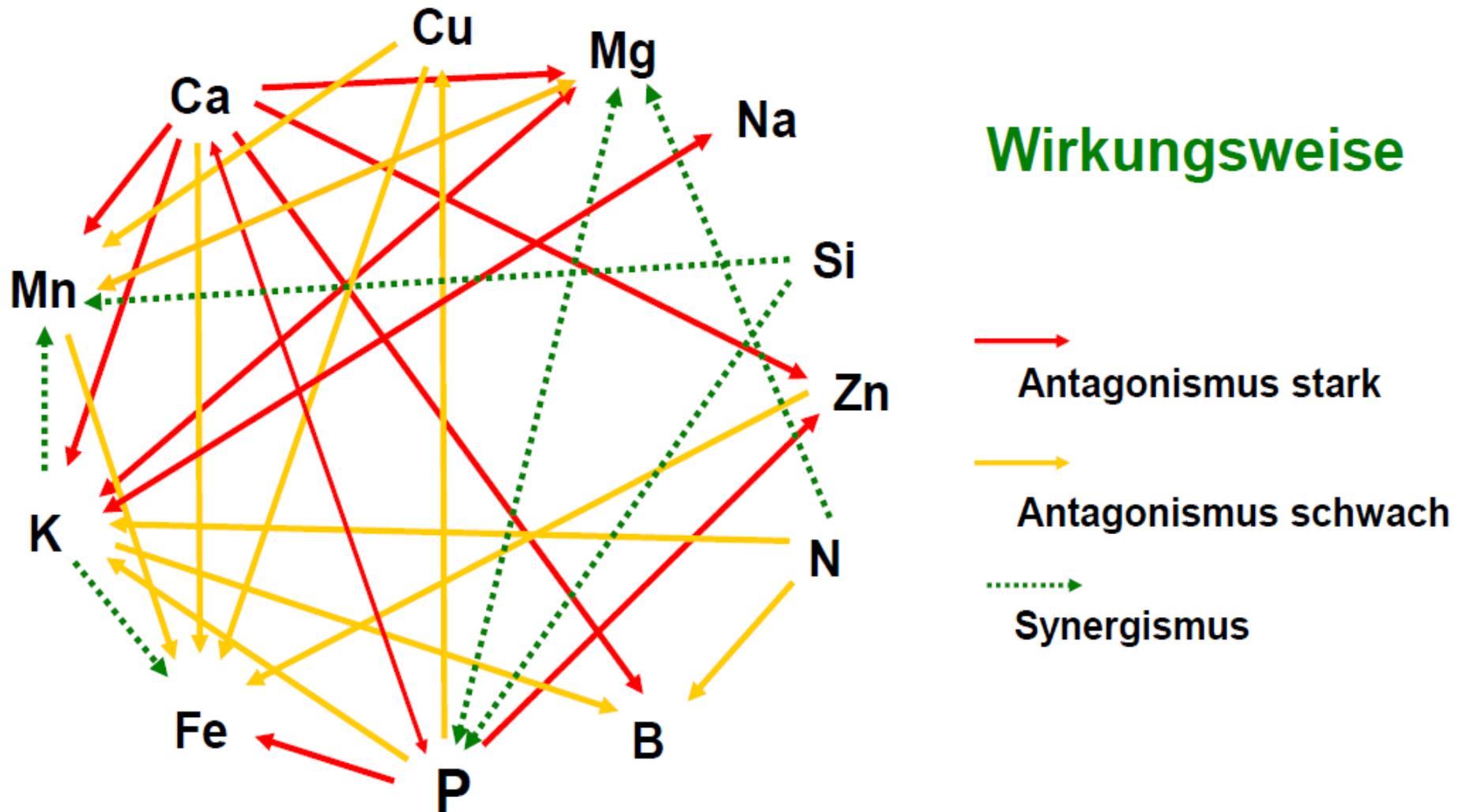


Bakteriengruppe	Nährstoff
Rhizobien	Stickstoff (50-300 kg N ha ⁻¹)
Azotobacter	Stickstoff (15-20 kg N ha ⁻¹)
K-lösende Mikroorganismen (KSM) Bacillus mucilaginosus, B. edaphicus, ...	Kalium
P-lösende Mikroorganismen (PSM) Bacillus sp., B. circulans, Azotobacter chroococcum,...	Phosphor
Wachstumsfördernde Mikroorganismen (PGPR) Azospirillum brasilense, Pseudomonas fluorescens...	Indirekt (s.u.)

Wirkungsweisen

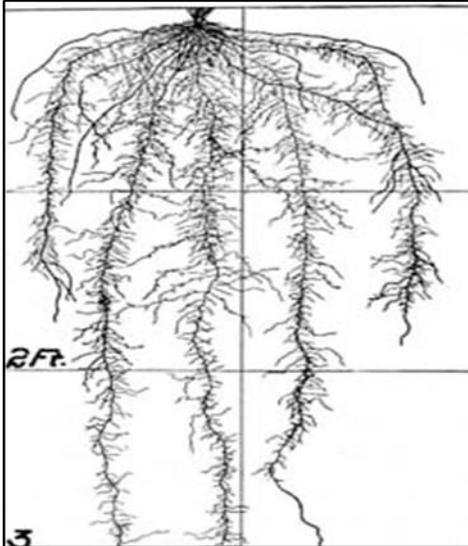
- Fixierung von **N₂**
- Verbesserte **Nährstofflösung** durch Exudate
- Hormonelle Stimulation des **Wurzelwachstums**
- Verbesserte **Symbiosen** (Rhizobien, Mykorrhiza)

Nährstoff-Wechselwirkungen im Boden



Nährstoff-Aufnahmestrategien

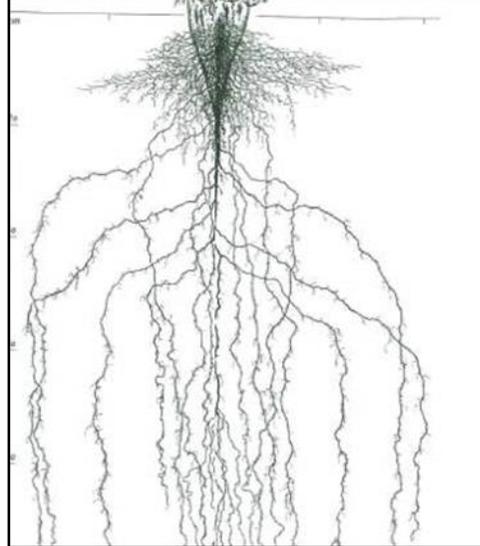
Weizen (Gräser)



Intensitätstypen

Dichtes Wurzelgeflecht reduziert den Transportweg zum Aufnahmeort

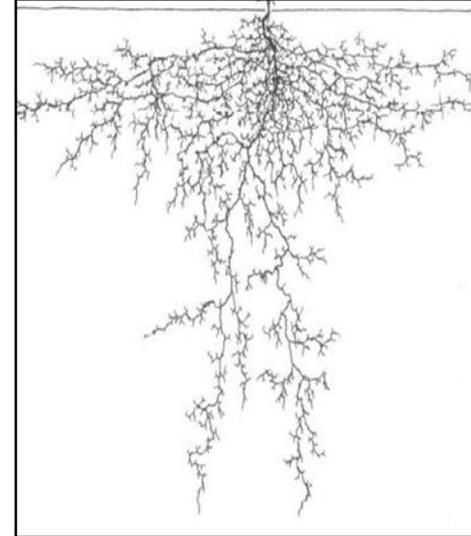
Zuckerrübe (Raps,...)



Funktionalitätstypen

Effiziente Transportsysteme und plastische Anpassung (z.B. Wurzelhaarlänge) bringen hohe Aufnahme rate

Erbse (Leguminosen)



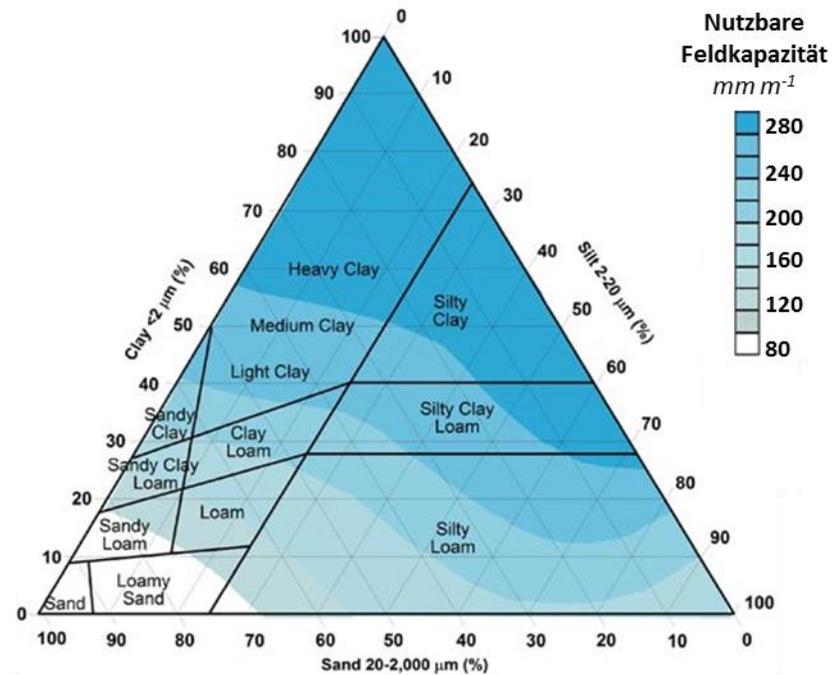
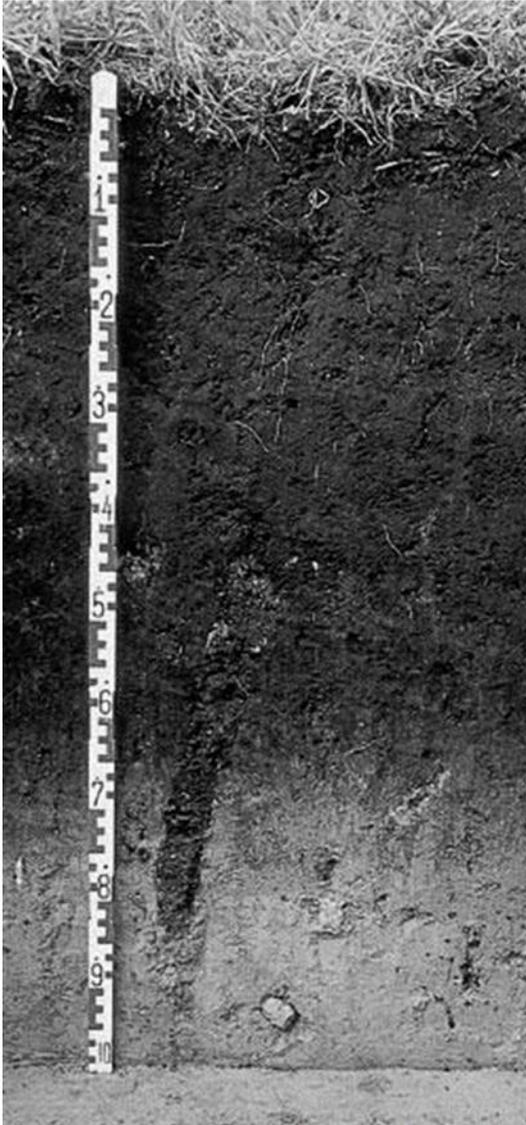
Helfertypen

Hoher Besatz mit Bodenmikroorganismen führt zu guter Mobilisierung

Pflanzenwurzeln sind der Schlüssel der **Standortanpassung**. Viele Mechanismen „springen“ erst bei **Mangelbedingungen** an.

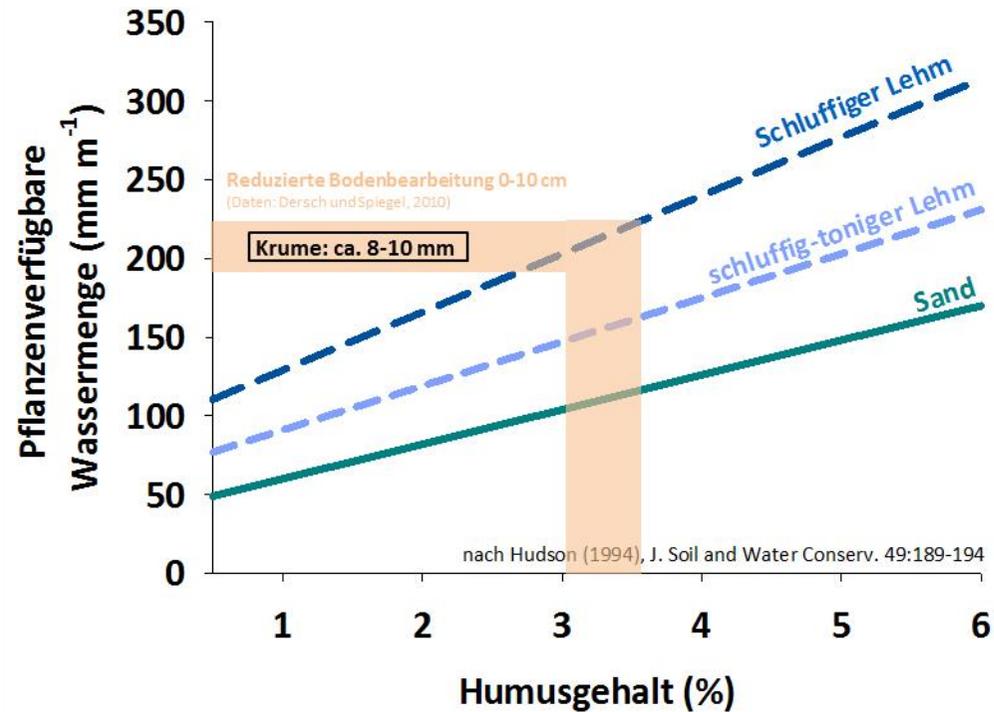
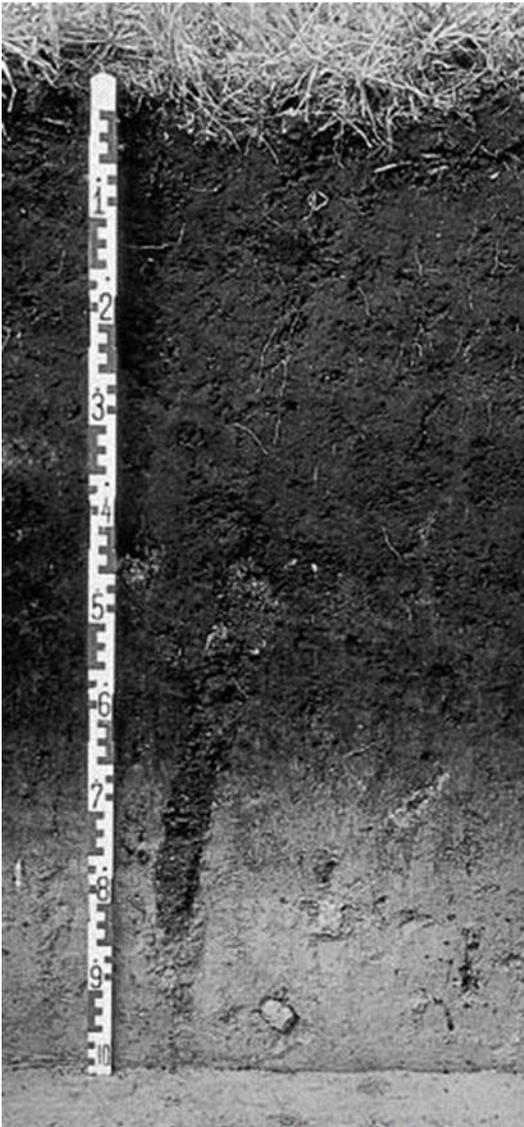
Einflüsse auf die pflanzenverfügbare Wassermenge

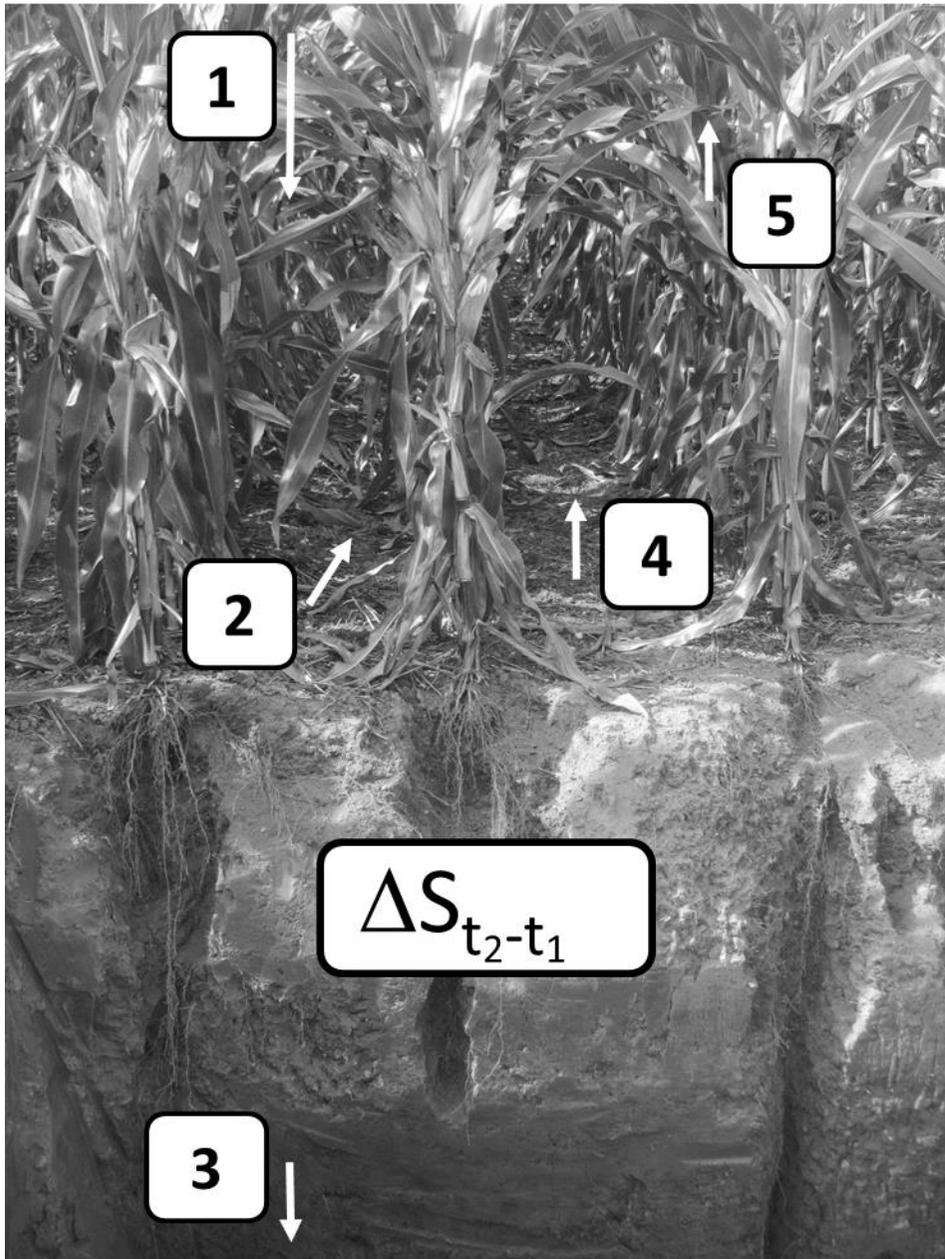
Bodentextur



Einflüsse auf die pflanzenverfügbare Wassermenge

Humusgehalt





Komponenten der Wasserbilanz

1 Niederschlag (NS)

2 Oberflächenabfluss (OA)

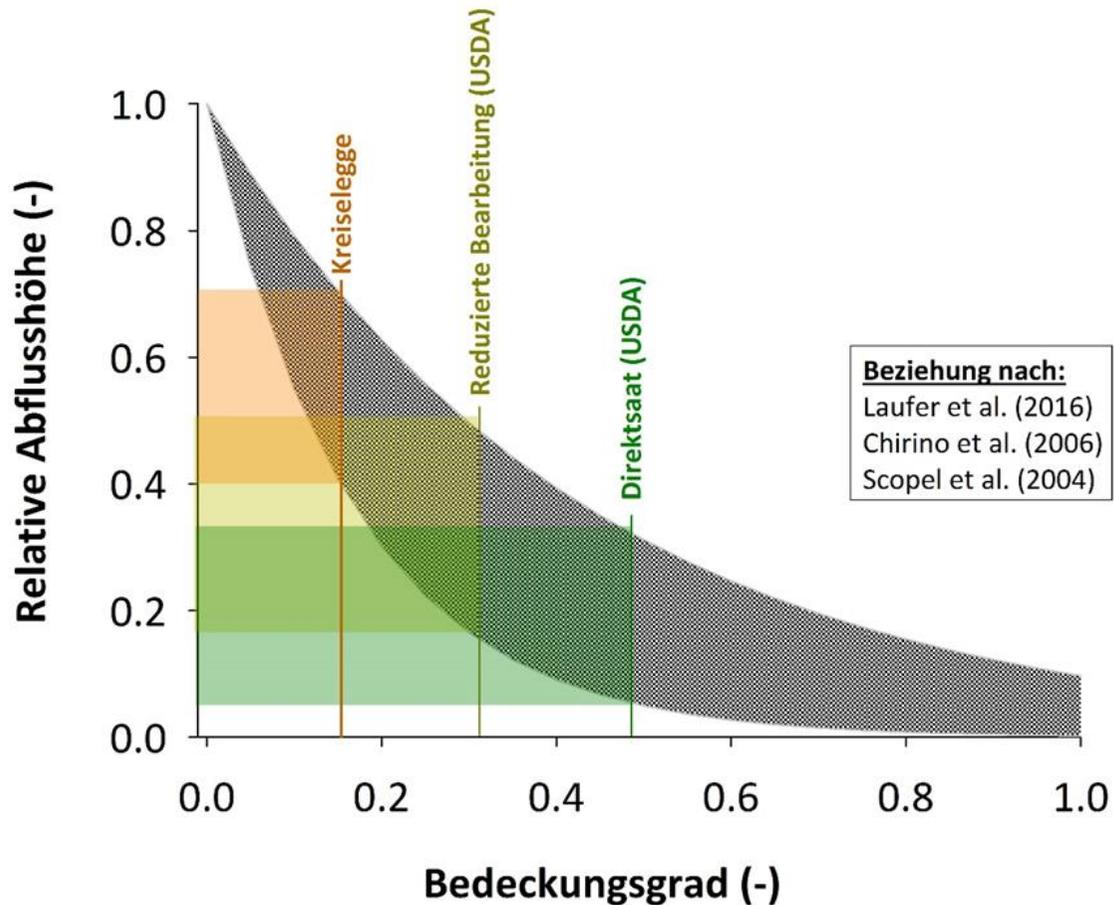
3 Tiefenversickerung (V)

4 Evaporation (E)

5 Transpiration (T)

L **Gespeicherte Wassermenge (ΔS)**

Wasserbilanzkomponente Oberflächenabfluss



Beispiel

Jährlicher Abfluss

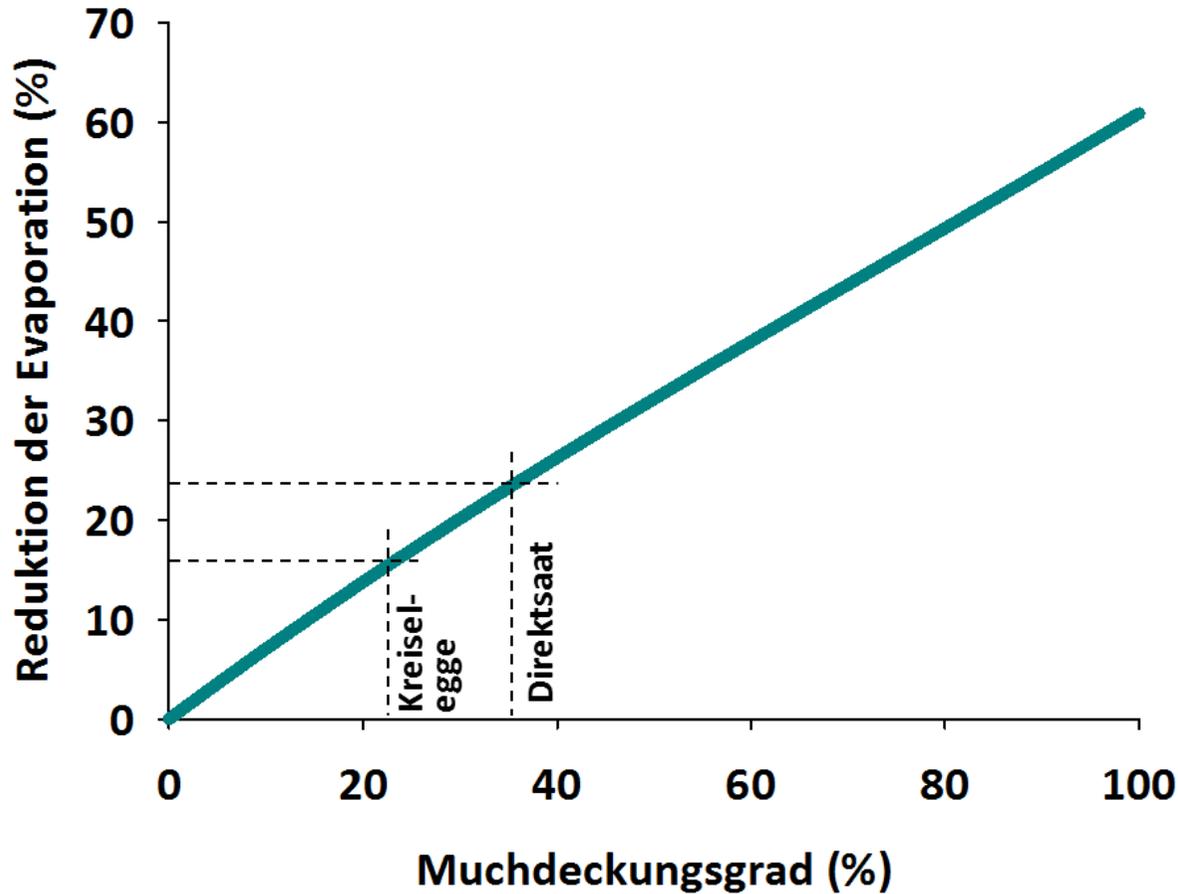
150-450 mm (Huang et al., 2010)

Reduktion:

30-360 mm

Anmerkung: Hohe Abflüsse in humiden Gebieten. Wassersparnis in sub-humiden/semi-ariden Gebieten daher untere Grenze.

Wasserbilanzkomponente Evaporation



Beispiele

Winterweizen

Gesamtwasserbedarf: 420 mm

Evaporation: 60 mm (ca. 15 %)

Ersparnis: 10 - 15 mm

Körnermais:

Gesamtwasserbedarf: 360 mm

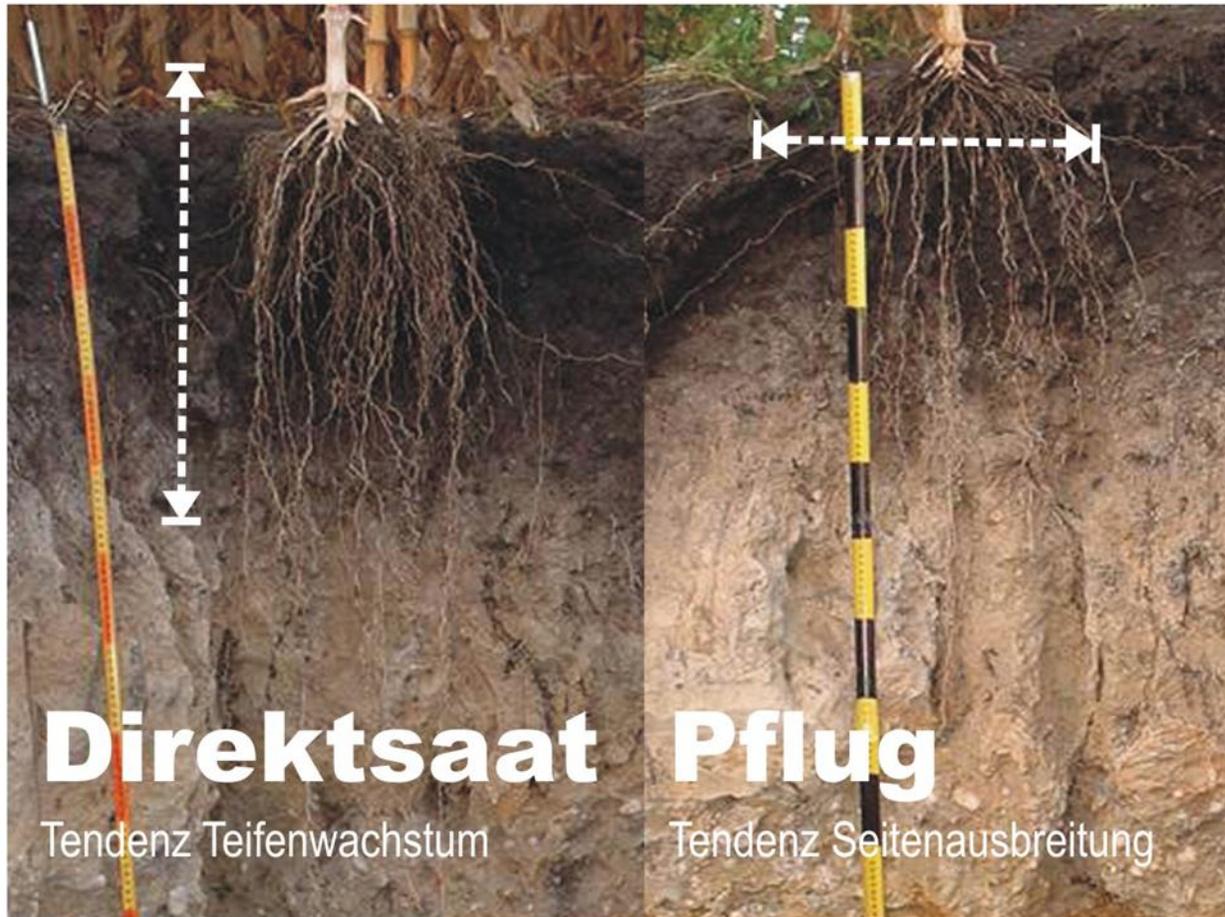
Evaporation: 80 mm (ca. 20 %)

Ersparnis: 14 – 20 mm

Zahlen aus: Ehlers (2013): mais 1/2013

Roth et al. (2005): Schriftenreihe Thüringer Landesanst. f. Lw.

Wasserbilanzkomponente Tiefenversickerung



Beispiel Wurzeffekt

Boden mit 20 % nFK

Wurzeltiefe: +/- 20 cm

Wassernutzung: +/- 40 mm

*Wurzelfreilegung Betrieb
Peck, Andau (Fotos:
Himmelbauer und Sobotik)*

Teil 3. Bodenmanagement

Diagnoseansätze für Bodenproblemen

1. Ertragsvergleich mit regionalem Mittel

Problem: Kleinräumige Einflüsse

2. Feldbodenansprache

Problem: Zeitlicher und räumlicher Vergleich

3. Bodenanalyse

Problem: Nur chemisch; Versorgungsdiagnose zeigt keine Aufnahme-limitierung

4. Zeigerpflanzen

Problem: Nur Hinweis auf Problemfeld

Zeigerwerte zur Standortbeurteilung

<http://statedv.boku.ac.at/zeigerwerte/>

Heinz Ellenberg: „Ökologischen Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa“

L - Lichtzahl

- 1 Tiefschattenpflanze
- 3 Schattenpflanze
- 5 Halbschattenpflanze
- 7 Halblichtpflanze
- 8 Lichtpflanze
- 9 Volllichtpflanze
- x indifferent

T - Temperaturzahl

- 1 Kältezeiger, nur in hohen Gebirgslagen
- 3 Kühlezeiger, vorwiegend subalpine Lagen
- 5 Mäßigwärmezeiger (tiefe bis montane Lagen)
- 7 Wärmezeiger
- 9 extremer Wärmezeiger
- x indifferent

K - Kontinentalitätszahl

- 1 euozeanisch
- 2 ozeanisch
- 4 subozeanisch
- 5 intermediär
- 6 subkontinental
- 8 kontinental
- 9 eukontinental
- x indifferent

F - Feuchtezahl

- 1 Starktrockniszeiger
- 3 Trockniszeiger
- 5 Frischezeiger
- 7 Feuchtezeiger
- 9 Nässezeiger
- 10 Wechselwasserzeiger
- ~ Zeiger für starken Wechsel
- = Überschwemmungszeiger
- x indifferent

R - Reaktionszahl

- 1 Starksäurezeiger
- 3 Säurezeiger
- 5 Mäßigsäurezeiger
- 7 Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger
- 9 Basen- und Kalkzeiger
- x indifferent

N - Stickstoffzahl

- 1 stickstoffärmste Standorte anzeigend
- 3 auf N-armen Standorten häufiger als auf mittelmäßigen
- 5 mäßig N-reiche Standorte anzeigend
- 7 an N-reichen Standorten
- 8 ausgesprochener Stickstoffzeiger
- 9 an übermäßig N-reichen Standorten konzentriert
- x indifferent

Verdichtungszeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
 Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...

Quecke



Jährige Rispe



Strahlenlose Kamille



Gänsefingerkraut



Ackergänsedistel



Kriechender Hahnenfuß



Wasserknöterich



Breitwegerich



Nässezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter

Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout, ...

**Wilde
Sumpfkresse**



Krösenbinse



Echte Kamille



Huflattich



Ackergänsedistel



Zweizahn



Pfefferknöterich



Wasserknöterich



Ackerminze



Feuchtezeiger

Gundelrebe



Ackerschachtelhalm



Sumpfziest



Blutweiderich



Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...

Zaunwinde



Kohlkratzdistel



Nährstoffzeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
 Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

Brennnessel



Wegmalve



Purpurtaubnessel



Hirsen



Stechapfel



Weißer Gänsefuß



Flughafer



Gundelrebe



Garezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

Schwarzer Nachtschatten



Kleines Knopfkraut



Echter Erdrauch



Vogelmiere



Portulak



Aufrechter Sauerklee



Schwerer Boden

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...

Giersch



Ackerglockenblume



Ackerfuchsschwanz



Echte Kamille



Gewöhnliches Hornkraut



Huflattich



Leichter Boden

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

Sicheldolde



Ackersteinsame



Mäuseklee



Wolliges Honiggras



Acker-Hundskamille



Lehm

Klatschmohn



Sonnwendwolfsmilch



Saurer Boden

Mäuseklee



Knäuel



Spörgel



Mastkraut



Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter
 Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

Was tun....

Kann nur eine Diskussion sein, keine Rezepte jenseits des konkreten Standortes und Betriebes möglich !

Problem	Maßnahme	Wirkung
Trockenheit	Bodenbearbeitung reduzieren	Mulch (auch: Humus, Bodenstruktur-Poren)
Wassererosion	Bodenbearbeitung reduzieren	Mulch (auch: Aggregatstabilität)
Verdichtung	Mechanisch (tiefen)lockern + biologisch stabilisieren	Bodenaggregate, Grobporen
Strukturschaden (Oberboden)	Bearbeitungstiefe ändern + Zwischenfrucht	Krümelstruktur, Porenkontinuität
Nährstoffmangel*	Bodenbearbeitung und Saattechnik anpassen, Saatzeit	Durchwurzelung, Erwärmung, Durchlüftung, Bodenleben
Humusgehalt	Fruchtfolge, Bodenbearbeitung	Input, Umsetzung

*Die offensichtliche Regulierung über Düngung/Kalkung ist hier nicht erwähnt.

Online-Informationen

Elektronische Bodenkarte ebod

<https://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7066>

Auch geologisches Ausgangsmaterial verzeichnet. Genaue Messdaten zu Profilstellen.

Weltbodenkarte online

<http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>

Auflösung sehr grob, aber gute Übersicht. Enthält auch Bodenkennwerten.

Geologische Karten (1: 50.000, 1:200.000) online

<https://www.geologie.ac.at/services/web-services/>

Klimadaten online

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/klimamittel-1971-2000>

Buchempfehlungen

BODEN

K. Stahr, E. Kandeler, L. Herrmann, T. Streck (2008). *Bodenkunde und Standortlehre*. Ulmer UTB
Hervorragendes und gut verständliches Buch über die Bodenentwicklung in verschiedenen Landschaften und relevante Bodeneigenschaften.

O. Nestroy et al., (2011). *Systematische Gliederung der Böden Österreichs*. Mitteilungen der
Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Heft 79.

Das ist die Neufassung der Österreichische Bodensystematik. Dazu ist auch das Heft 67 mit der „alten“ Fassung nützlich.

GEOLOGIE

R. Schuster, A. Daurer, H.-G. Krenmayr, M. Linner, G.W. Mandl, G. Pestal & J.M. Reitner. *Rocky Austria*.
Geologie von Österreich - kurz und bunt. Geologische Bundesanstalt.

Eine der wenigen für den Nicht-Geologen gut verständliche Übersicht über die Geologie von Österreich.

WURZEL

L. Kutschera, E. Lichtenegger, M. Sobotik (2009). *Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit
Arten des Feldgemüsebaues.*, DLG-Verlag Frankfurt am Main.

Die Einleitungskapitel geben eine umfassende Übersicht über die Wurzelfunktionen.

P. J. Gregory (2006). *Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils*. Blackwell Publishing
In Englisch, aber sehr gut lesbar und ein schönes Übersichtswerk.

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau
Arbeitsgruppe Nutzpflanzenökologie

Gernot Bodner

Konrad Lorenz Gasse 24, 3430 Tulln
Tel.: +43 1 47654-95115
gernot.bodner@boku.ac.at, www.boku.ac.at

