
Grundlagen der Kalkdüngung – Ein Zusammenspiel vielfältiger Wirkungsparameter

Thomas Ebertseder

**Fachhochschule Weihenstephan
Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft**

**Vortragstagung der Düngekalk-Hauptgemeinschaft
19./20. Februar 2008, Fulda**



Wirkung einer Kalkung auf den Boden



pH-Wert

Basensättigung

KAK

Al-Mobilität

Schwermetallmobilität

Nährstoffverfügbarkeit
(Ca, Mg, P, Spuren ...)

Bodenchemie

Aggregatstabilität

Gefüge

Wasser-Luft-Haushalt

Bodenphysik

Biologische Aktivität

Mineralisation

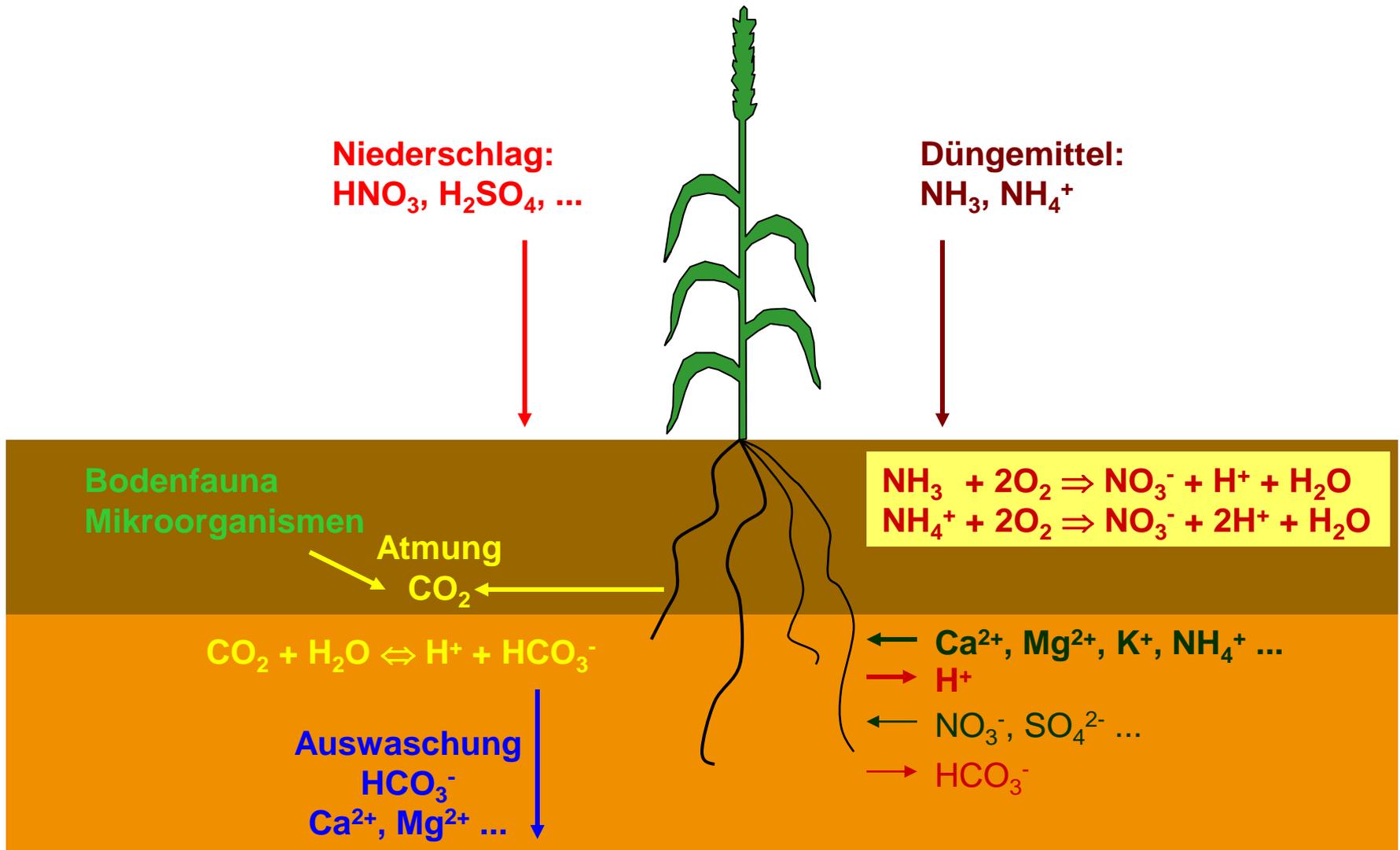
Nitrifikation

Denitrifikation

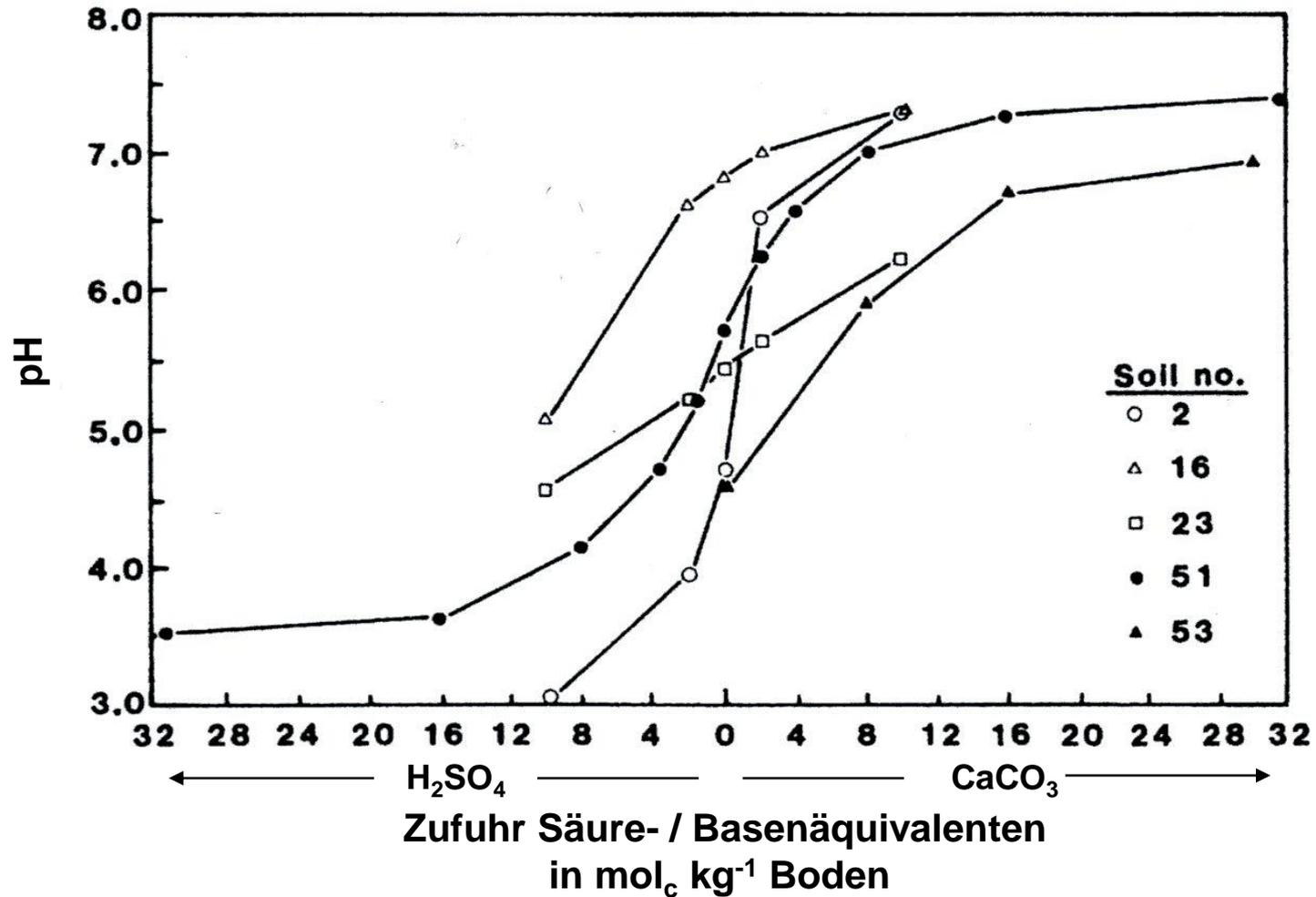
Bodenbiologie



Ursachen der Versauerung landwirtschaftlich genutzter Böden



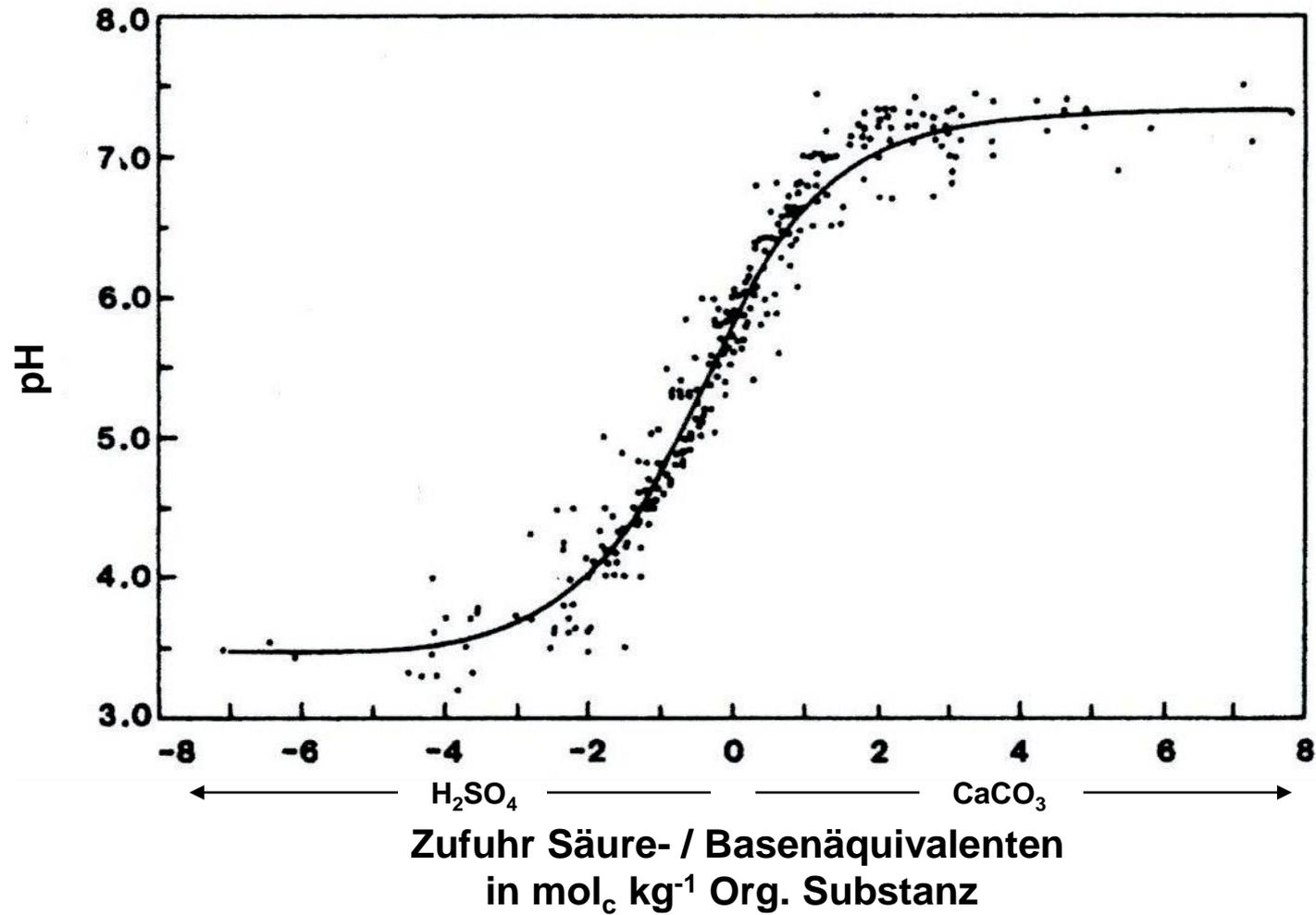
Pufferung in Böden



(Magdoff and Bartlett, 1985)



Pufferung in Böden



(Magdoff and Bartlett, 1985)



Puffersysteme im Boden

Puffer-substanzen	Beispielsreaktionen	Haupt-pH-Bereich der Pufferung	Bodenchemische Veränderungen
Erdalkali-Carbonate			
Carbonat	$\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$	8 ... 6,5	Verlust an CaCO_3 als $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Hydrogencarbonat	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	7 ... 4,5	
Austauscher mit variabler Ladung			
Tonminerale	$\text{TM-OH}[\text{M} + \text{H}^+ \rightarrow \text{TM-OH}_2] + \text{M}^+$	8 ... < 5	Verlust austauschb. Kationen
Huminstoffe	$\text{R-COO}^-\text{M}^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{R-COOH} + \text{M}^+$	6 ... < 3	
Tonminerale und Oxide	$\text{TM-OH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{TM-OH}_2^+$ $\text{Fe-OH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe-OH}_2^+$	6 ... 3 < 7	Protonierung variabler Ladung, Erhöhung der P-Sorption
Huminstoffe	$\text{R-NH}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{R-NH}_3^+$	> 7 ... 4	

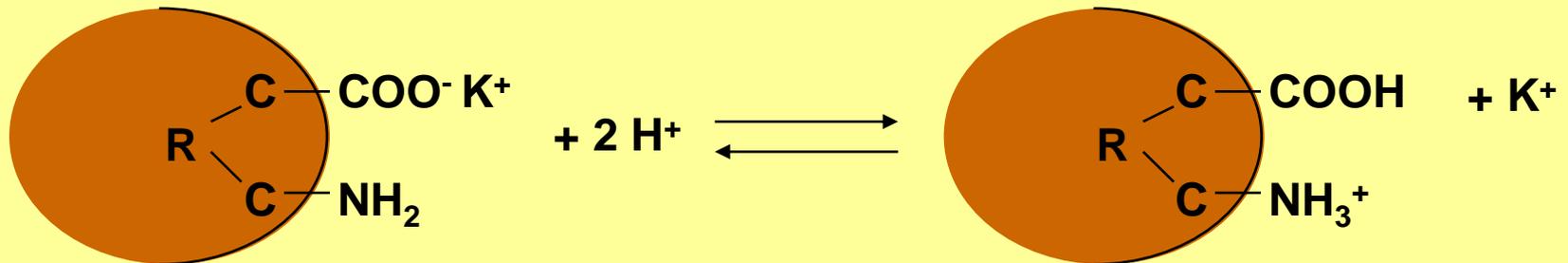
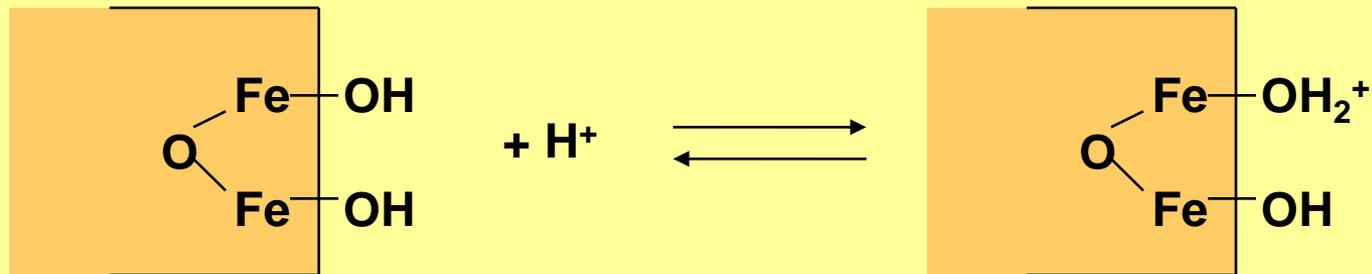
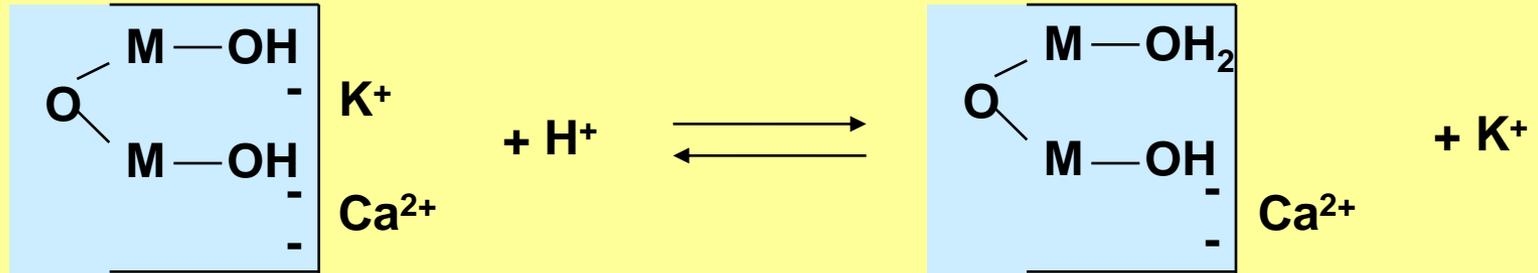
$\text{M}^+ = \frac{1}{2} \text{Ca}, \frac{1}{2} \text{Mg}, \text{K}, \text{Na}$

(nach Schwertmann et al., 1987, Ulrich, 1981)

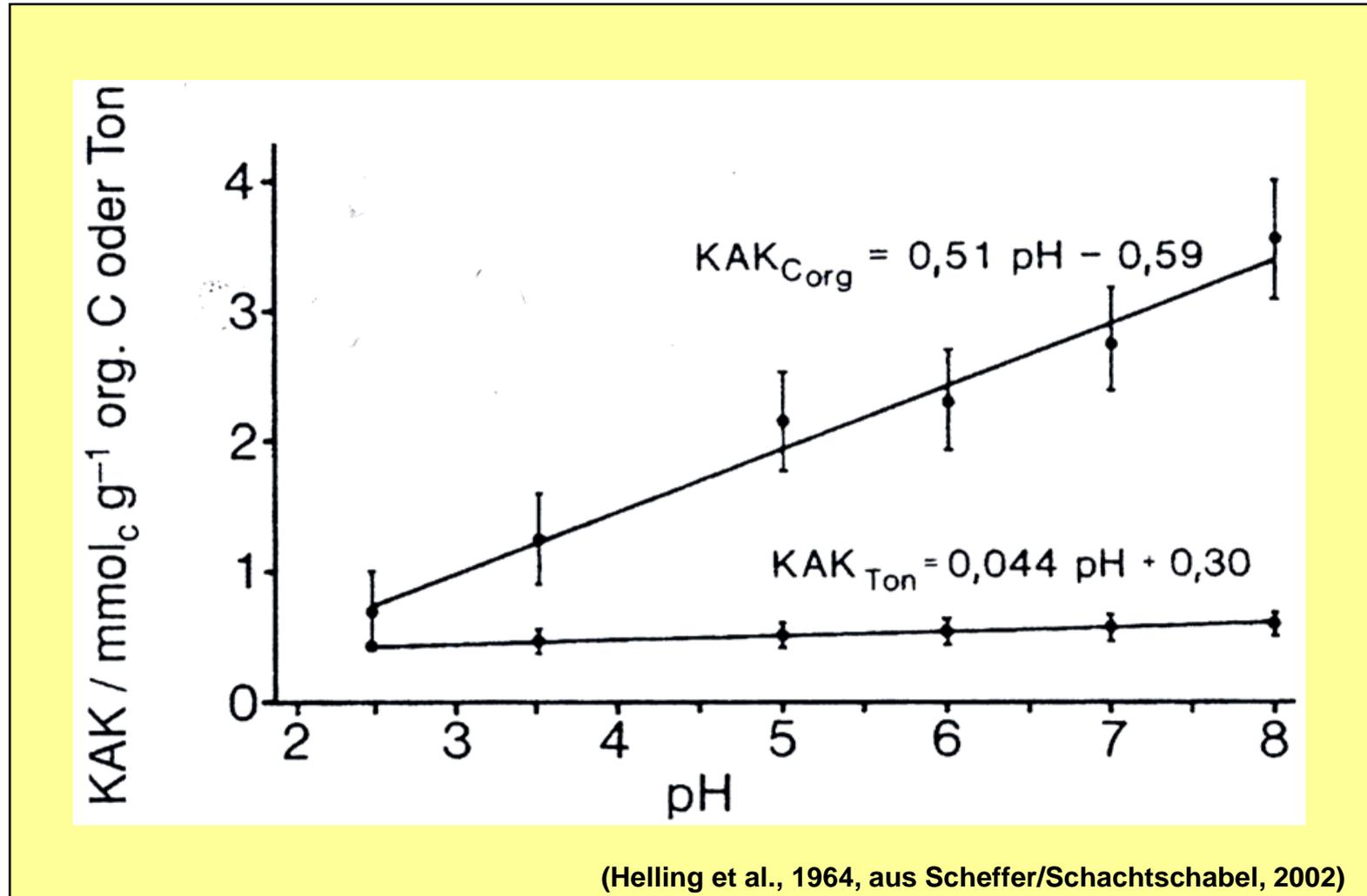


Puffersysteme im Boden

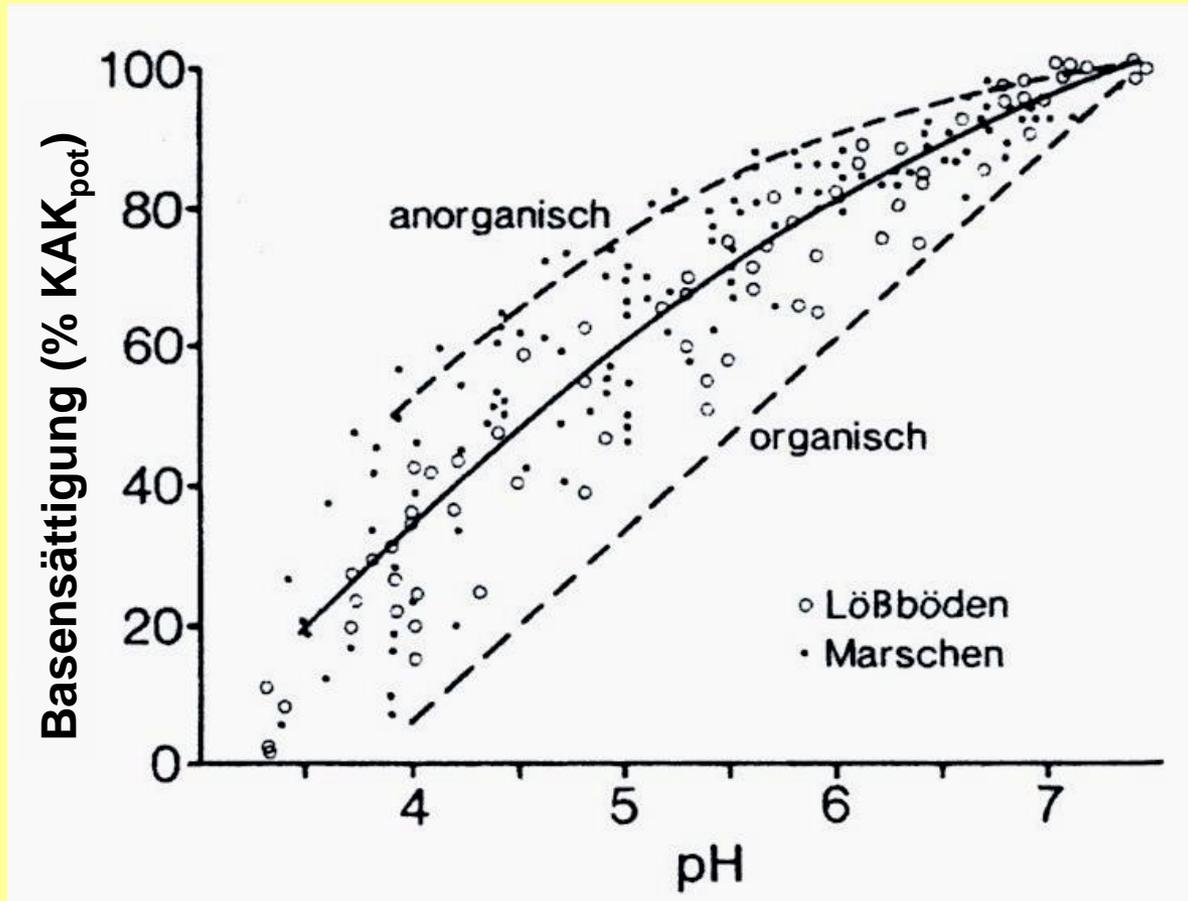
Austauscher mit variabler Ladung – Beispiele –



Einfluss des pH-Wertes auf die Kationenaustausch-Kapazität von Ton und organischer Substanz in Böden



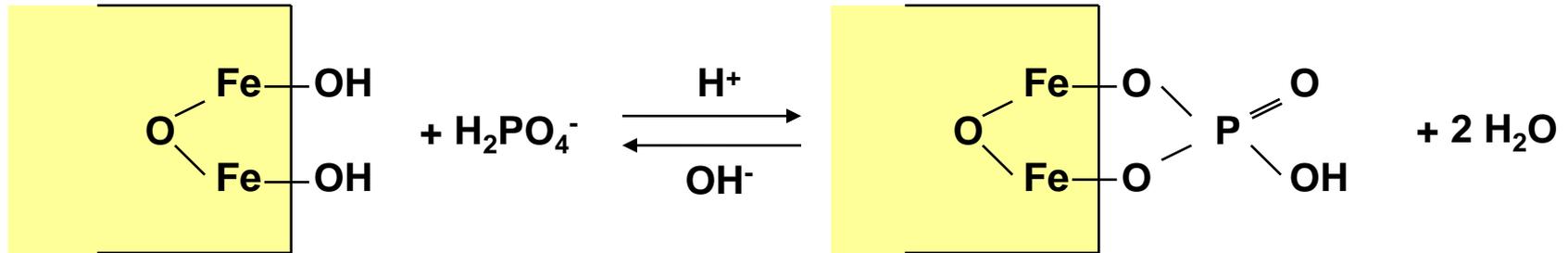
Einfluss des pH-Wertes auf die potentielle Basensättigung von Lössböden und Marschen



(Renger, 1964, aus Scheffer/Schachtschabel, 2002)

Phosphat-Sorption im Boden

Spezifische Sorption an Fe-Oxiden, Al-Oxiden, Tonmineralen



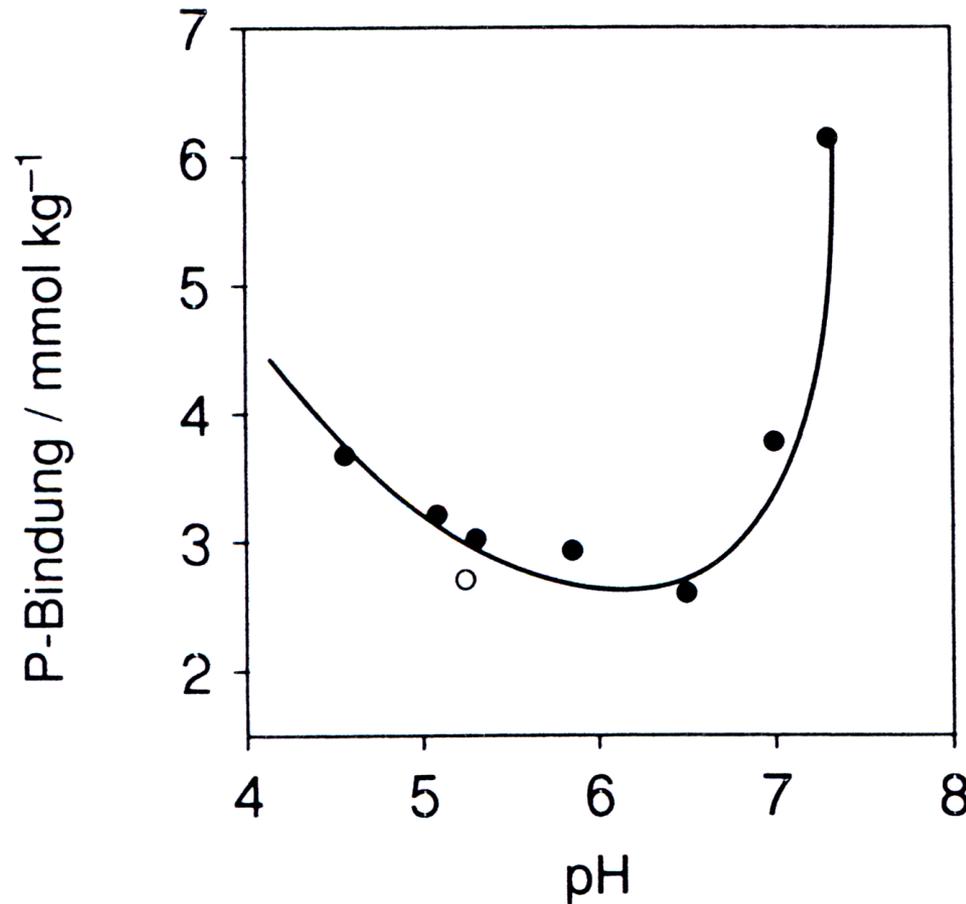
Fe-Oxide
Al-Oxide
Tonminerale

Relative P-Sorption	Minerale
hoch	amorphe Al-Oxide Ferrihydrit, Allophan
hoch – mittel	Goethit, Hämatit Al und Fe an Huminstoffen
mittel	Imogilit
niedrig	Gibbsit, Calcit, Schichtsilikate

(Parfitt, 1978)



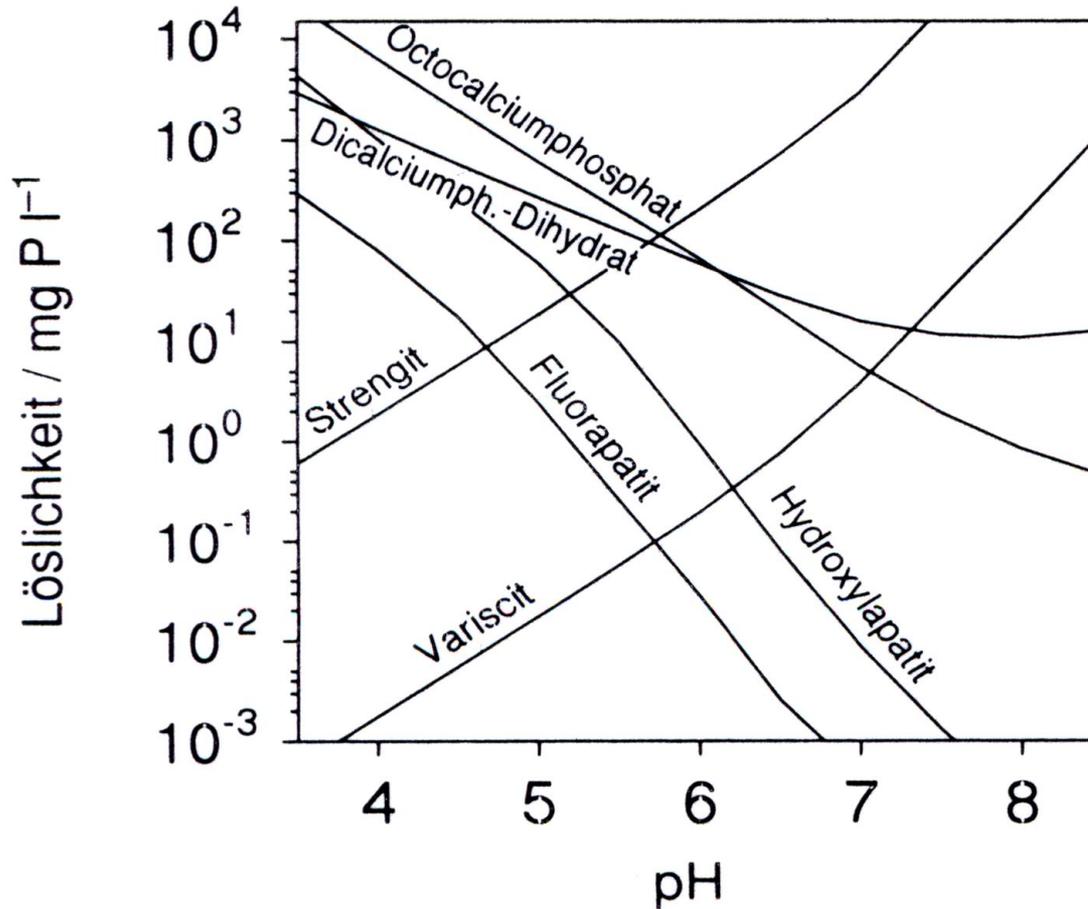
Einfluss des pH-Werts auf die Phosphat-Bindung in einem Lössboden



(nach Schwertmann und Amann,
aus Scheffer/Schachtschabel, 2002)



Löslichkeit anorganischer Phosphate im Boden



(Scheffer/Schachtschabel, 2002)



Puffersysteme im Boden

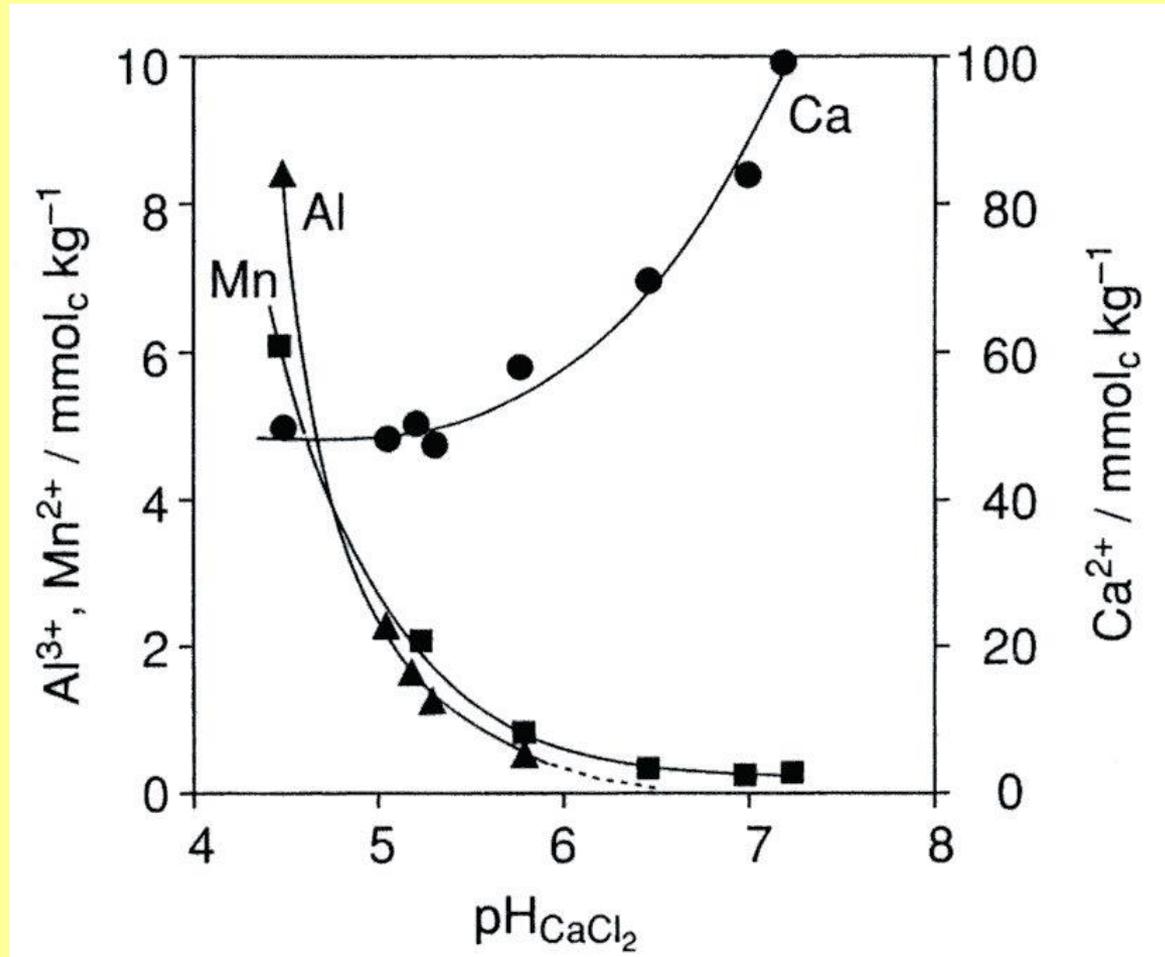
Puffer- substanzen	Beispielsreaktionen	Haupt-pH- Bereich der Pufferung	Bodenchemische Veränderungen
Silicate			
primäre Silicate	$-(\text{SiO})\text{M} + \text{H}^+ \rightarrow -(\text{SiOH}) + \text{M}^+$	< 7	Freisetzung von Alkali- und Erdalkalitionen, Tonmineralbildung
Tonminerale			
ohne perman. Ladung	$-(\text{SiO})_3\text{Al} + 3 \text{H}^+ \rightarrow -(\text{SiOH})_3 + \text{Al}^{3+}$	< 5	Tonzerstörung, austauschb. Al, Al in Bodenlösung
mit perman. Ladung	$-\text{AlO}_2^-]\text{M} + 4 \text{H}^+ \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{M}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$	< 5	Verlust an KAK und austauschb. Kationen durch Al^{3+} -Eintausch, Tonmineral- zerstörung

$\text{M}^+ = \frac{1}{2} \text{Ca}, \frac{1}{2} \text{Mg}, \text{K}, \text{Na}$

(nach Schwertmann et al., 1987, Ulrich, 1981)



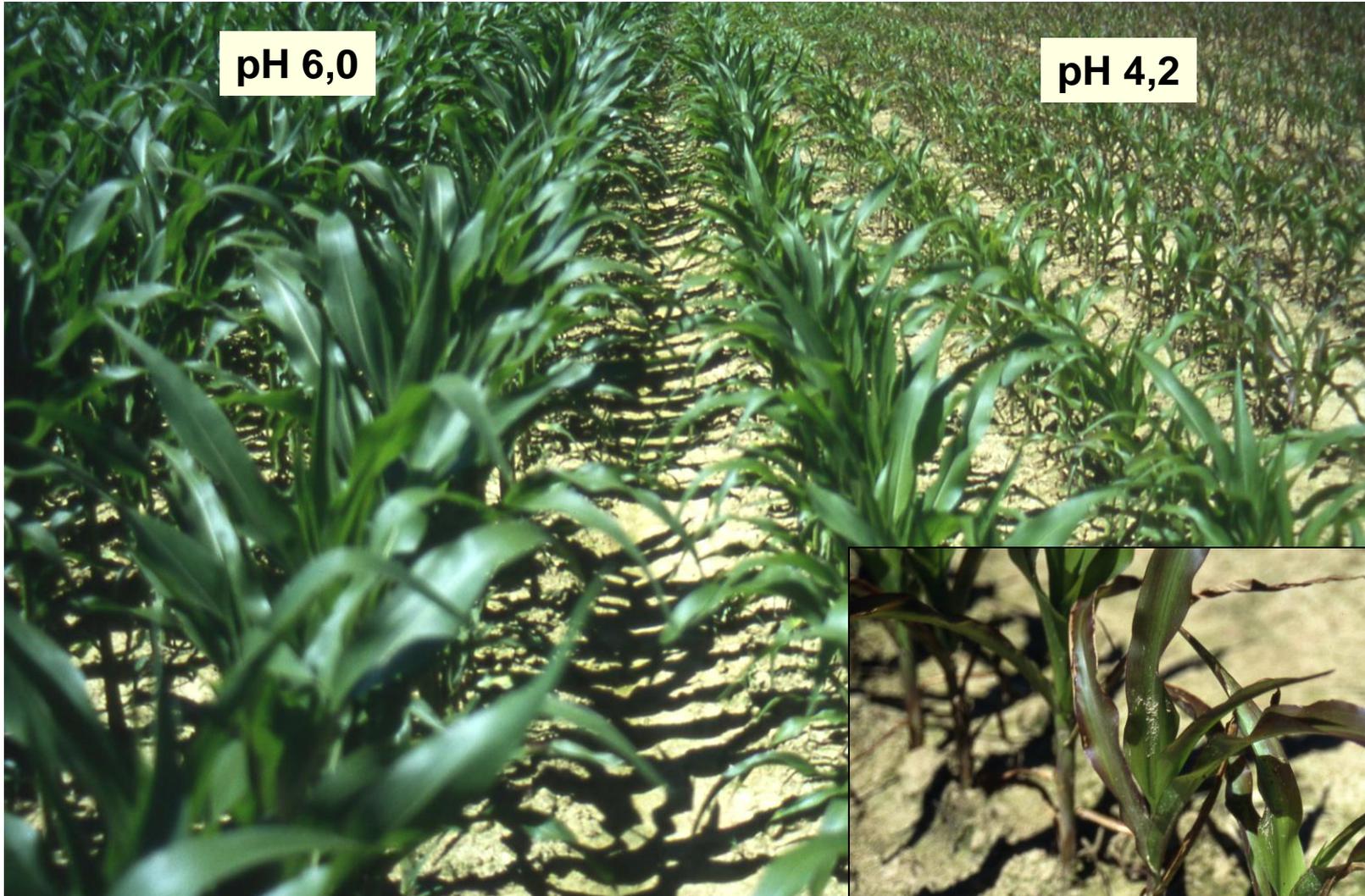
Austauschbares Al, Mn und Ca in Abhängigkeit vom pH-Wert einer Braunerde aus Lösslehm-Fließerde



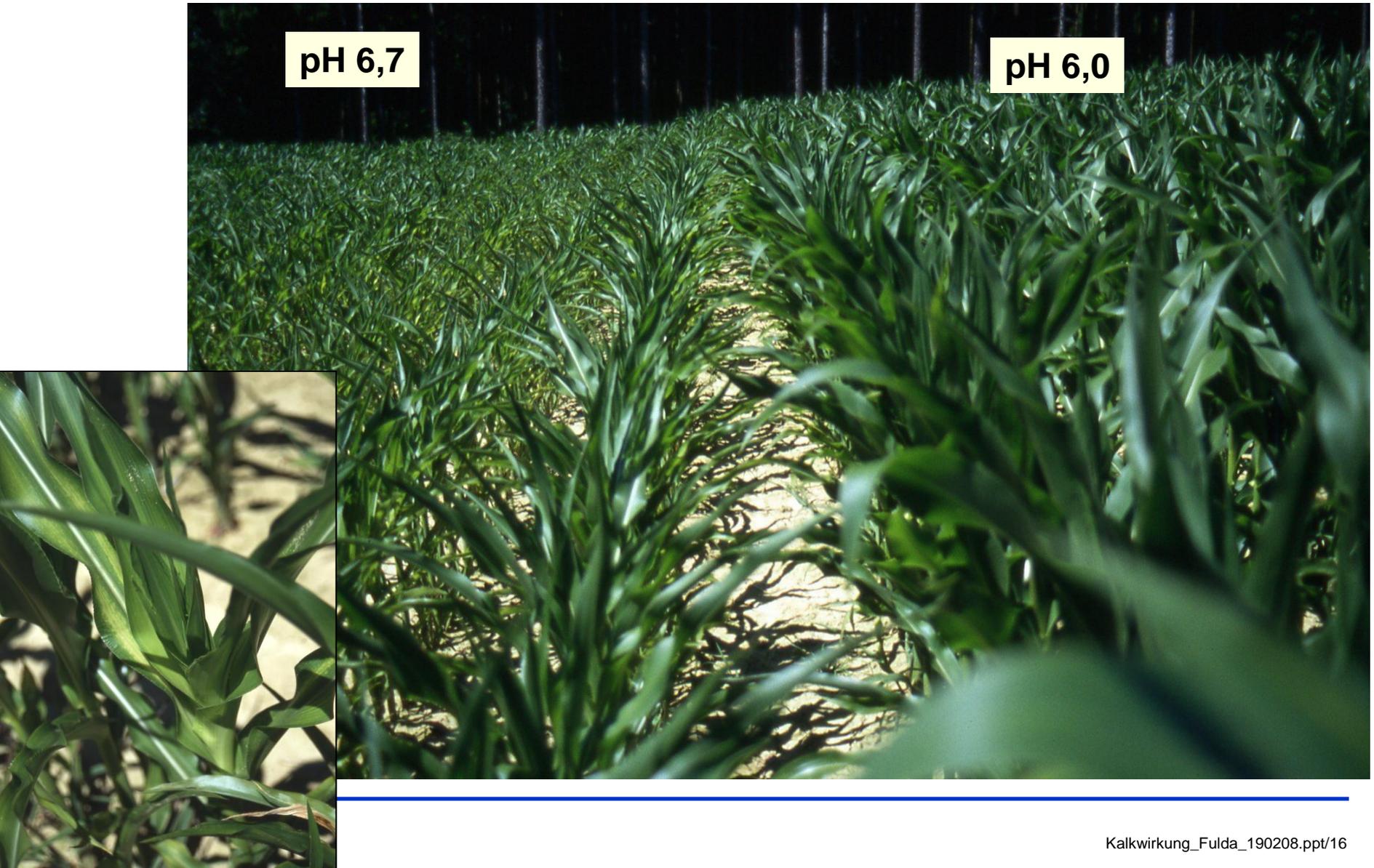
(nach Schwertmann und Amann,
aus Scheffer/Schachtschabel, 2002)



Wirkung der Aufkalkung eines sauren Bodens auf das Pflanzenwachstum



Zn-Mangel in Mais nach Aufkalkung eines sauren Bodens

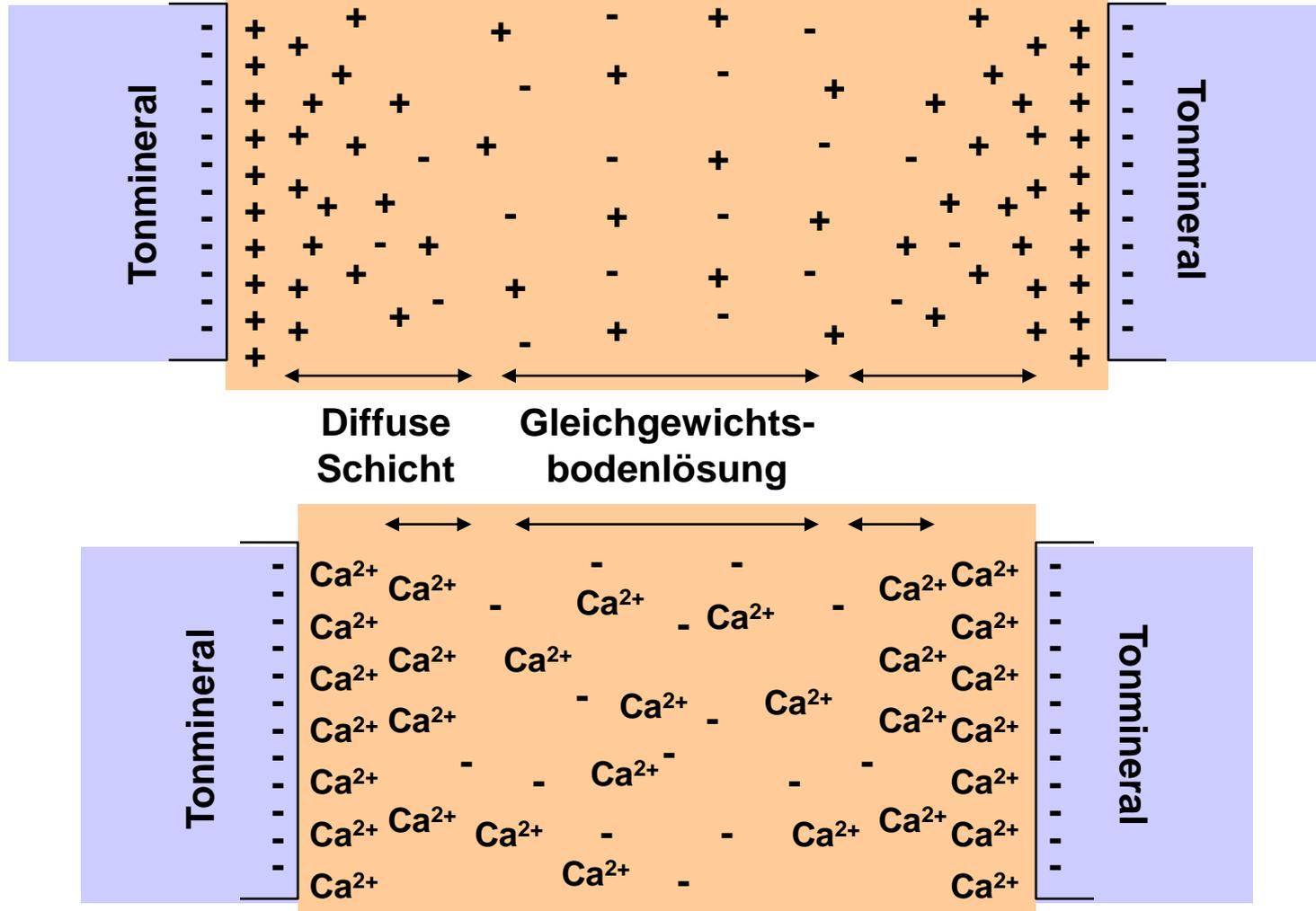


Einfluss einer Kalkung auf die Nährstoff- und Schadstoffverfügbarkeit im Boden

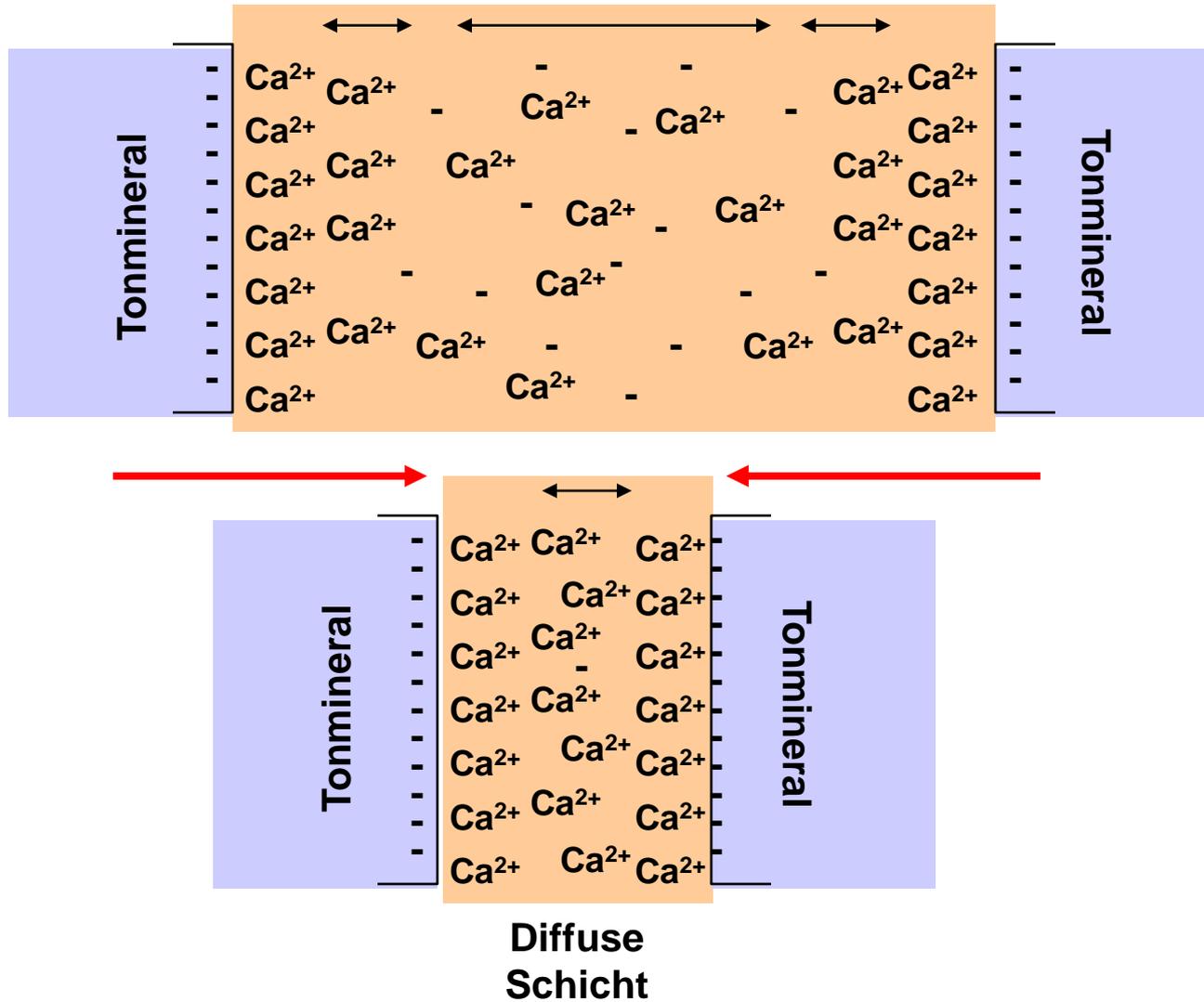
- Erhöhung der Kationenaustauschkapazität
 - Erhöhung der Basensättigung
 - Phosphat-Mobilität
 - Spurenelement-Mobilität
- Nährstoffverfügbarkeit**
-
- Verminderung der Mobilität von
 - Schwermetallen
 - Aluminium
- Toxizität**



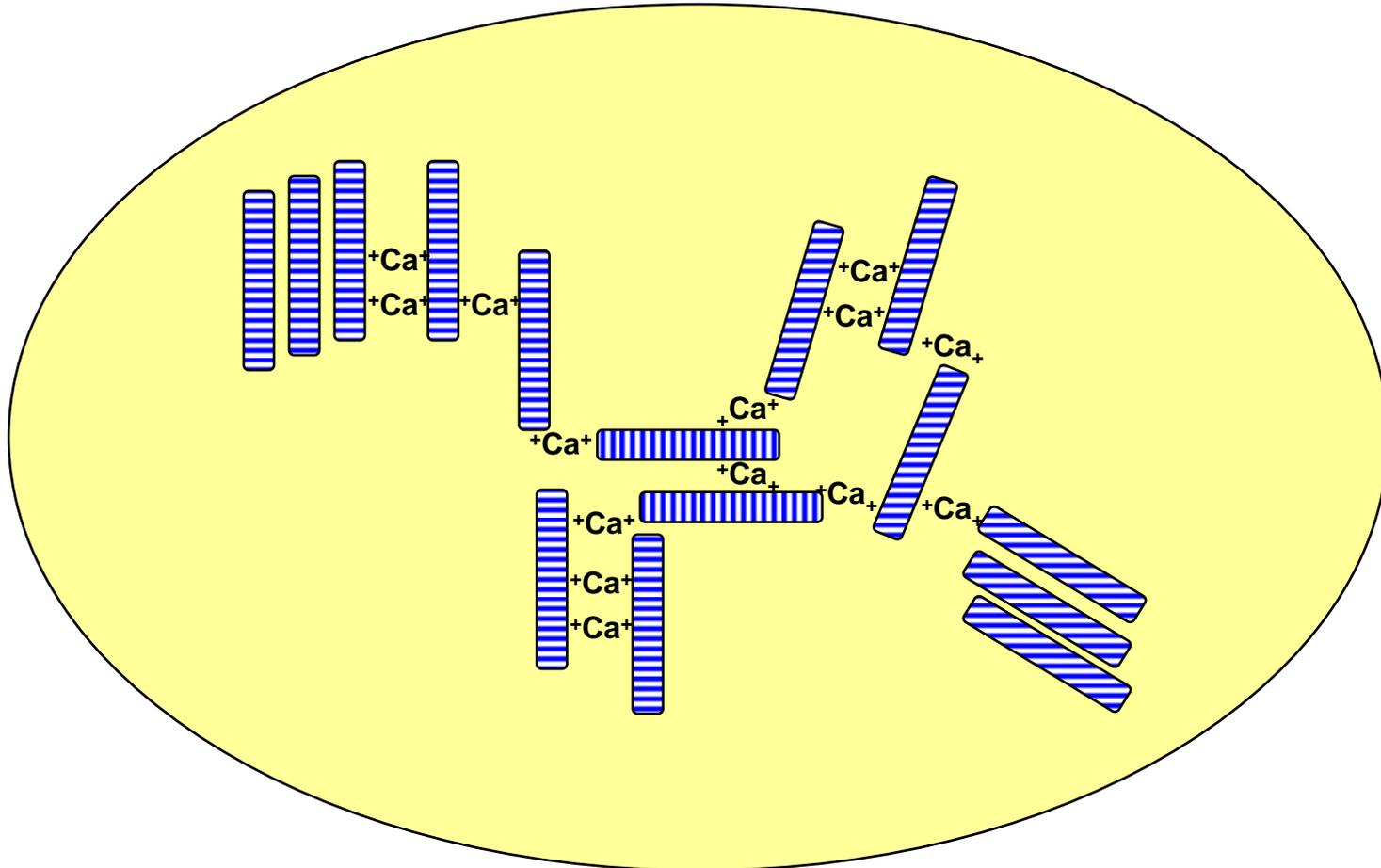
Ionenverteilung in der elektrischen Doppelschicht eines Kationenaustauschers



Flockung von Bodenteilchen

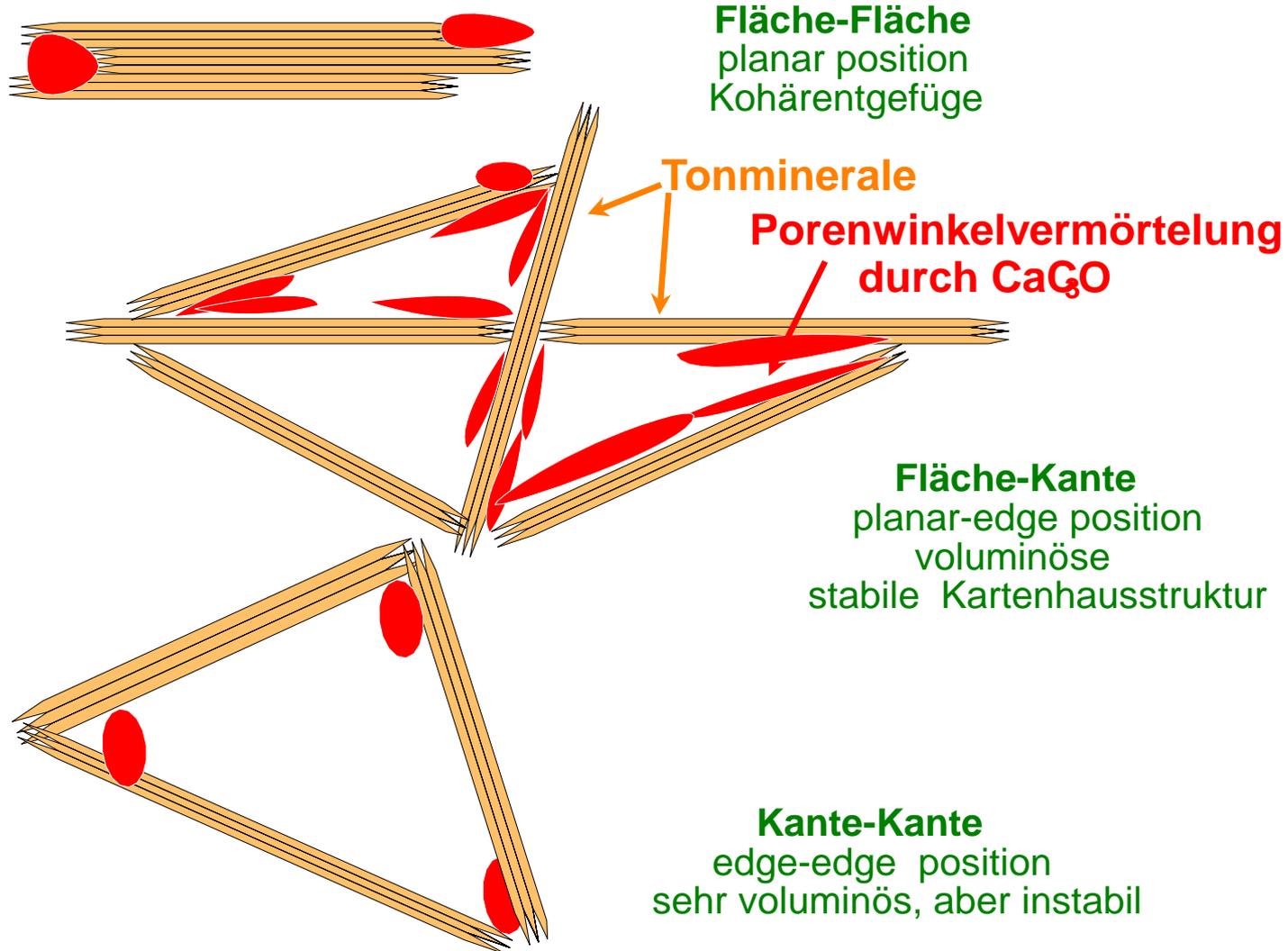


Bildung von Ca-Brücken zwischen Bodenkolloiden



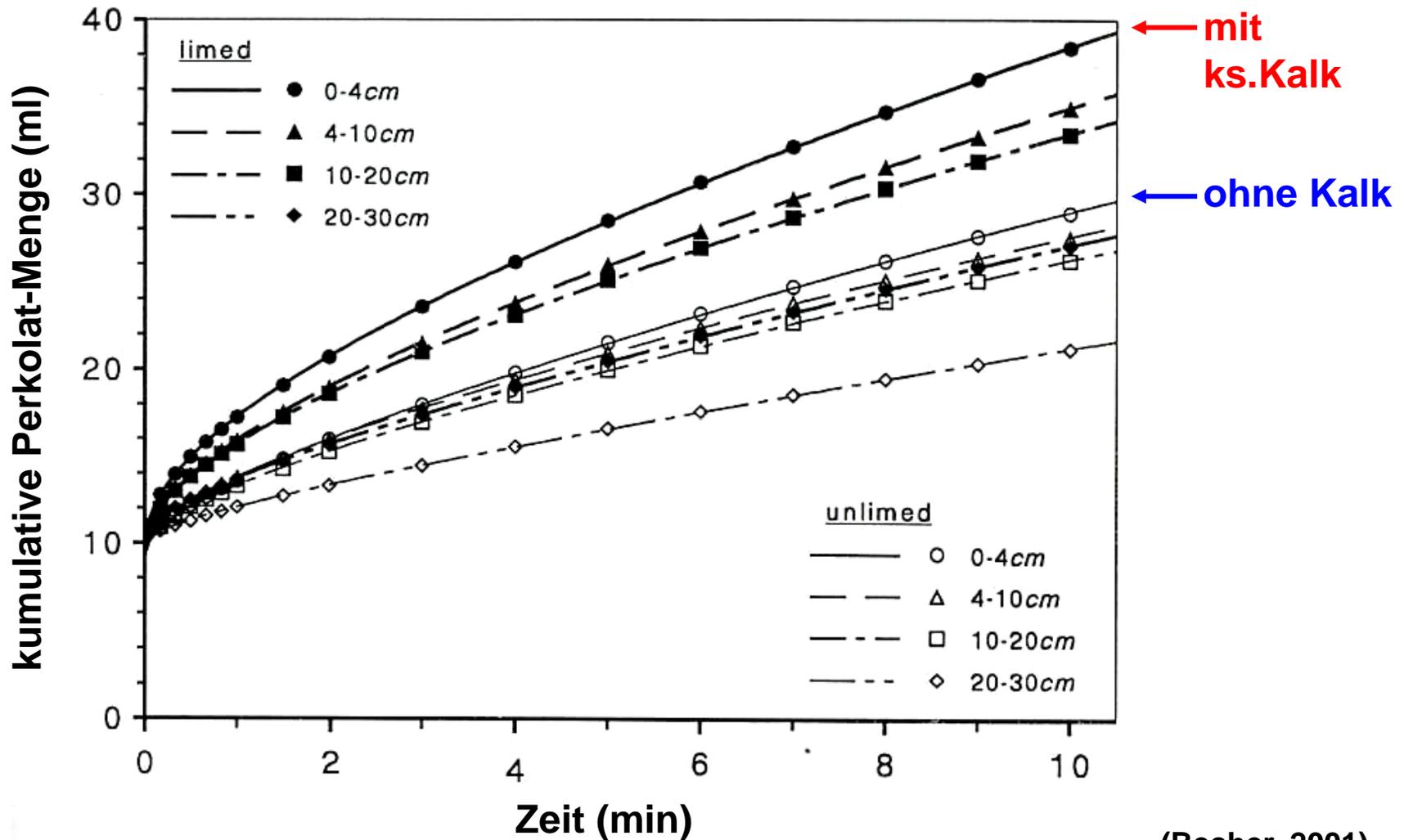
Lagerungsformen von Tonteilchen im Boden und Stabilisierung des Bodengefüges

(nach Mayer und Pollehn)



Kalkversuch Weihenstephan nach 10 Versuchsjahren

Einfluss der Kalkung auf die Aggregatstabilität

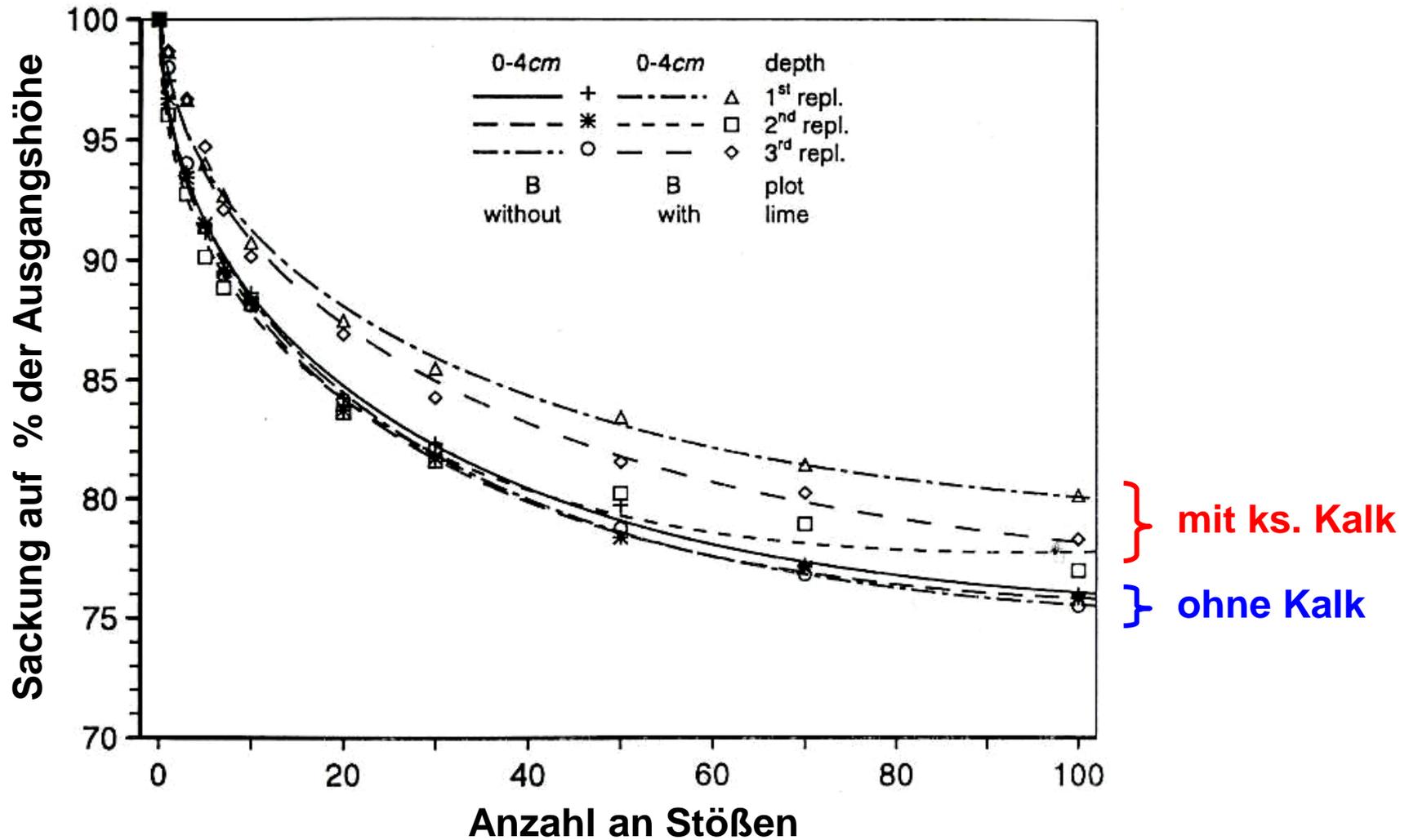


(Becher, 2001)



Kalkversuch Weihenstephan nach 10 Versuchsjahren

Einfluss der Kalkung auf die Sackungsneigung



(Becher, 2001)



Einfluss einer Kalkung auf Bodengefüge und Strukturstabilität

- Ca-Sättigung der Austauscher
- hohe Konzentration an Ca-Salzen in Bodenlösung
- Bildung von Ca-Brücken zwischen Bodenkolloiden
- Verkittung von Primärteilchen durch CaCO_3
- auf Ton-Böden: 'Trocknungsstabilisierung' durch CaO
- indirekt: Erhöhung der biologischen Aktivität

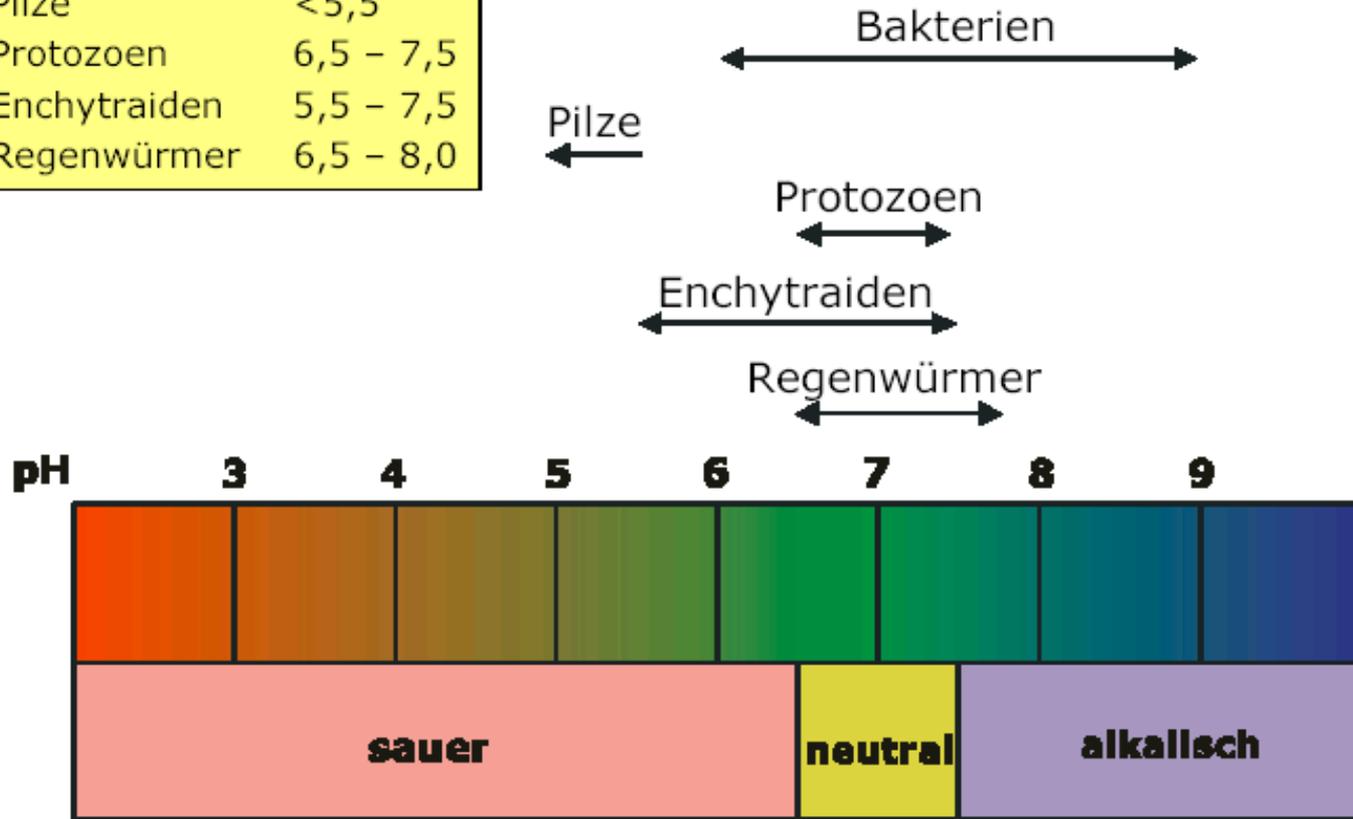
Flockung von Bodenkolloiden

Stabilisierung der Aggregate und des Gefüges



Optimale pH-Bereiche für Bodenorganismen

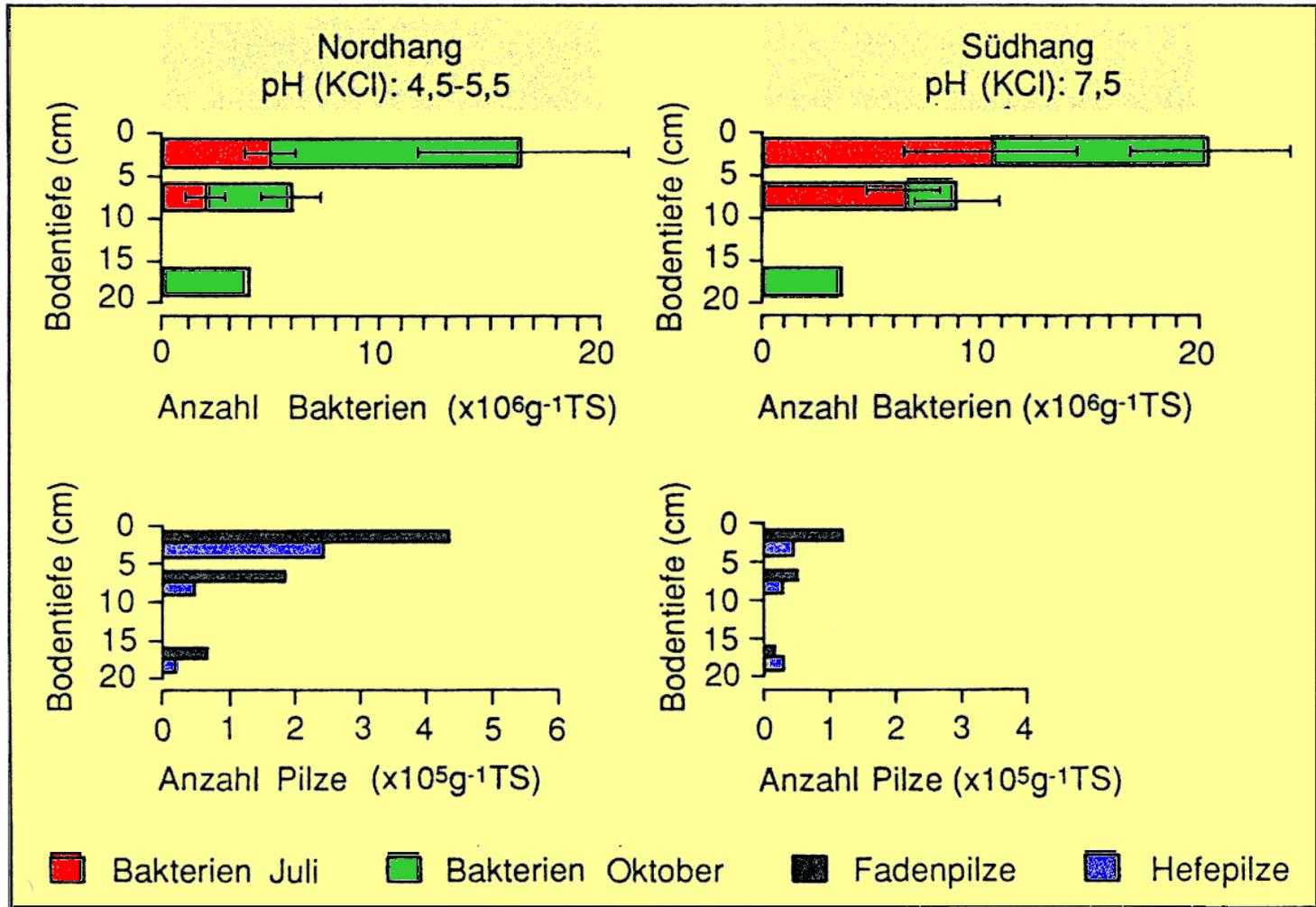
Bakterien	6 - 9
Pilze	<5,5
Protozoen	6,5 - 7,5
Enchytraiden	5,5 - 7,5
Regenwürmer	6,5 - 8,0



(Stöven, 2002)



Verteilung von Bakterien und Pilzen in einem Wiesenboden



(Gisi, 1990, nach Zinkernagel und Gisi, 1985)



Beziehung zwischen mikrobiologischen und physikalischen bzw. chemischen Bodeneigenschaften

Nutzung	n	mikrobiol. Eigenschaft	Korrelation zu pH-Wert r
Acker	100	Biomasse	0,38
		Katalase	0,36
Grünland	22	Biomasse	0,57
		Katalase	0,47
Sonderkulturen	9	Biomasse	0,55
		Katalase	0,45
Alle Böden	131	Biomasse	0,01
		Katalase	-0,05

(Beck et al., 1995)

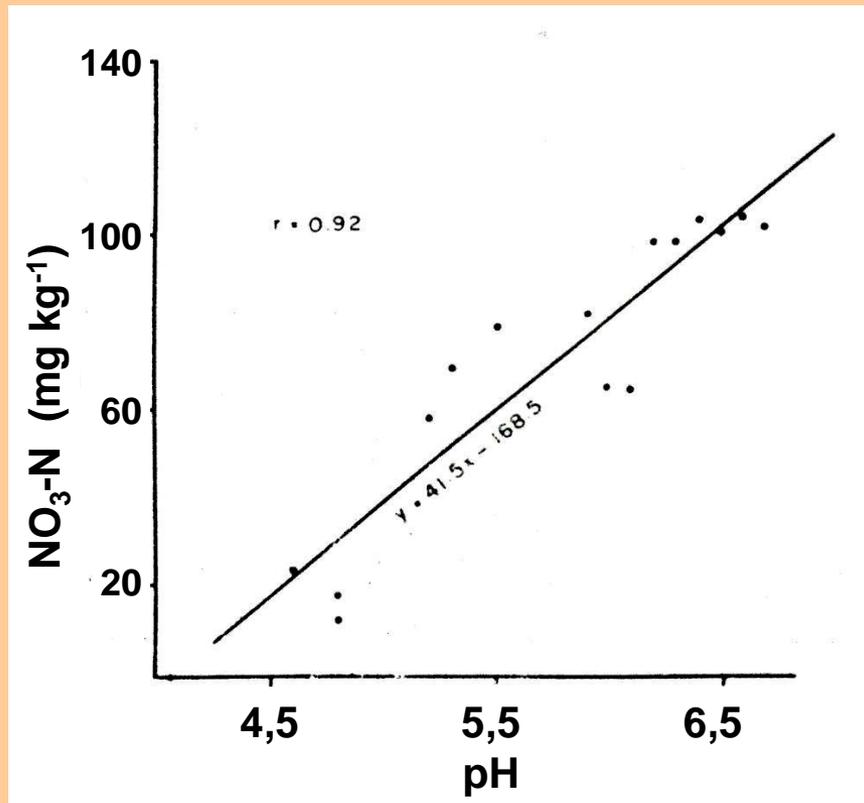


Einfluss des pH-Wertes des Bodens auf die N-Mineralisation und die Nitrifikation

NO₃⁻- Akkumulation in Böden

N-Zugabe: 100 mg kg⁻¹ NH₄⁺-N als NH₄SO₄

Inkubation: 15 Tage, 23 °C



(Dancer et al., 1973)



Einfluss einer Kalkung auf die biologische Aktivität im Boden

- Regenwurmaktivität
- Zusammensetzung der Bodenflora
- mikrobielle Umsetzungsprozesse
 - z.B - Nitrifikation
 - Denitrifikation

Bodenstruktur
Nährstoffverfügbarkeit
Emissionen



Wirkung einer Kalkung auf den Boden



pH-Wert

Basensättigung

KAK

Al-Mobilität

Schwermetallmobilität

Nährstoffverfügbarkeit
(Ca, Mg, P, Spuren ...)

Bodenchemie

Aggregatstabilität

Gefüge

Wasser-Luft-Haushalt

Bodenphysik

Biologische Aktivität

Mineralisation

Nitrifikation

Denitrifikation

Bodenbiologie

