Herzlich Willkommen zum Feldtag Bodenfruchtbarkeit

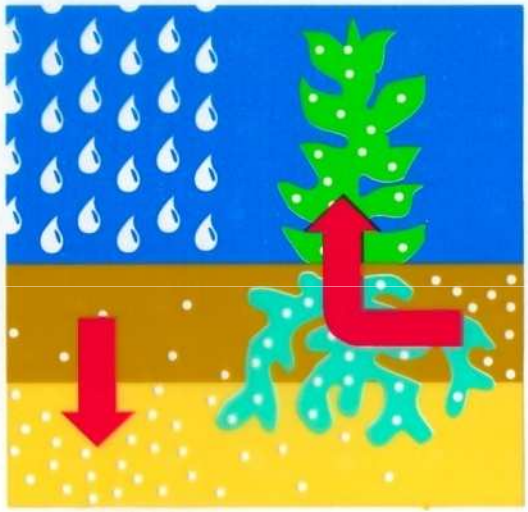
Kalk, Kalzium und pH-Wert

Grundlagen der Bodenfruchtbarkeit

Referent: Max Schmidt

Bodenberatungsdienst

Kalkverluste – Kalkbilanz



1. Ernteentzüge	Ø 50	kg/ha CaO
2. Auswaschung und Neutralisationsbedarf	300–450	kg/ha CaO
Gesamtverluste	350–500	kg/ha CaO

Erhaltungskalkung:
15 dt/ha CaO jährlich auf 1/3 der LF

NATURKALK – für gesunden Boden

Kalkdienst:
9117/1

Kalkverluste durch Auswaschung

nach PFAFF

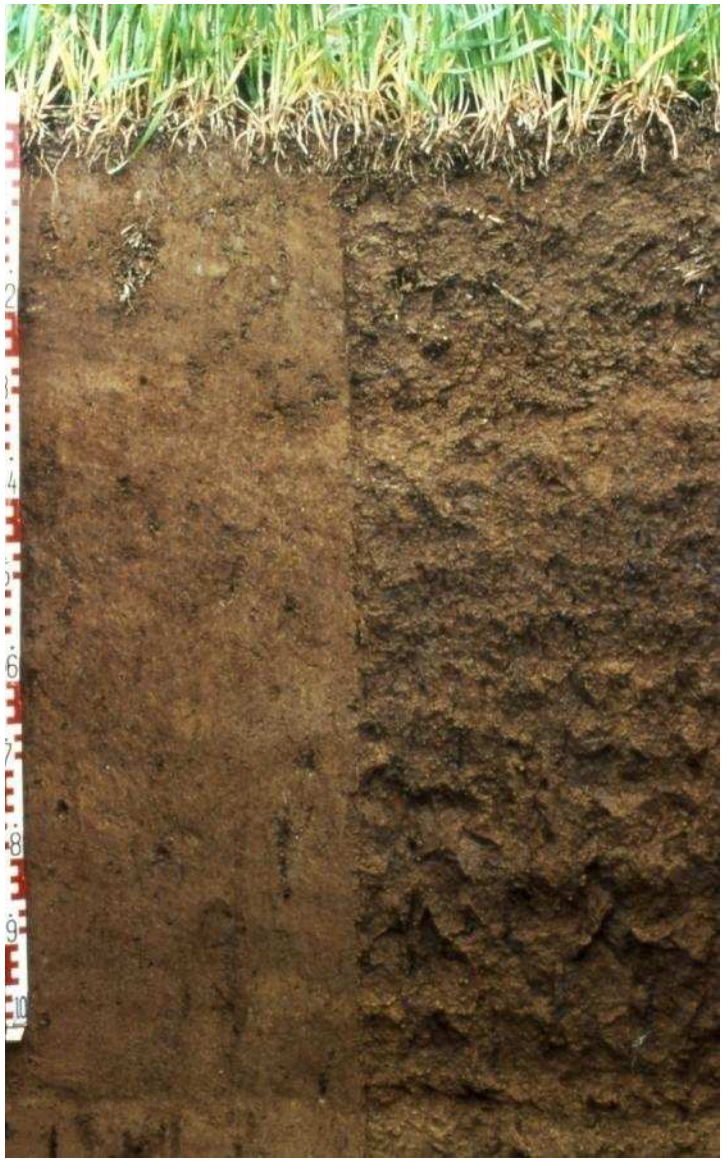
15jähriger Versuch auf 3 verschiedenen Böden

Böden	Sickerwasser l/m^2	Auswaschung jährlich kg/ha		
		CaO	MgO	Summe
lS	221	338	22	360
sL	216	231	24	255
tL	207	241	25	266
∅		271	24	295

Parabraunerde aus Löß

Optimaler Bodenzustand
Kalk- und Nährstoffreich
Tiefgründig
Optimale Luft- und
Wasserführung

Feste Bodenbestandteile
50 - 55 %
Porenvolumen
45 – 50 %
Grobporen>10
15 – 20 %
Mittelporen 0,2-10
15 – 20 %
Nutzbare Feldkapazität
(nFK) 180 – 220l/m²



Kalkverluste bei der Entwicklung einer Parabraunerde aus Löss in Süddeutschland (Mitteldeutschland, Tschechien, Polen)

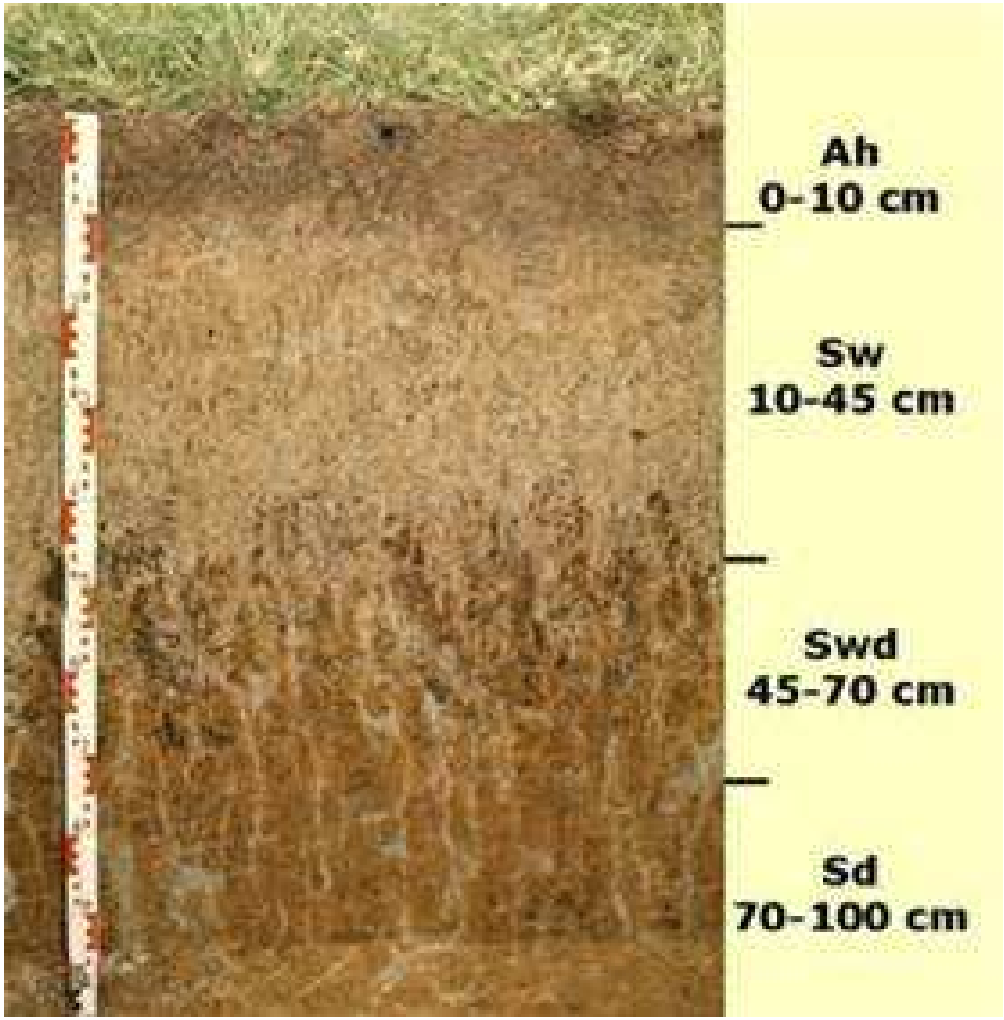
Lössanwehung am Ende der letzten Eiszeit mit einem Gehalt von 15 – 25 %(5 – 15 %) $CaCO_3$

Kalkmenge berechnet auf 1 m Mächtigkeit ca. 3.000 t (750 – 2.000 t) $CaCO_3$/ha

Entbasung des Bodens > 1 m(1 – 2 m)
in 10.000 Jahren

Jährlicher Kalkverlust ca. 300 kg $CaCO_3$

Pseudogley aus Lösslehm



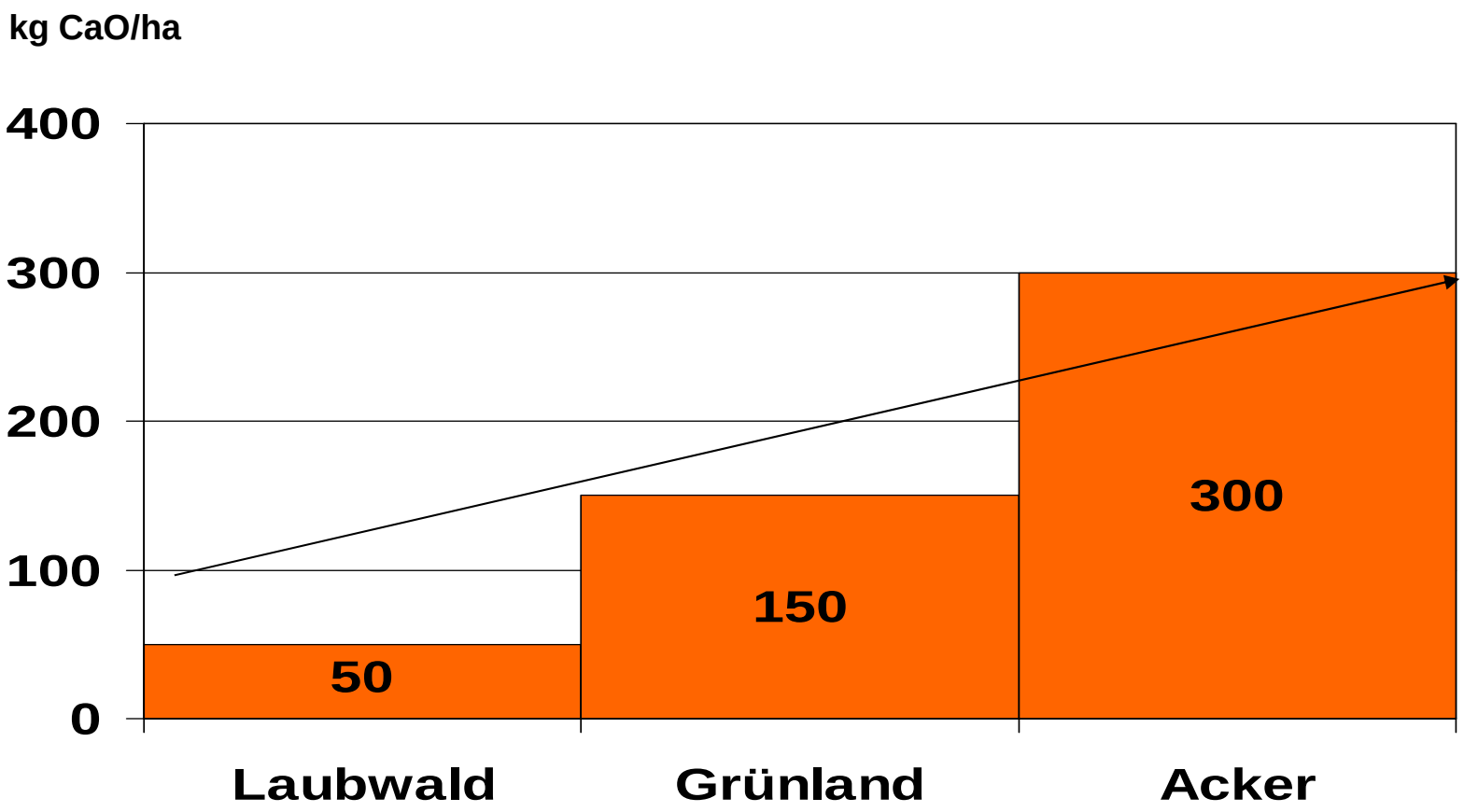
Humoser Oberboden

Tonauswaschungshorizont

Tonanreicherungshorizont

Stauhorizont

Kalkverluste in Abhängigkeit von Vegetation und Bewirtschaftung



Geschichtliches zur Kalkdüngung

1. **Vorgeschichtlich**

Das Mergeln der Kelten (Poseidonios u. a.)

Bereits vor Christus in Gallien die Erkenntnis, dass Böden nur bei regelmäßiger Kalkzufuhr fruchtbar bleiben.

2. **Mittelalter**

Obwohl viel Wissen verloren gegangen ist, Fortführung dieser Tradition.

Fruchtbarmachung der Böden im Nahbereich der Siedlungen mit Holzasche und Fäkalien (Nürnberger Knoblauchsland)

3. **Neuzeit**

Mergeln nach Albrecht Thaer um 1810

Melioration mit 100 – 200 t Mergel je ha, ca. 20 t $CaCO_3$/ha

Kalkzufuhr durch Kalkdünger und kalkhaltige Stickstoff- und Phosphatdünger (Thomasmehl) im 20. Jahrhundert.

Geschichtliches zur Kalkung

Aus einem Brief des Poseidonios, eines griechischen Universalgelehrtens, der im Jahr 58 v. Chr. von Messalia (Marseille) aus Gallien bereiste an seinen Freund Megasthenes:

… ihren beträchtlichen Reichtum verdanken die Kelten einigen nachahmenswerten Methoden der Feldbestellung. So benutzen sie nicht nur organischen Dünger wie Mist, sondern auch mineralischen, z. B. Kalk und verschiedene Arten von Mergel.

Die Moriner an der Nordwestküste Galliens holen solche Erde mit Schiffen aus Britannien und treiben damit einen schwunghaften Handel. Angeblich bleibt ein damit ge-düngter Acker bis zu 50 Jahre fruchtbar. Beeindruckt haben mich auch die keltischen Pflüge … sie haben eine eiserne Pflugschar und Räder, werden von mehreren Ochsen-paaren gezogen und können schwere Böden tief um-brechen …

In guten Jahren gibt es bei ihnen Getreide in solchem Überfluss, dass man für die kleinste griechische Münze, für einen Obolus, einen halben Zentner Gerste bekommt.

Quelle: aus G-geschichte mit Pfiff 4/82

Das Mergeln nach Albrecht Thaer

Melioration nährstoffarmer saurer Sandböden auf Gut Möglin bei Berlin um 1810

Mergel mit ca. 50% Ton und 10-15% $CaCO_3$

Aufwandmenge je Hektar 150-200 Tonnen

Das entspricht einer Kalkmenge von
15-30 Tonnen Kohlensaurem Kalk je Hektar

Der pH-Wert

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration in der Bodenlösung.

Das heißt:

pH 5,0 =	10^{-5}	=	0,00001 g H^+-Ionen/l
pH 6,0 =	10^{-6}	=	0,000001 g H^+-Ionen/l
pH 7,0 =	10^{-7}	=	0,0000001 g H^+-Ionen/l

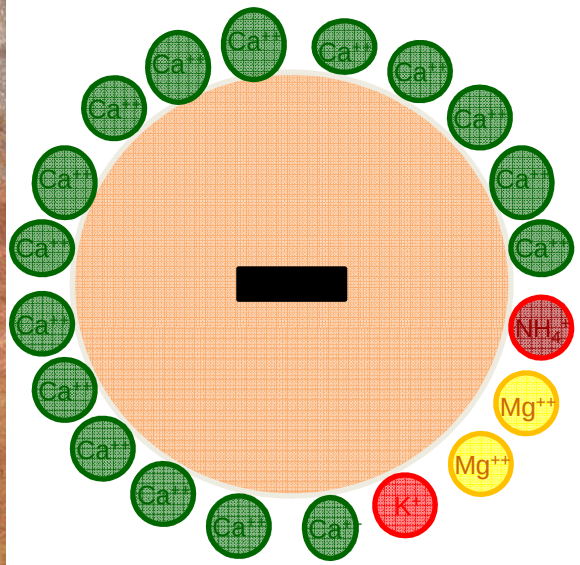
pH 5 ist also 10mal saurer als pH 6 und 100mal saurer als pH 7.

In einem normalen Mineralboden korrelieren die H+ Ionen mit den Ca++ Ionen. Viele H+ Ionen bedeuten wenig Ca++ Ionen und umgekehrt.

Einfluss der Kationenbelegung am Austauscher auf die Bodenstruktur

gute Bodenstruktur

durch hohe Ca- und Mg-Sättigung



pH 7

80 % Ca^{++}

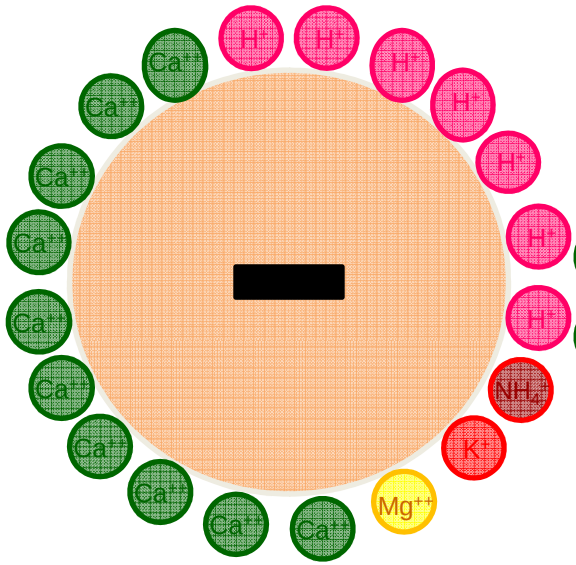
10 % Mg^{++}

5 % K^{+}

5 % NH_4^{+}

schlechte Bodenstruktur

durch Versauerung



pH 5,5

50 % Ca^{++}

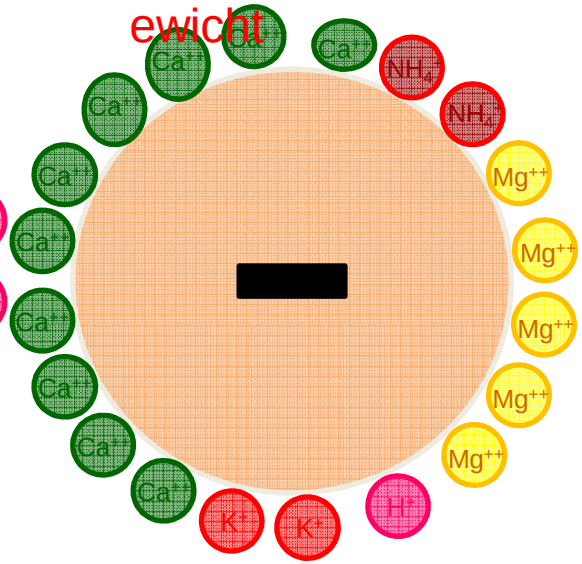
5 % Mg^{++}

5 % K^{+}

5 % NH_4^{+}

35 % H^{+}

durch Ionen-Ungleichgewicht



pH 6,5

50 % Ca^{++}

25 % Mg^{++}

10 % K^{+}

10 % NH_4^{+}

5 % H^{+}

Die Pflanzen verbrauchen den Kalk indirekt

Zersetzung der organischen Substanz und Bildung von Kohlensäure durch CO_2 aus der Bodenatmung (Bodenlebewesen)

Ausscheidung von H^+-Ionen durch die Wurzel

Säurezufuhr durch Ammoniumstickstoff, Harnstoff, Schwefel- und Salpetersäure aus der Düngung .

Saurer Regen

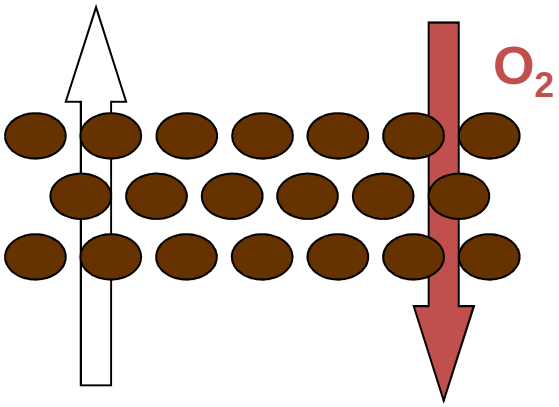
Pufferung durch Kalk oder Versauerung

Bildung von Calciumhydrogencarbonat und von löslichen Salzen, wie Calciumsulfat, -nitrat, -chlorid usw. aus dem Kalkvorrat der Böden und den Calciumionen, die vom Austauscher desorbiert werden.

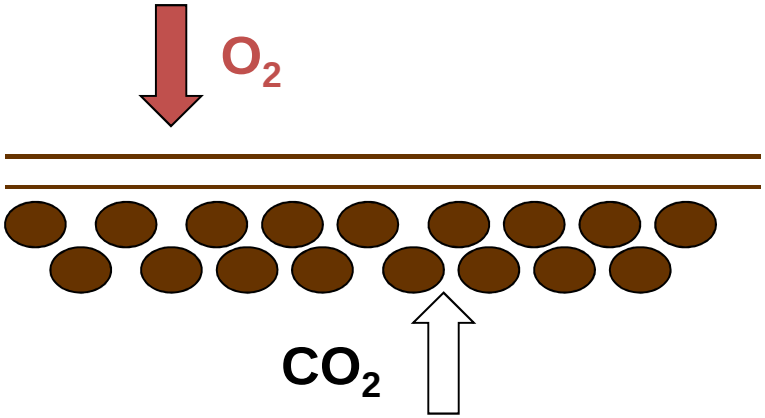
Folge: Verlust dieses „verbrauchten“ Kalkes durch Auswaschung
Jährliche Kalkverluste 300 – 500 kg CaO pro Hektar

Natürliche Versauerung durch CO_2 aus der Bodenatmung

lockerer Boden



verschlämmter Boden

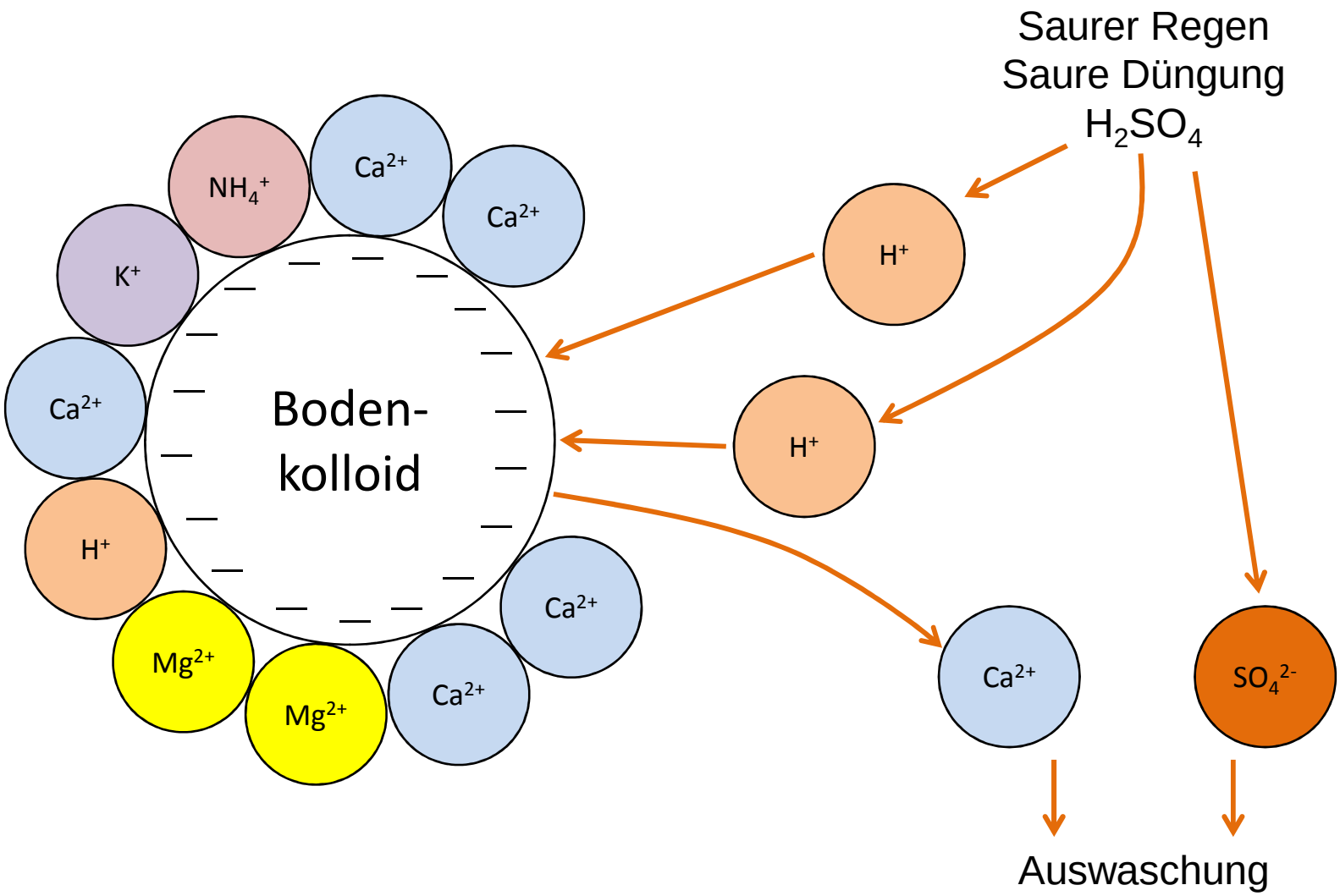


$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+$ (Versauerung)
$H_2CO_3 + CaCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$ (Pufferung und Verlust von Ca^{++})

In krümeligen Böden ist der Gasaustausch gewährleistet.

In verschlämmten Böden wird der Gasaustausch behindert und die Bodenversauerung verstärkt.

Versauerung und Auswaschung



Kalkwerte wichtiger Düngemittel

Düngemittel	Kalkverlust bzw. –gewinn in kg CaO je 100 kg N (P_2O_5)	
	Acker	Grünland
Stickstoffdünger (% N)		
Kalkammonsalpeter (27)	-58	-36
Schwefels. Ammoniak, SSA (21)	-299	-280
Ammonsulfatsalpeter, ASS (26)	-196	-173
Stickstoffmagnesia (22)	+/- 0	-18
Harnstoff (46)	-100	-80
Kalkstickstoff (21)	+167	+186
Ammonnitrat-Harnstofflösung (28)	-100	-80

Die Kohlensäure im Boden wichtig für

- Mineralverwitterung (Glimmer, Feldspäte)
- Nährstofffreisetzung (Kalium, Kalzium)
- Mineralneubildung (Tonminerale)
- Phosphatmobilisierung (Ca-Phosphate)
- Spurennährstoffmobilisierung
- Aufbau des Karbonatpuffersystems
- $Ca(HCO_3)_2 – H_2CO_3$

Versauerung und Kalziummangel

links: Wachstumsstörungen
in Wintergerste, Herbst 2012

rechts:
Triebschäden und deformierte Wurzel
durch Kalkmangel bei pH 4

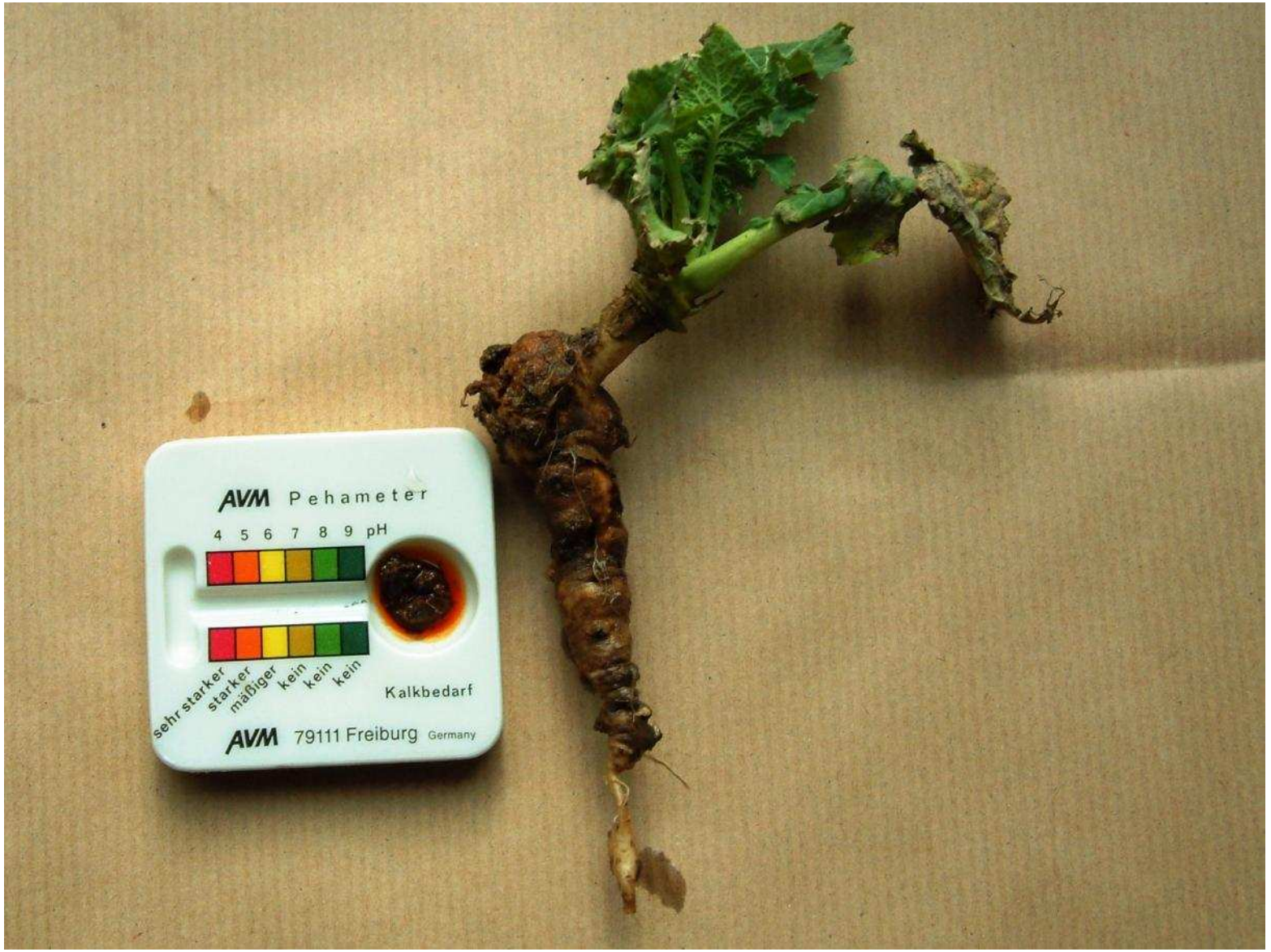
Versuch Dürnast
TU Freising

Zuckerrüben

Oben pH 6,5

Unten pH 5,3

Boden verschlämmt,
dichtgelagert, kalt
und sauerstoffarm



Kohlhernie bei Raps, pH-Wert ca. 5,0

Ohne Kalk drohen Ertragsverluste auf stark versauerten Flächen

Rüben	S-Gerste	W-Gerste	Mais	Rotklee/ Luzerne	Hafer	W-Weizen	W-Roggen	Kartoffeln
-50	-40	-40	-30	-25	-20	-15	-15	-10

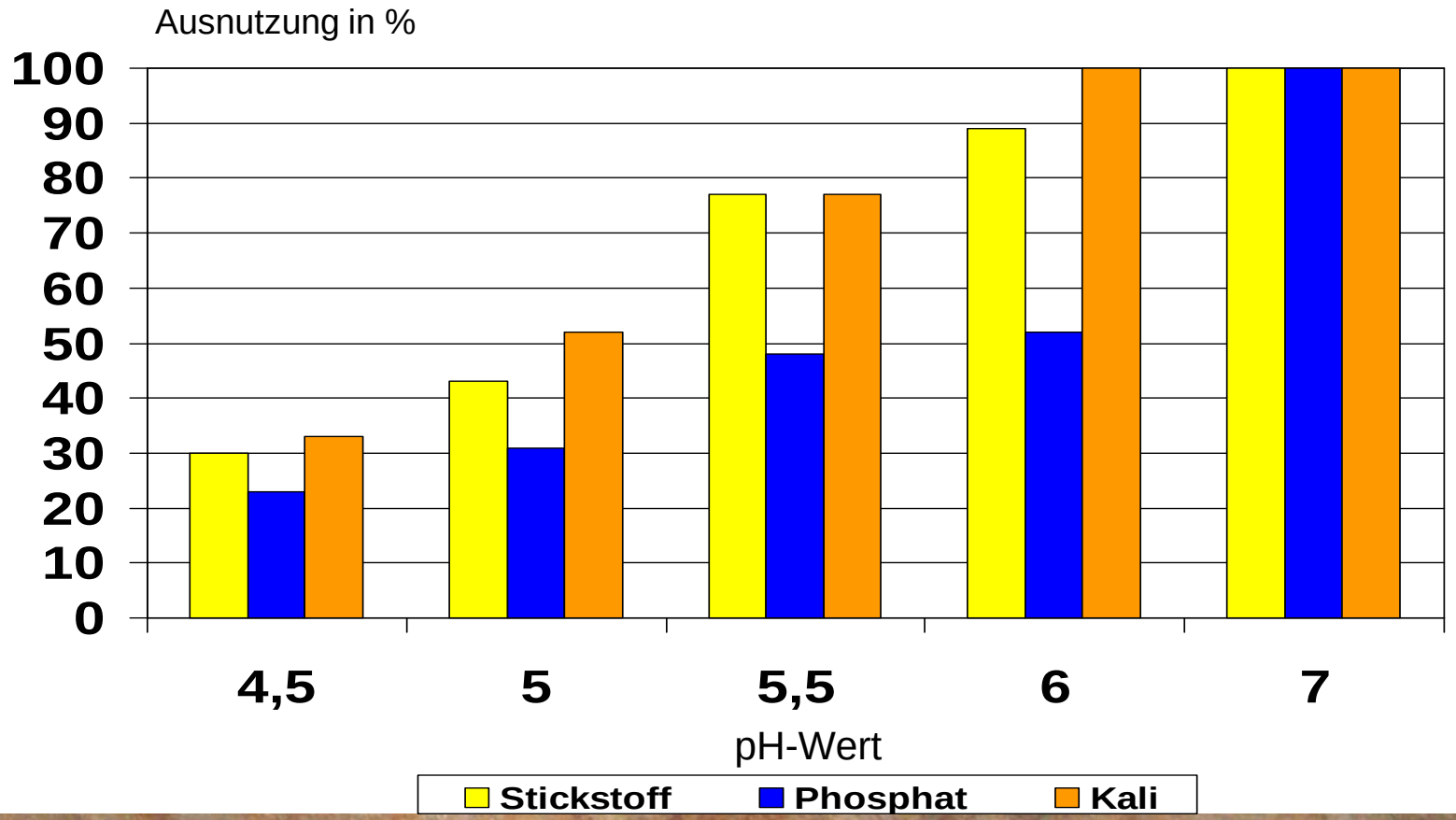
Quelle: incona, Newsletter Nr. 27 vom 01.07.2007

Der Ausnutzungsgrad der bodenbürtigen Nährstoffe hängt sehr wesentlich vom Boden-pH ab. Mit sinkendem pH-Wert sinkt auch die Verfügbarkeit von Stickstoff, Phosphat und Kali im Boden.

Kalk verbessert die Nährstoffausnutzung

Einfluss des Kalkzustandes auf die Verfügbarkeit

Quelle: CELAC; Les Amendements Calciques et Magnesiens



Phosphatgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden

Gesamtphosphat 150-300 mg/100g Boden
entspricht **4.500-9.000** kg/ha

CAL-lösl. Phosphat 5-40 mg/100g Boden
entspricht **150-1.200** kg/ha

Wasserlösliches Phosphat 1-2 mg/100g Boden
entspricht **30-60** kg/ha

1mg/100g = 10mg/kg = 10g/t = 30kg/ha bei 3.000t Boden/ha

Bodengehalte der wichtigsten P-Fraktionen (%)*)

nach Dr. Kerschberger und Preusker

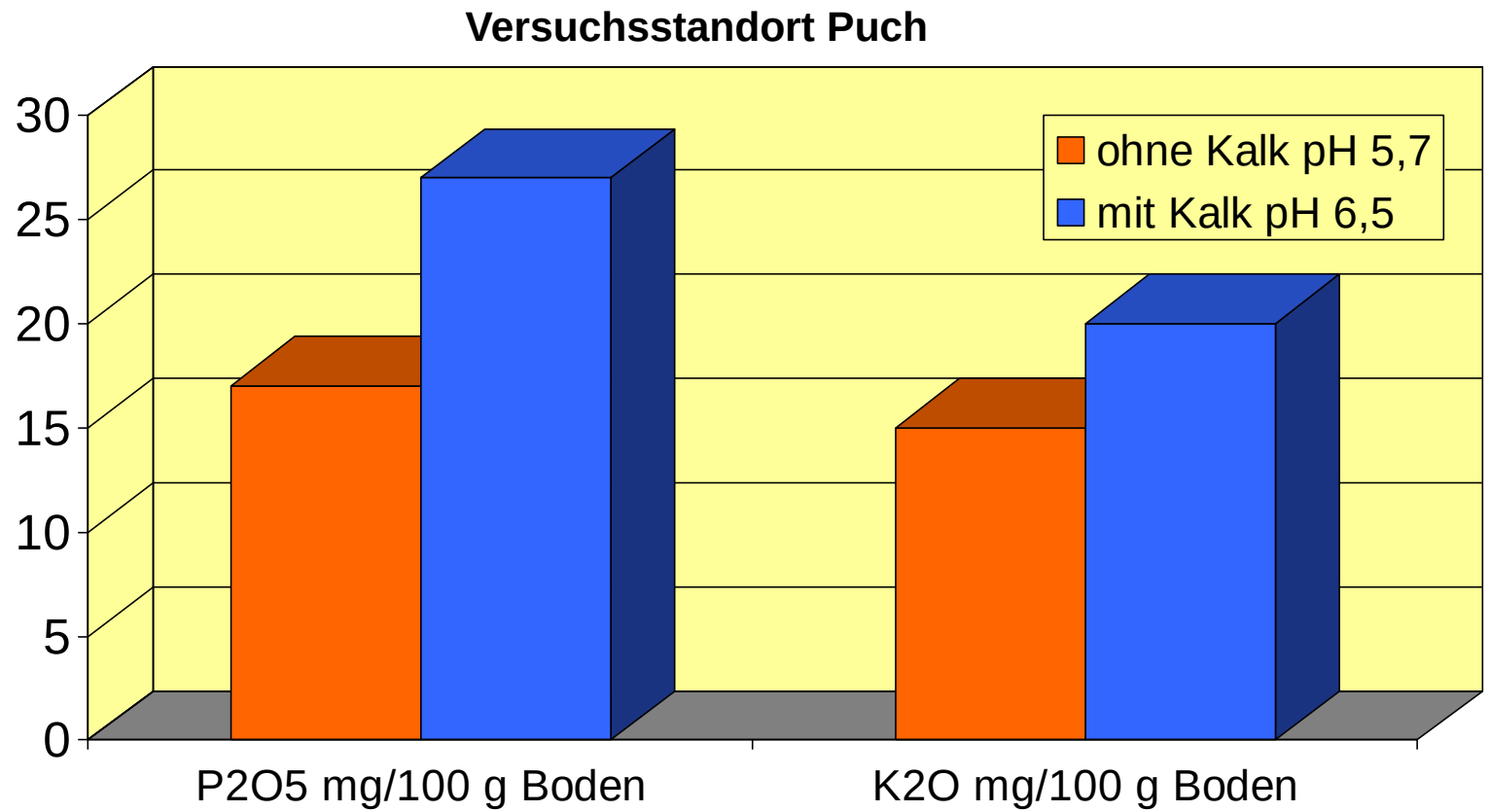
Bodenarten-Gruppe	Anzahl Versuche	Mittlerer pH-Wert	Bodenphosphatformen 1)			
			leichtlösl. P	Al-P	Fe-P	CaP
Sand	5	5,5	3	55	25	17
schwach lehmiger Sand	4	5,6	2	40	40	18
stark lehmiger Sand	2	5,7	2	35	43	20
sandig schluffiger Lehm	5	6,2	2	25	25	48
lehmiger Ton bis Ton	1	7,1	3	20	7	70

*) Summe der vier Fraktionen = 100 % gesetzt

1) Extraktionsmittel löst vorwiegend: NH_4Cl → leichtlösl. Phosphate; NH_4F → Al-Phosphate; NaOH → Fe-Phosphate; H_2SO_4 → Ca-Phosphate

Einfluss einer regelmäßigen Kalkung (3 x 15 dt CaO in 8 Jahren) auf pH-Wert und Nährstoffgehalte

U. Hege, LBP München, LW 14/6.4.1985

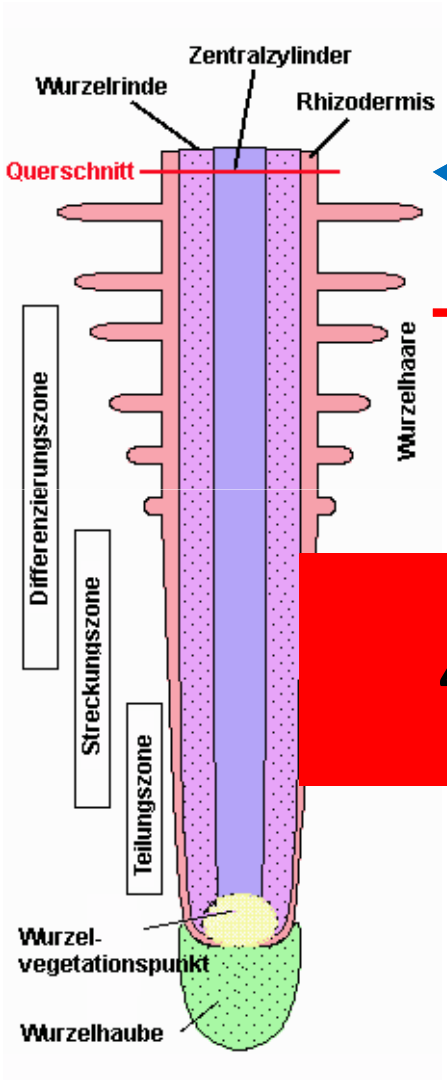


Die Mobilisierung von 10 mg P_2O_5/100 g Boden entspricht einer Phosphatmenge von 1.500 kg P_2O_5/ha:

Das Einsparungspotential beträgt zur Zeit ca. 2000.-- €/ha

Kosten für die Kalkung:	Branntkalk	550,-- €/ha
	Kohlens. Kalk	350,-- €/ha

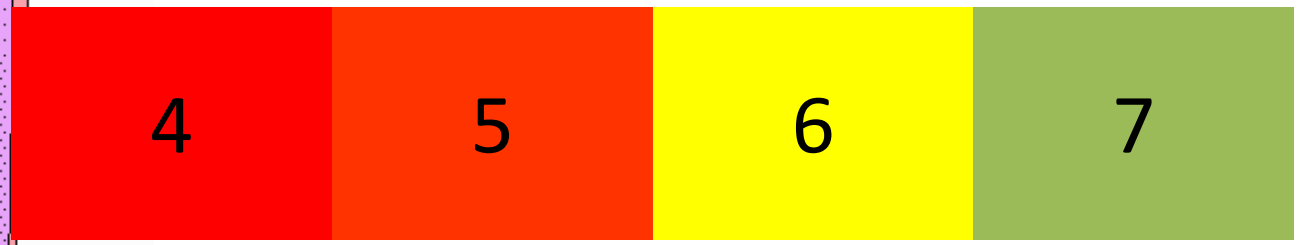
Nährstoffaufnahme, Protonenabgabe und Nährstoffmobilisierung



K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, **NH_4^+**

H^+, Versauerung und Mobilisierung von Phosphat und Spurennährstoffen

pH-Wert



0,5 mm 1,0 mm 2,0 mm

Entfernung von der Wurzel

Spurenelement Molybdän

Gehalte: Getreide 1 mg/kg TS

Kohl, Leguminosen bis 20 mg/kg TS

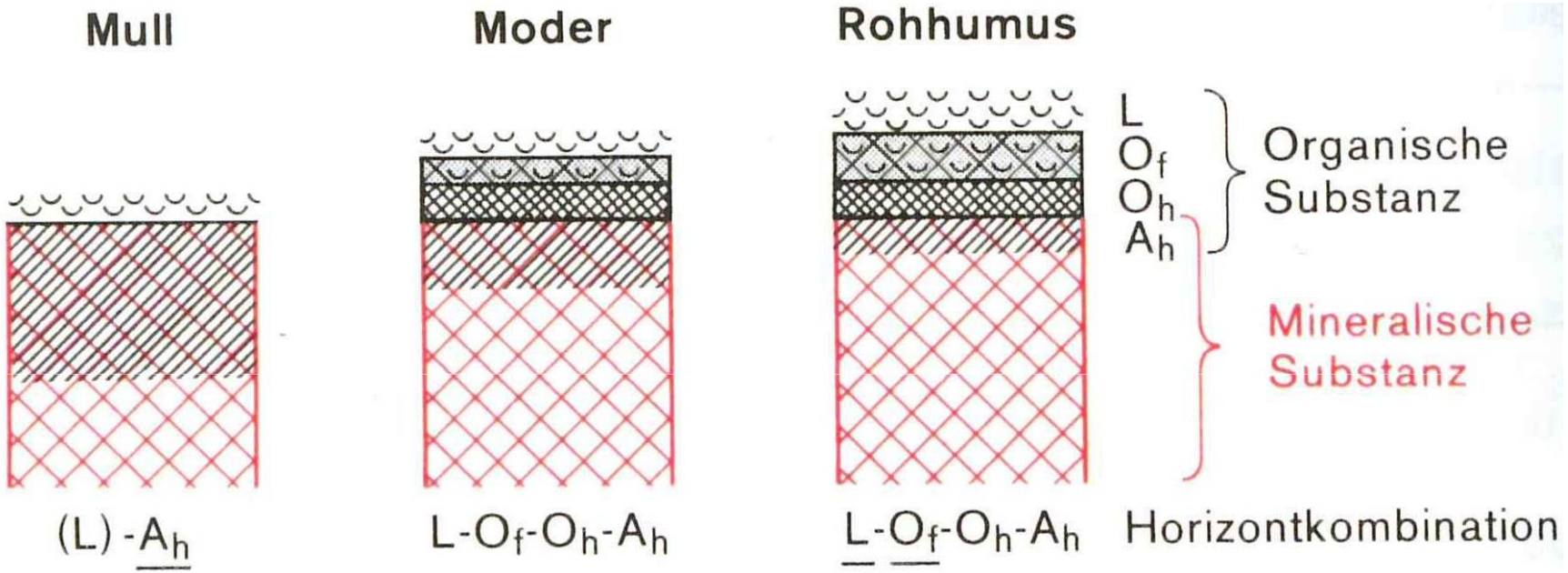
Bestandteil des Enzyms Nitrogenase, Schlüssel-enzym aller N_2-fixierenden Mikroorganismen

Mo/Fe-Protein Nitratreduktase, katalysiert die Nitratreduktion $NO_3 \rightarrow NO_2$

Bei Störung blaugrüne Blätter (NO_3 Überschuss)

Beste Verfügbarkeit bei pH 6,5 – 7,5

Humusformen



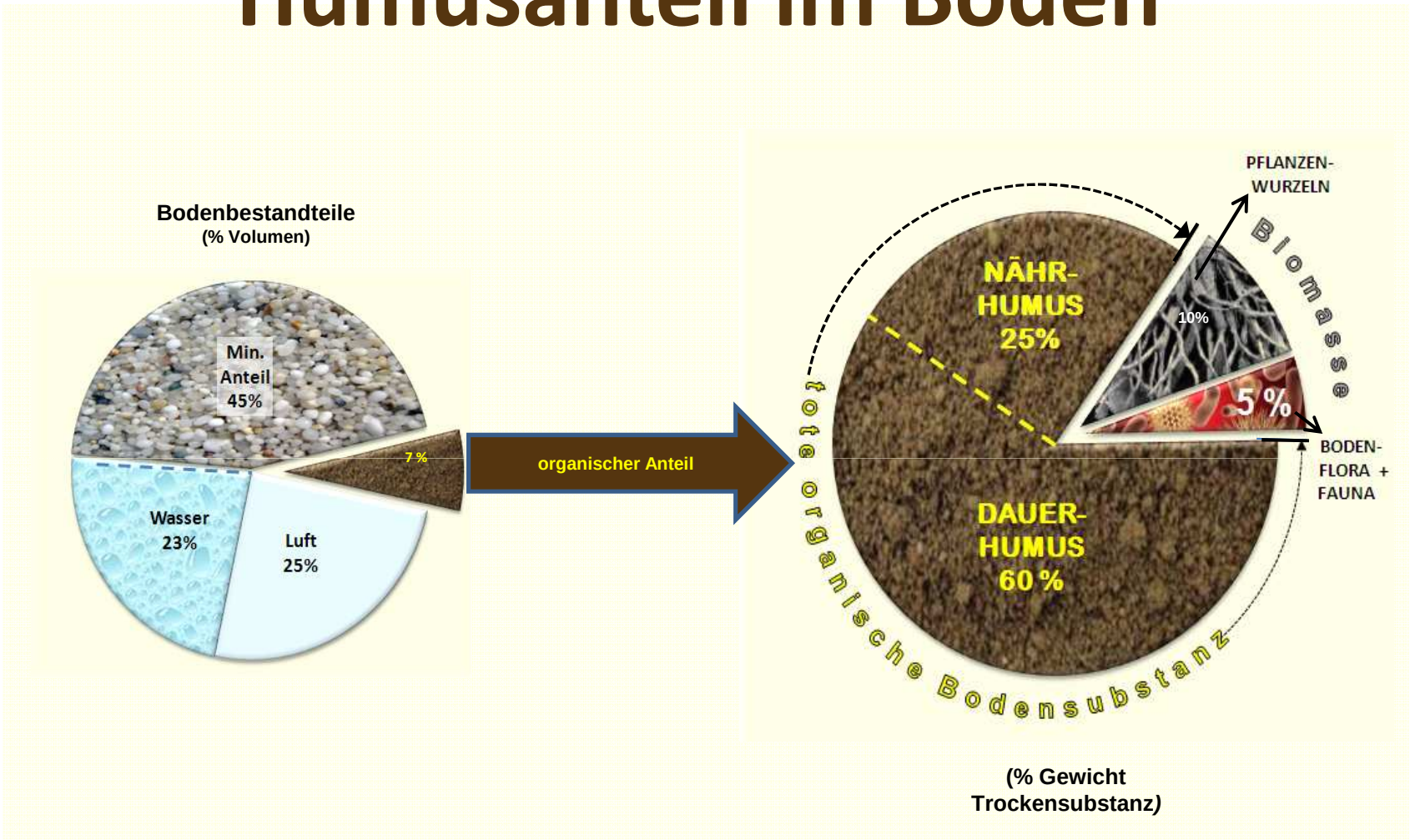
Mull	Moder	Rohhumus
C/N 10:1	C/N 20:1	C/N 30:1
pH 6,0 - 7,5	pH < 5	pH < 4

Ursachen für die Humusakkumulierung:
zu nass, zu trocken, zu kalt, zu sauer

Die wichtigsten Eigenschaften der Huminstoffe

Eigenschaften	**Fulvosäuren Hymatomelans.**	**Braunhuminsäuren Grauhuminsäuren**
Bildung	in sauren Böden	in basenreichen Böden
Säurecharakter	stark	schwach
Bindung an Tonminerale	gering	hoch (Ton-Humuskomplexe)
C- Gehalt in %	~ 45	bis >60
N-Gehalt in %	0,5 – 2 (4)	bis 8
Stabilität	gering	hoch
Wasserhaltevermögen	gering	hoch
Sorptionsvermögen(KAK)	gering	hoch
Bodentypen	Podsole saure Braunerden	kalkreiche Braunerden Schwarzerden

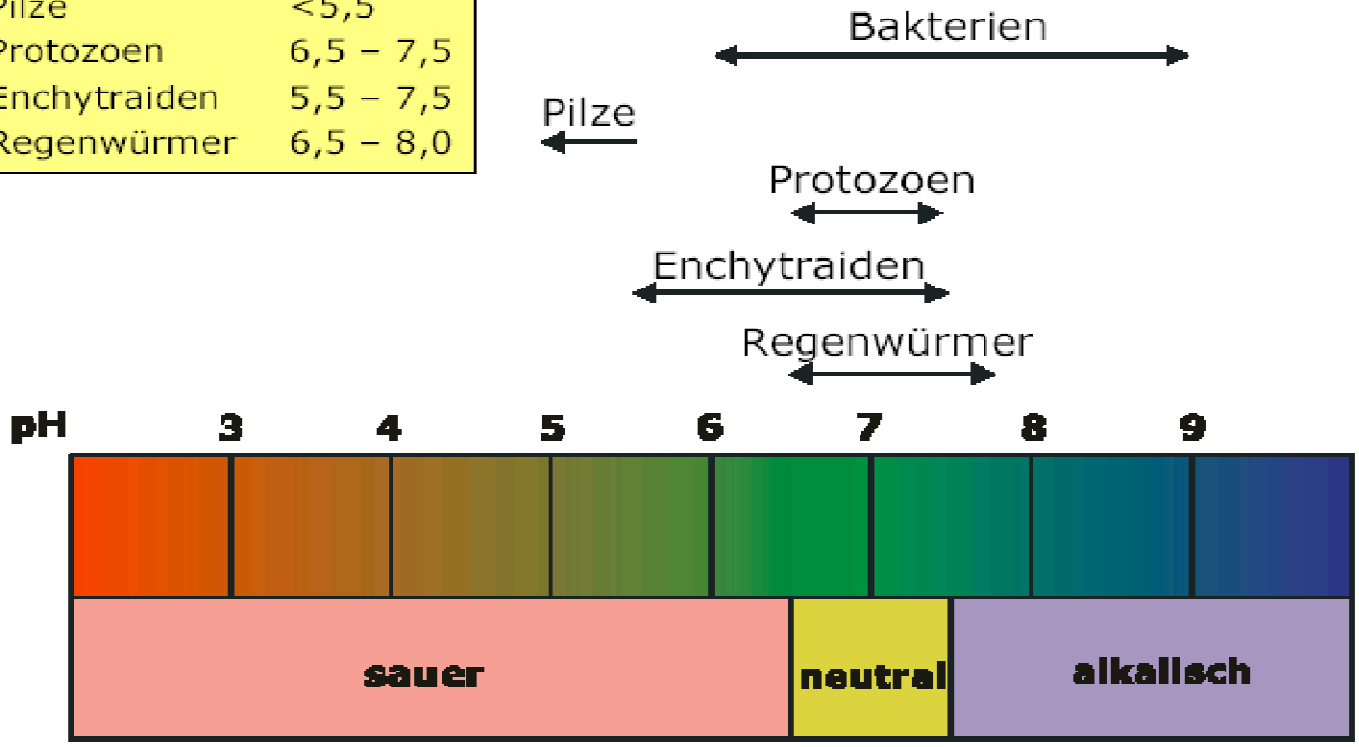
Humusanteil im Boden



Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Optimale pH-Bereiche für Bodenorganismen

Bakterien	6 – 9
Pilze	<5,5
Protozoen	6,5 – 7,5
Enchytraiden	5,5 – 7,5
Regenwürmer	6,5 – 8,0



(Stöven, 2002)

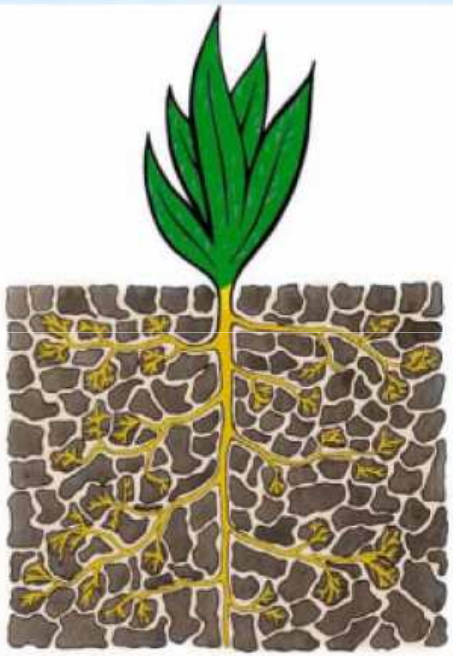
Grabgänge des
Lumbricus terrestris
(Tauwurm)

Agrarbetrieb und
Golfpark Kaschow

Bodenprofil nach
Bodenverbesserung mit
Kalk und Kompost

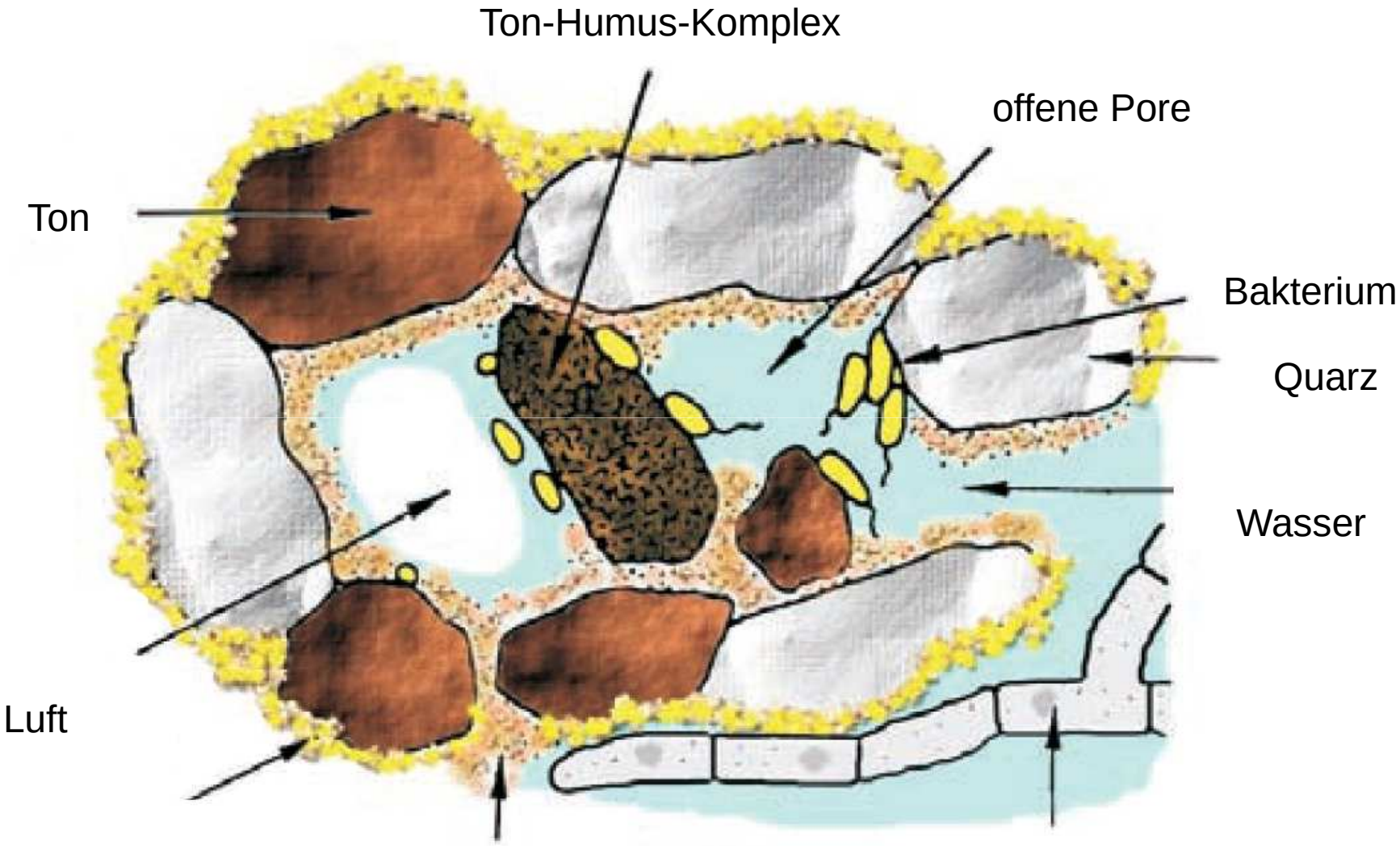
Krümelstruktur durch Ton-Humus-Komplexe

Bei schlechter Struktur ist die Nährstoffaufnahme auf wenige Bereiche beschränkt, so dass ein insgesamt höheres Nährstoffpotenzial vorhanden sein muß.

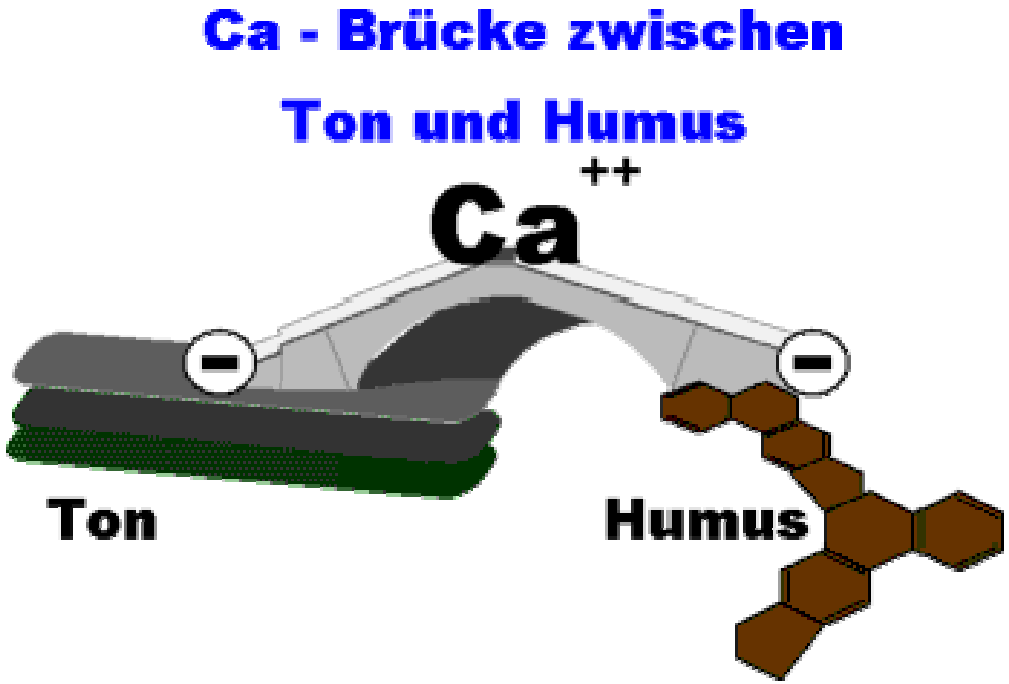


Eine gute Bodenstruktur ermöglicht eine optimale Durchwurzelung und damit eine gute Ausnutzung der gesamten Nährstoffe.

Aufbau stabiler Bodenkrümel



Ton-Humus-Komplex



Voraussetzungen für die Strukturbildung

nach Sekera (Originaltext)

1. Die Primäraggregate müssen wasserbeständig vorgebildet sein, kolloidale mikroskopisch und submikroskopisch kleine Einzelteilchen können von den Mikroorganismen nicht zusammengehalten werden. Je größer und sperriger die Aggregate sind, umso leichter werden sie verbaut. Liegen die Bodenkolloide in peptisierter und beweglicher Form vor, so muss durch eine **Kalk- bzw. Gipsdüngung** der Kalkzustand in Ordnung gebracht und eine **Kolloidausflockung** herbeigeführt werden. Eine Auflösung der Bodenkolloide führt zum Gefügeschwund, d. h. zur Auflösung der Aggregate oder zur Verquellung und Verkittung der Poren, wodurch das Organismenleben gehemmt wird.

Anzustrebendes Bodengefüge

Bodenoberfläche
- Mulchauflage
- offene Bioporen

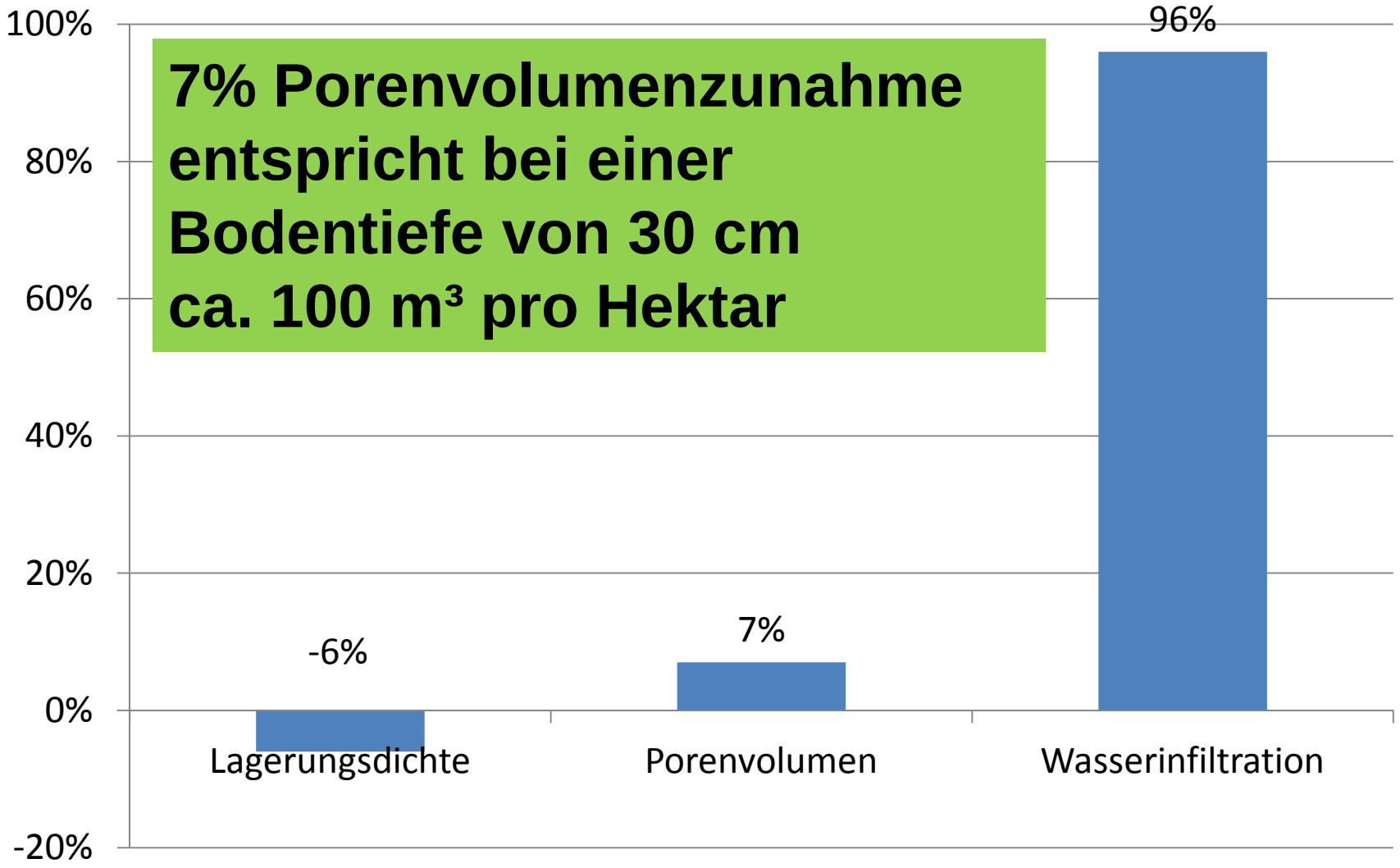
Oberkrume
- gut aggregiert, locker
- viele tiefreichende Bioporen

Unterkrume
- Aggregate +/- scharfkantig
- etwas kompakt, daher tragfähig
- ausreichende biog. Perforierung
- unauffällige Wurzelverteilung

Krumennaher Unterboden
- etwas kompakt, tragfähig
- ausreichende biog. Perforierung
- unauffällige Wurzelverteilung

Unterboden
- unverdichtet, viele Bioporen

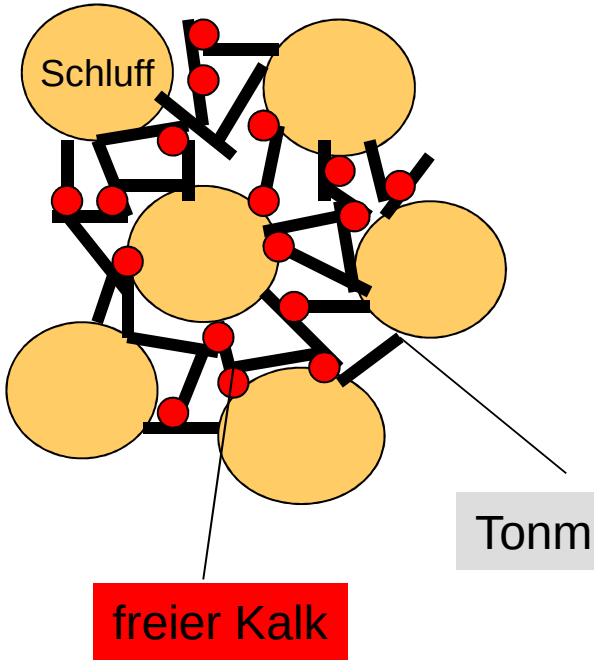
Plattengefüge in einem stark verdichteten Schluffboden



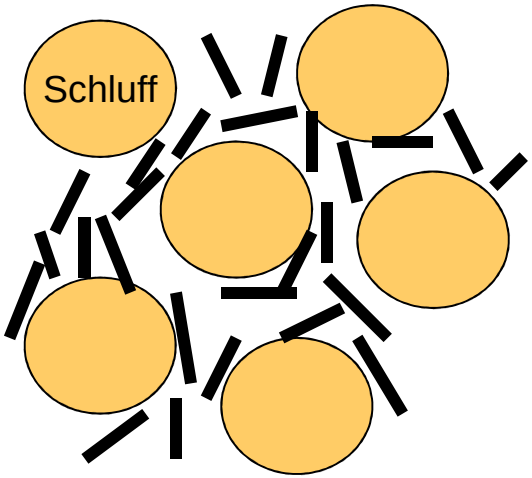
Veränderung wichtiger bodenphysikalischer Kennwerte nach 15 Jahren Kalkanwendung (1978 – 1993). Aufkalkung von pH 5,5 auf pH 6,6 (Quelle: Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Gutser TU München)

Ton-Schluff-Trennung führt zur Verschlämmung

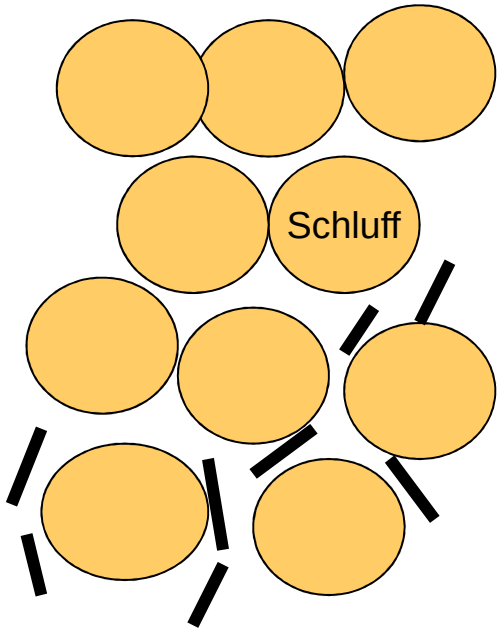
pH 7 + freier Kalk
Kartenhausstruktur
der Tonminerale und
Tonhumuskomplexe



pH 5,0 – 6,5
plattige Struktur
der Tonminerale



pH 5,0 – 6,5
Schluffkruste
Ton ausgewaschen

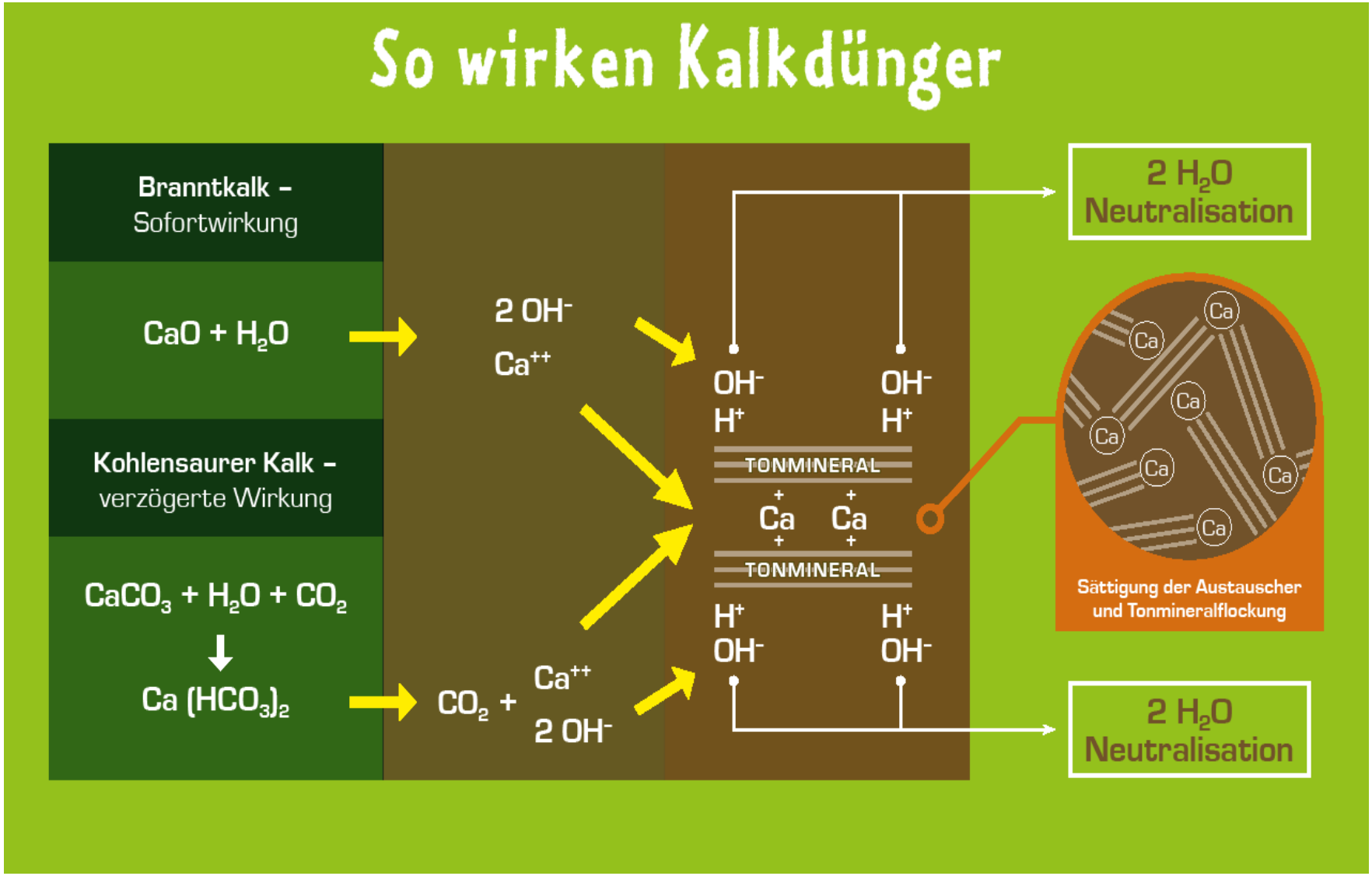


Starkregen Mai 2013

links:
pH 6,5 bis pH 7

rechts:
pH 6,0 bis pH 6,5

Bodenerosion im Mais


So wirken Kalkdünger
Branntkalk –
Sofortwirkung
CaO + H2O
Kohlensaurer Kalk –
verzögerte Wirkung
CaCO3 + H2O + CO2
Ca (HCO3)2
2 OH-
Ca++
CO2 +
Ca++
2 OH-
OH-
H+
OH-
H+
TONMINERAL
Ca
Ca
TONMINERAL
H+
OH-
H+
OH-
2 H2O
Neutralisation
2 H2O
Neutralisation
Ca
Sättigung der Austauscher
und Tonmineralflockung

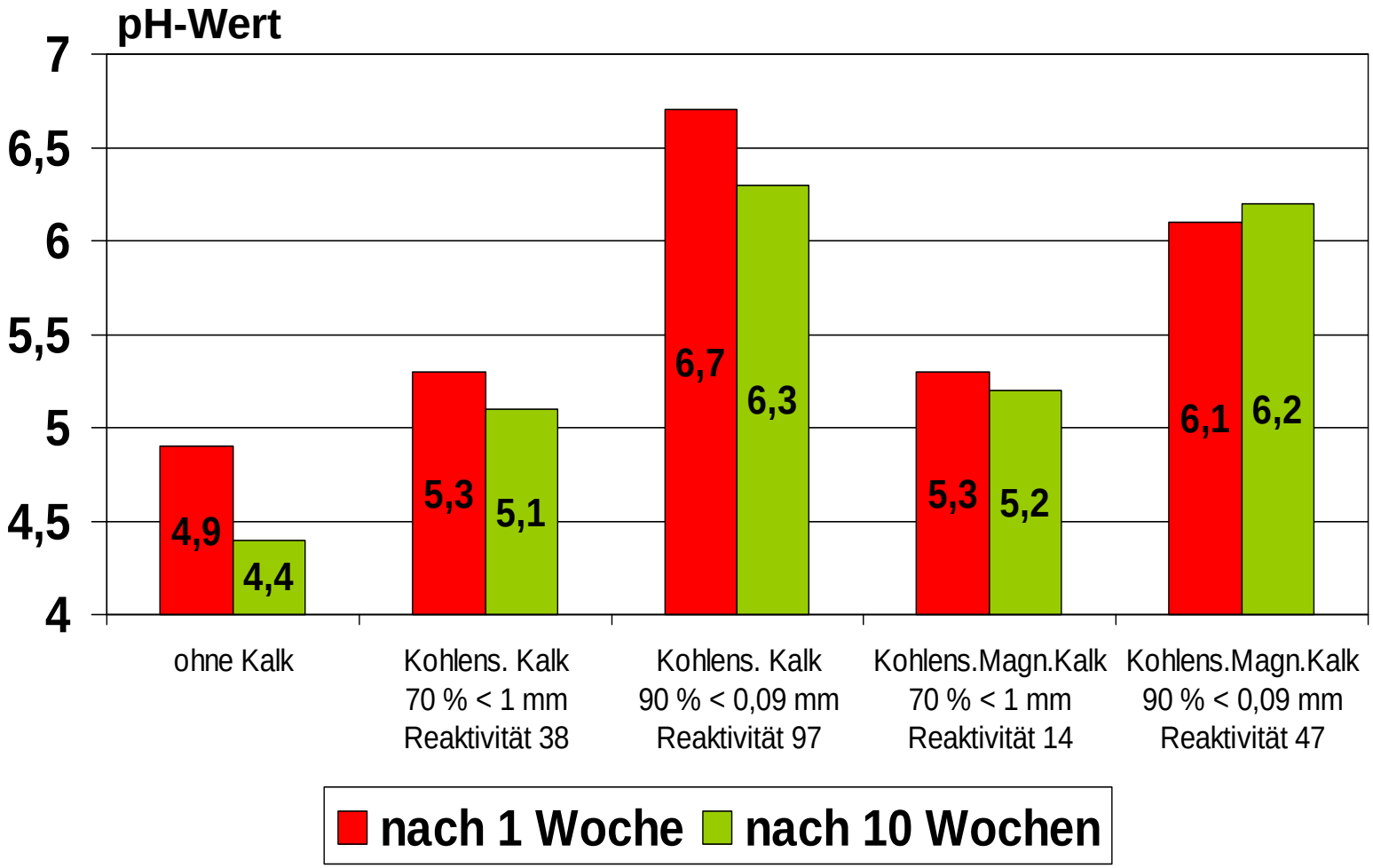
Welche Kalke liefern Ca^{++}-Ionen?

Branntkalk und Mischkalk sofort

Kohlensaure Kalke verzögert je nach Mahlfeinheit und Reaktivität (Prädikat leicht umsetzbar!) (Mahlfeinheitsstufe 1)

Basische Wirksamkeit verschiedener Kalkdünger im Gefäßversuch

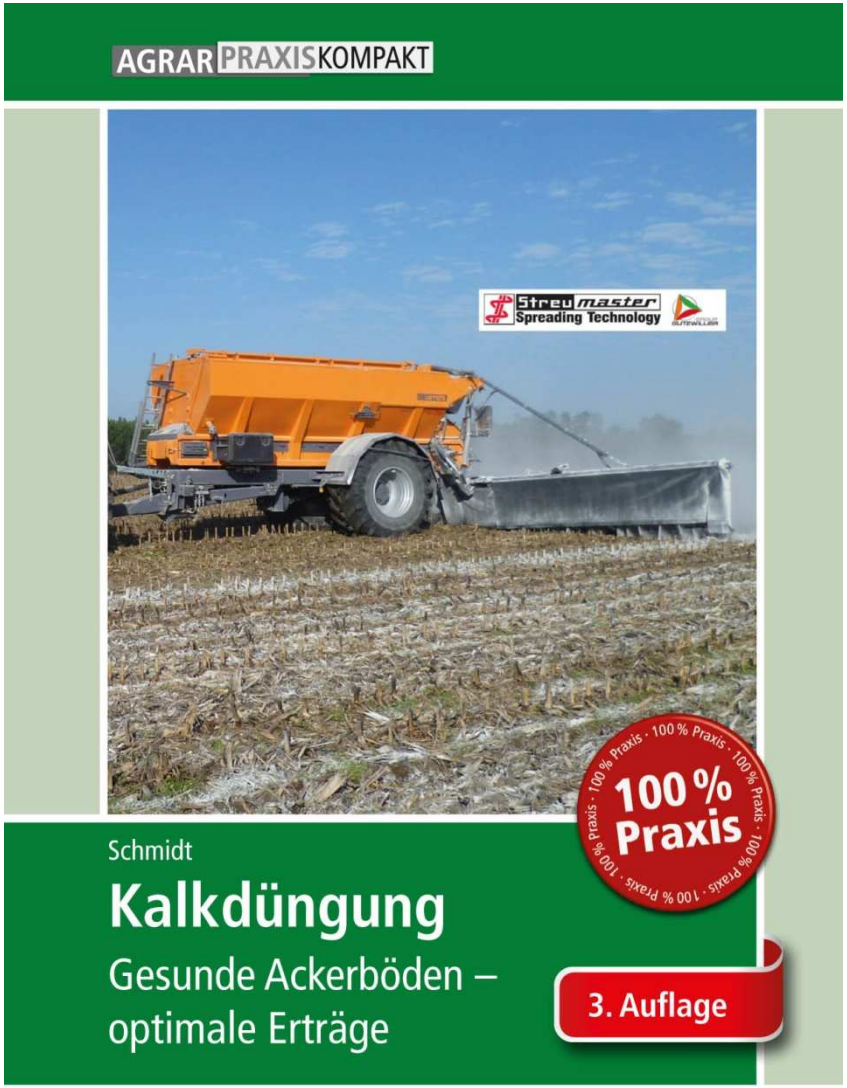
nach GUTSER



Kalkstreuer mit 12m Streuschnecke

BigBag – die optimale Verpackung für Branntkalk körnig

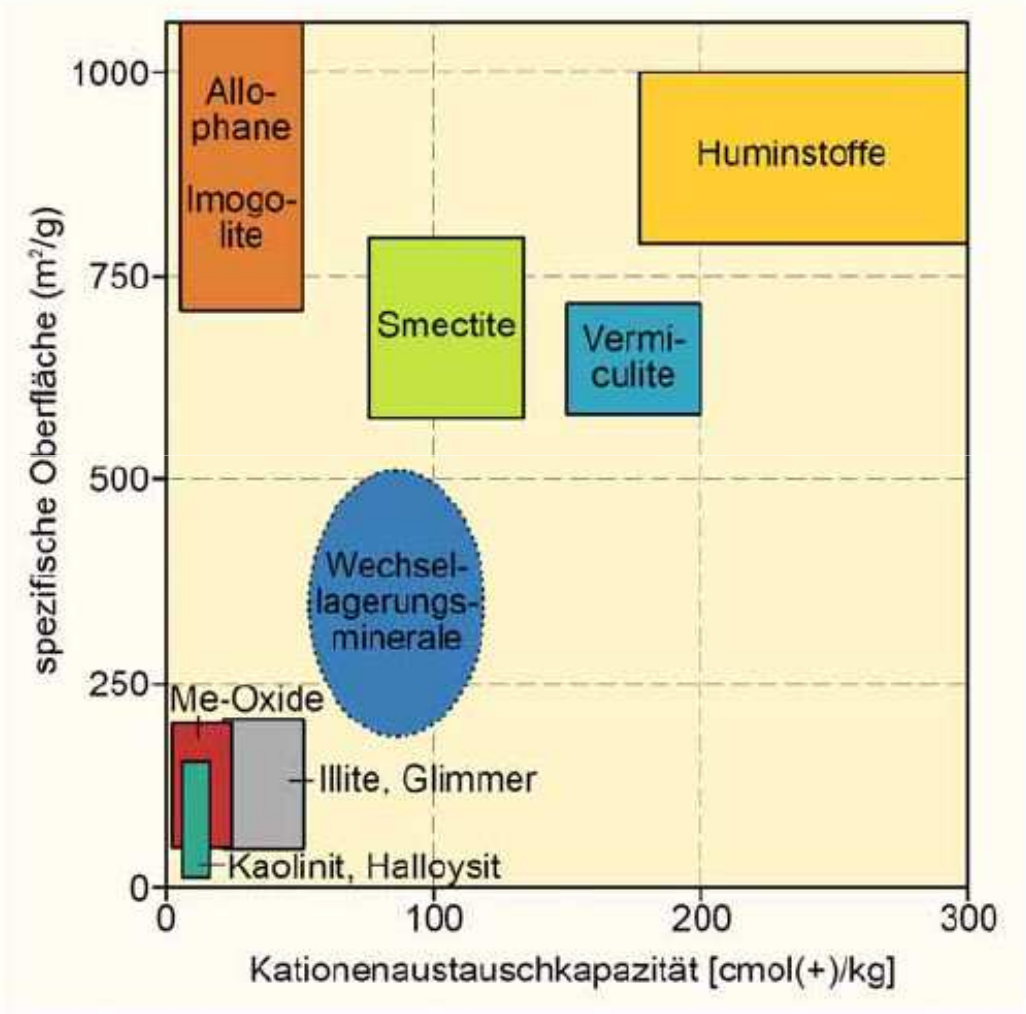
Kopfkalkung mit Feuchtkalk


AGRAR PRAXIS KOMPAKT
Streu master
Spreading Technology
100 % Praxis
Schmidt
Kalkdüngung
Gesunde Ackerböden –
optimale Erträge
3. Auflage
DLG
VERLAG

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und viel Glück in Haus und Hof

Max Schmidt, Mobiltel. 0176/94445690
schmidt@boden-max.de
www.boden-max.de

Beziehung zwischen spezifischer Oberfläche und KAK_{pot} von wichtigen Vertretern des Sorptionskomplexes (Hintermaier,1997)



Maßnahmen zur Förderung der Regenwurmaktivität

- Optimale Kalkversorgung
- Reduzierte Bodenbearbeitung nach dem Grundsatz: nur so tief wie nötig, so selten wir möglich!
- Reiches Nahrungsangebot auf der Bodenoberfläche
- günstig in der Fruchtfolge: Kleegras oder Raps
- Ungünstig: Mais und Kartoffeln

Voraussetzungen für die Strukturbildung

2. Die Versorgung der Bodenorganismen mit organischer Nahrung muss ausreichend sein. Dies geschieht durch die im Boden erzeugte Wurzelmasse, durch die oberirdischen Pflanzenrückstände und die organische Düngung. Unzureichende Ernährung der Bodenorganismen hat eine mangelhafte Lebendverbauung und einen Gareschwund zur Folge.

3. Das Bodenklima muss ausgeglichen sein. Es muss getrachtet werden, dem Boden immer eine Bedeckung in Form einer Pflanzendecke oder einer Streuschicht zu geben. Damit wird die Lebendverbauung der Krume vor Regenschlag, Austrocknung und Verwehung geschützt.

Strukturverfall der Ackerkrume

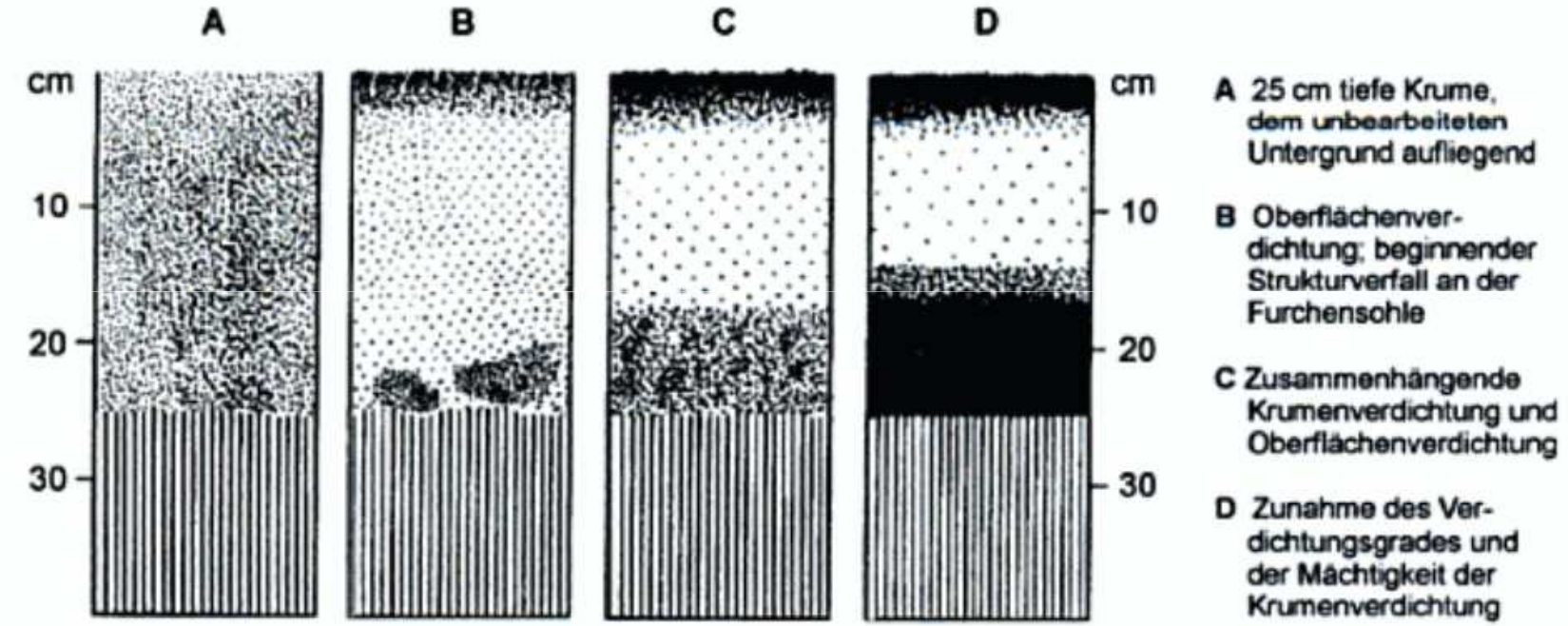
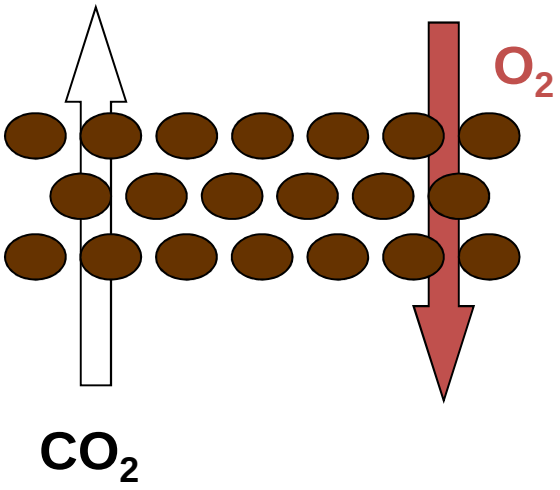


Abb. 9.1: Strukturverfall der Ackerkrume. Nach SEKERA 1951.

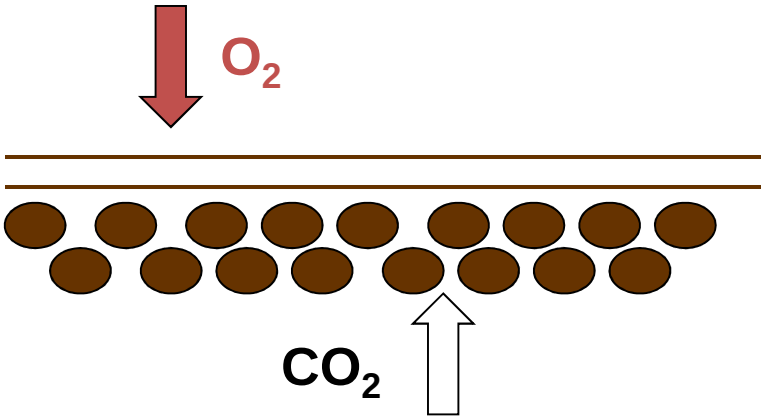
Sauerstoff und Wurzelwachstum

lockerer Boden



In krümeligen Böden ist der Gasaustausch gewährleistet.

verschlämmter Boden



In verschlämmten Böden ist der Gasaustausch behindert und das Wurzelwachstum beeinträchtigt.

Änderung der Porengrößenverteilung durch eine Meliorationskalkung

nach Dr. Schuhbauer (in +/- %)

Durchschnitt aus 4 Standorten und 132 Messreihen

	weite Grobporen	enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Porengröße	**> 0,05 mm**	**0,05 – 0,01 mm**	**0,01 – 0,0002mm**	**< 0,0002 mm**
verantwortlich für:	**Wasserversickerung Gasaustausch**	**Wasserversickerung Wasserspeicherung (Wasser leicht verfügbar) Gasaustausch**	**Wasserspeicherung (Wasser schwer verfügbar)**	**Totwasser (für Pflanzen nicht verfügbar)**
Lebensraum für:	**Wurzeln Makroorganismen**	**Wurzelhaare Pilze Bakterien**		
Oberboden	**+ 57 %**	**+ 21 %**	**- 5 %**	**- 1 %**
Pflugsohle	**+ 13 %**	**+ 53 %**	**- 5 %**	**- 2 %**
Unterboden	**+ 2 %**	**+ 9 %**	**- 2 %**	**- 4 %**

Eine gute Kalkversorgung schützt besonders Lößböden vor Verschlämmung und der Erosionswirkung des Wassers

(nach Dr. Schuhbauer)

pH-Wert	freier Kalk	Gefügestabilität (gewogener mittlerer Durchmesser) %	Wasserdurchläs-sigkeit der Ackerkrume %
6,3	-	100	100
7,0	+	147	263

pH-Wert Veränderungen im Oberboden

Kalkdüngungsversuch Freising/Dürnast (Gutser, 1993)

Bodenart: Lößlehm, Fruchtart: Rüben

Untersuchungsjahr	**1987**		**1990**			**1993**		
Kalkversorgung	niedrig	mittel	niedrig	mittel	hoch *)	niedrig	mittel	hoch *)
pH-Wert vor der Saat Probentiefe 0 – 25 cm	**5,5**	**6,3**	**5,5**	**6,3**	**6,9**	**5,5**	**6,3**	**6,9**
Differenzierte pH-Wert Messung im Juli Tiefe 0 – 4 cm	**4,6**	**5,7**	**5,1**	**5,9**	**6,9**	**4,7**	**6,1**	**6,9**

*) zusätzlich 1.000 kg Branntkalk pro Hektar vor der Saat

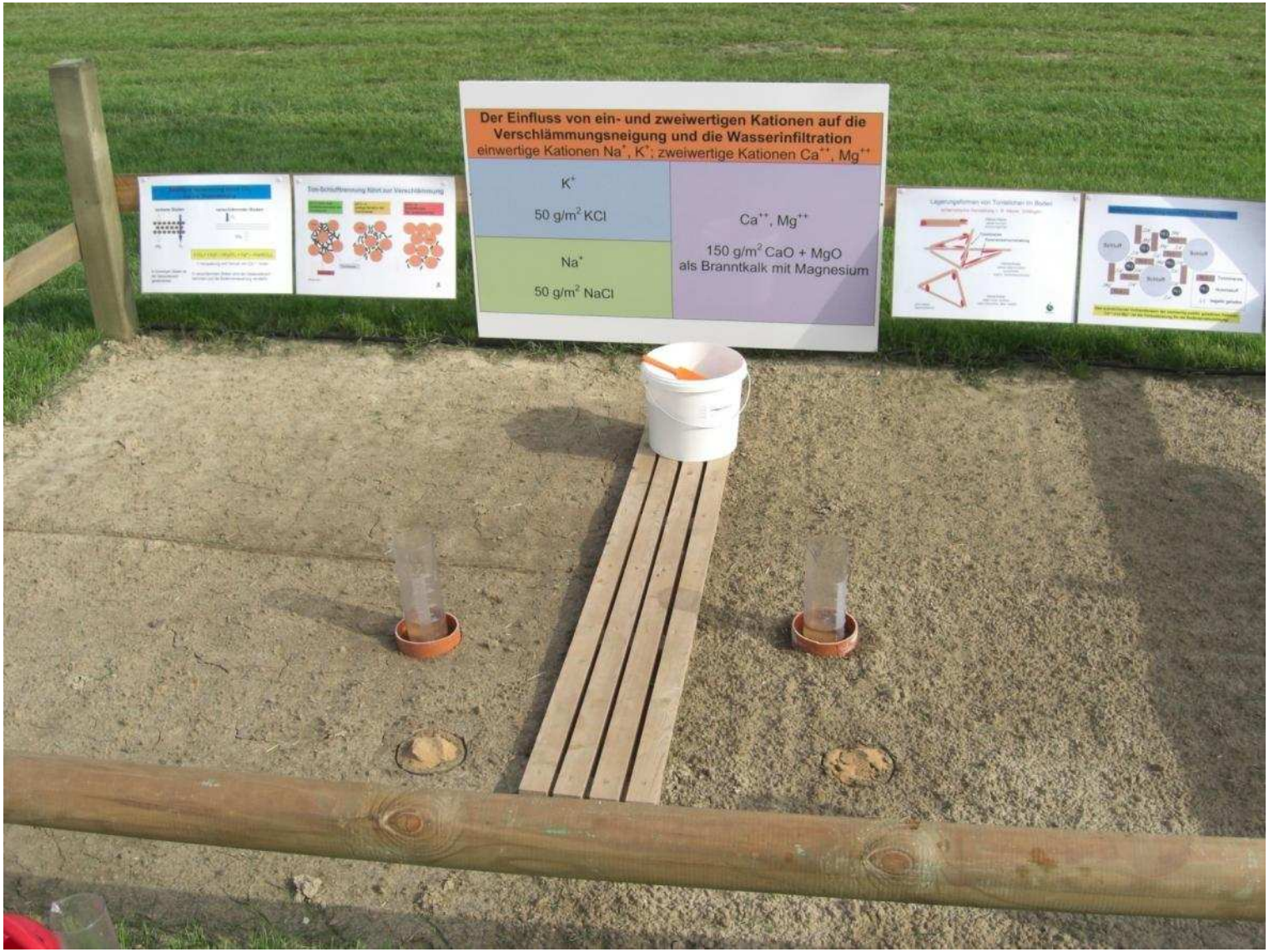
Ideale Kationenverhältnisse am Austauscher
nach Dr. G. Schmid

Calcium, **80%**; Magnesium, **10 – 15%;** Kalium, **3%**; Natrium, **1%**

Ca : Mg Verhältnis	5 – 8 : 1
Ca : K Verhältnis	25 – 30 : 1
Mg: K Verhältnis	3 – 5 : 1

Kationenverhältnisse verschiedener Böden Bayerns

Kationenver-hältnis	Idealboden	Löss-, Kalk-verwitterungs-, dilluviale Böden	Pelosole des Trias und Jura in Franken	Urgesteins-verwitterungs-böden
Ca : Mg	6 – 8 : 1	5 – 20 : 1	1 – 4 : 1	9- 50 : 1
Ca : K	25 – 30 : 1	20 – 3 : 1	10 – 4 : 1	20 – 4 : 1
Mg : K	3 – 5 : 1	2 – 0,5: 1	3 – 1 : 1	4 – 0,5 : 1



DLG Feldtage Bockerode 2010

Eine Gefährdung für Versauerung und negative Veränderung der Kationen-belegung ist gegeben bei:

- kalk- und tonarmen Standorten
- flacher (keiner) Bodenbearbeitung
- Biogasbetrieben
- intensive Rinderhaltung

Was kann man in jedem Fall tun?

- Kalkversorgung verbessern
- Vorrat an zweiwertigen Kationen aufbauen
- Kalke verwenden, die zweiwertige Kationen (Ca^{++}) liefern

Das Porensystem des Bodens:

- Feinporen (< 0,2 µm)
- Mittelporen (0,2 – 10 µm)
- enge (langsam dränende) Grobporen (10 – 50 µm)
- weite (schnell dränende) Grobporen (> 50 µm)

Totwasser

nFK

Luftkapazität

- Kontinuität der Poren

wichtig für Luftdurchlässigkeit und Wasserleitfähigkeit