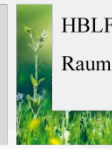




HBLFA  
Raumberg-Gumpenstein

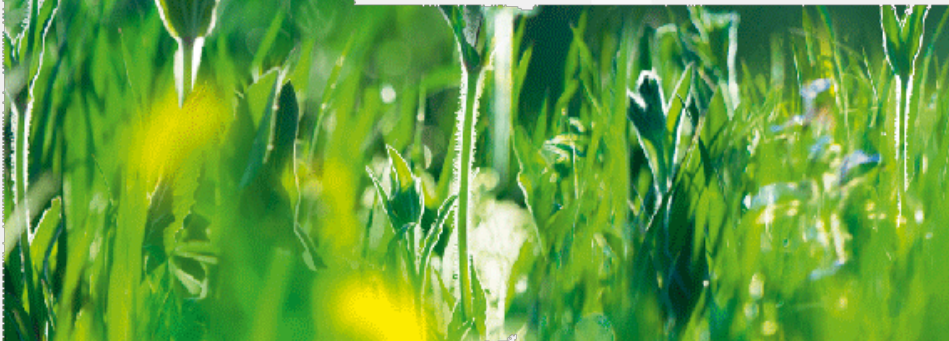


Landwirtschaft

HBLFA RAUMBERG - GUMPENSTEIN  
LANDWIRTSCHAFT

# Faktoren der Nährstoff- verfügbarkeit im Boden

Andreas Bohner



# Einleitung

## Ziele der Düngung

- **Grünlanderträge erhöhen**
- **Futterqualität verbessern**
- **Bodenfruchtbarkeit steigern**



# Einleitung



## Ressourcenschonende und umweltverträgliche Grünlandbewirtschaftung

- durch Düngung den Nährstoffbedarf der Pflanzen decken
- gleichzeitig aber die Umwelt (Atmosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre) nicht belasten

# Einleitung



**Optimierung von Düngemaßnahmen**



**Kenntnisse über die Faktoren der  
Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden**

**Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie**

# Einleitung

## Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden

- **Ausnutzbarkeit und Ertragswirksamkeit der Dünger**
- **Artenzusammensetzung der Vegetation und Pflanzenartenvielfalt**
- **Futterertrag und Futterqualität**



# Theoretische Grundlagen

- **Intensitätsfaktor**
- **Kinetikfaktor**
- **Kapazitätsfaktor**
- **Quantitätsfaktor**
- **Massenfluss- und Diffusionsfaktor**



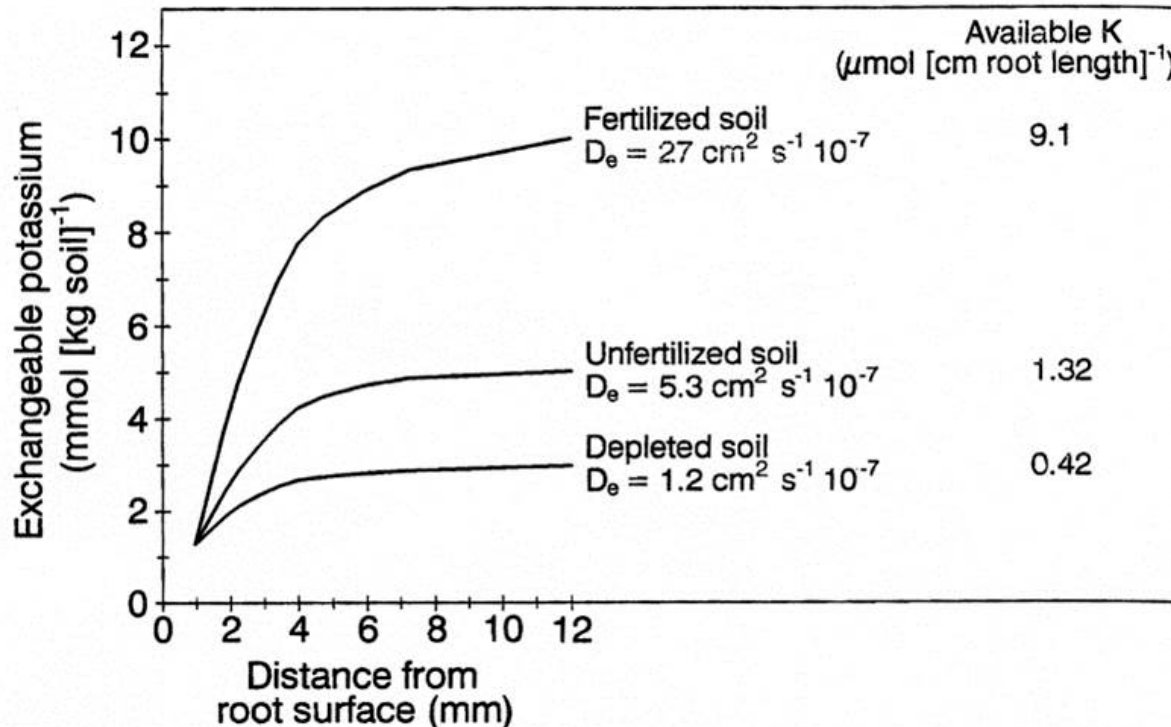
# Nährstoffverfügbarkeit

**Pflanzenverfügbarkeit der Nährelemente im Grünlandboden und Nährstoffaufnahme der Pflanzen**

- **Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung**
- **Bodenwassergehalt**
- **Kapazität des Bodens zur Nährstoffnachlieferung (mobilisierbarer Nährstoffvorrat im durchwurzelten Boden)**

# Nährstoffverfügbarkeit

Generell ist die Nährstoffanlieferung zu den Pflanzenwurzeln und folglich die Verfügbarkeit umso größer, je höher der Wassergehalt im Boden und die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung sind.



Quelle: Marschner, 1998



# Ionenkonkurrenz (Antagonismus)

- **Konzentration eines Nährelements in der Bodenlösung versus Aufnehmbarkeit dieses Nährelements durch die Pflanzen**
- **Auch das Verhältnis zwischen den verschiedenen Nähr- und Schadelementen ist für die Nährstoffaufnahme von Bedeutung**
- **Verringerte Aufnahme von Magnesium durch einen Überschuss an Kalzium oder Kalium**

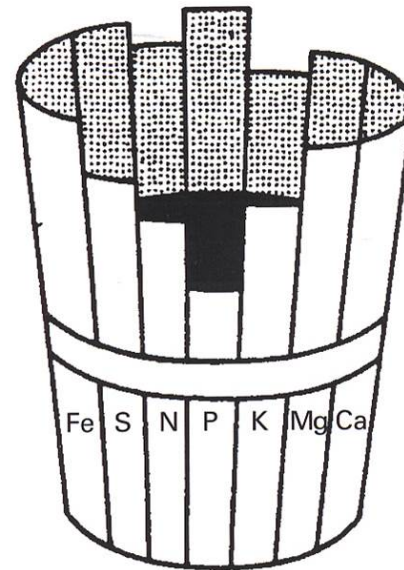
# Gesetz des Minimums

Das Ertragspotenzial eines Standortes wird nur dann voll ausgeschöpft, wenn im Boden

- alle lebensnotwendigen Nährelemente in ausreichenden Mengen **und**
- in einem harmonischen Verhältnis pflanzenverfügbar sind

# Gesetz des Minimums

Ein hoher Kalium-Gehalt im Grünlandboden führt zu keinem hohen Ertrag, wenn den Pflanzen gleichzeitig zu wenig aufnehmbare Stickstoff zur Verfügung steht.



maximale Füllhöhe  
≙ Höhe des Ertrages

Quelle: Finck, 2007

Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie

# Bodenuntersuchung

- Unterschiedliche Pflanzenbestände und Futtererträge auf Grünlandböden mit gleichen Gehalten an CAL-löslichem Phosphor oder Kalium können das Ergebnis verschiedener Freisetzungs- und Nachlieferungsgeschwindigkeiten der Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln sein.
- Die chemische Bodenanalyse liefert hauptsächlich einen Hinweis für die Kapazität eines Bodens den Pflanzen Nährstoffe zu liefern (**chemische Verfügbarkeit**), aber sie berücksichtigt nicht die Mobilität (**räumliche Verfügbarkeit**) der Nährstoffe im Boden.

# Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden

- Mobilisierbare Nährstoffmenge im durchwurzelten Boden (Kapazitätsfaktor)
- Freisetzungsgeschwindigkeit der Nährstoffe aus dem verfügbaren Vorrat (Kinetikfaktor)
- Transportrate der Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln (Massenfluss und Diffusion)

# Faktoren der Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden

Entscheidende Faktoren sind:

- Bodentemperatur
- Bodenwasserhaushalt
- Bodenstruktur
- Boden-pH-Wert
- Pflanzenwurzeln
- **Mikroorganismen- und Enzymaktivität**

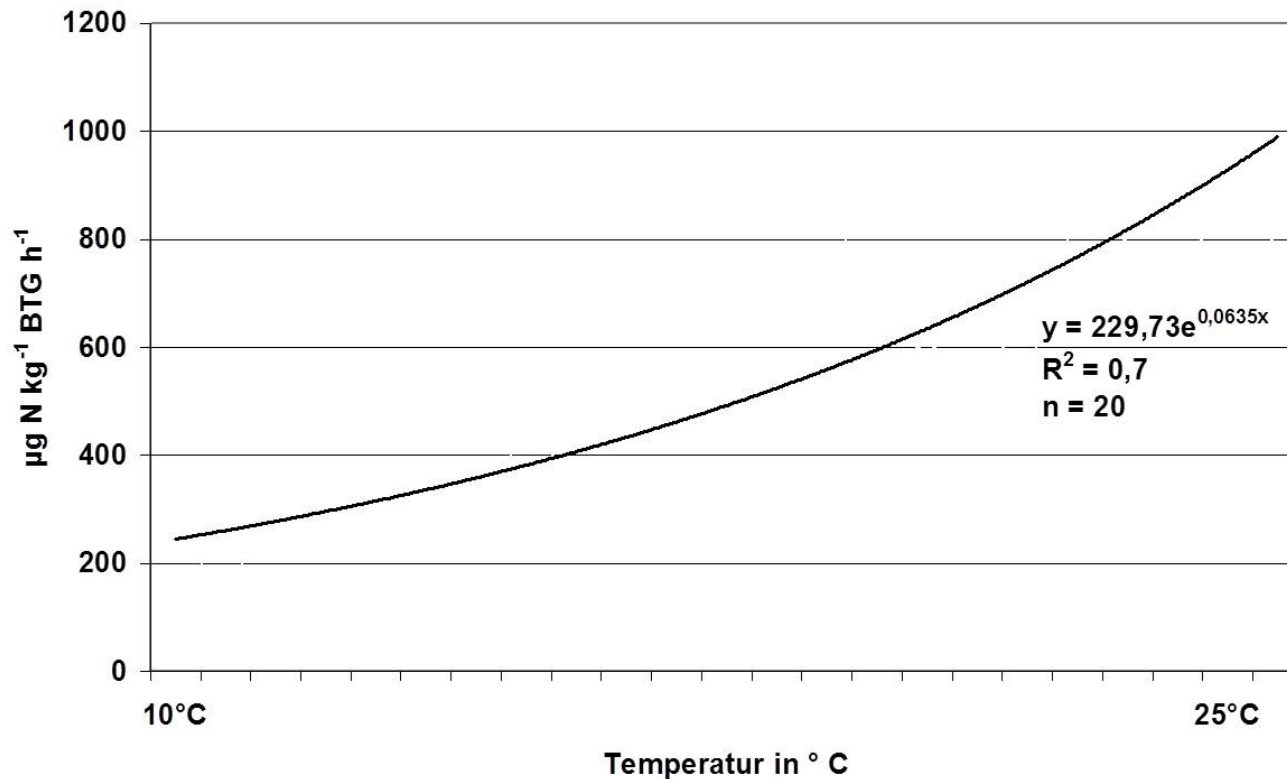


# Bodentemperatur

**beeinflusst Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden**

- **direkt über die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Prozesse**
- **indirekt über die Mikroorganismen- und Enzymaktivität**
- **Im Bereich zwischen 5 und 30°C bewirkt eine Zunahme der Temperatur um 10°C, dass die mikrobielle Aktivität um das 2 bis 3fache ansteigt (Van ´t Hoffsche Regel)**
- **Für die Stickstoff-Mineralisation ist eine Bodentemperatur von ca. 25°C optimal**

# Brutto-Nitrifikationsrate im Grünlandboden in Abhängigkeit von der Bodentemperatur



Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie



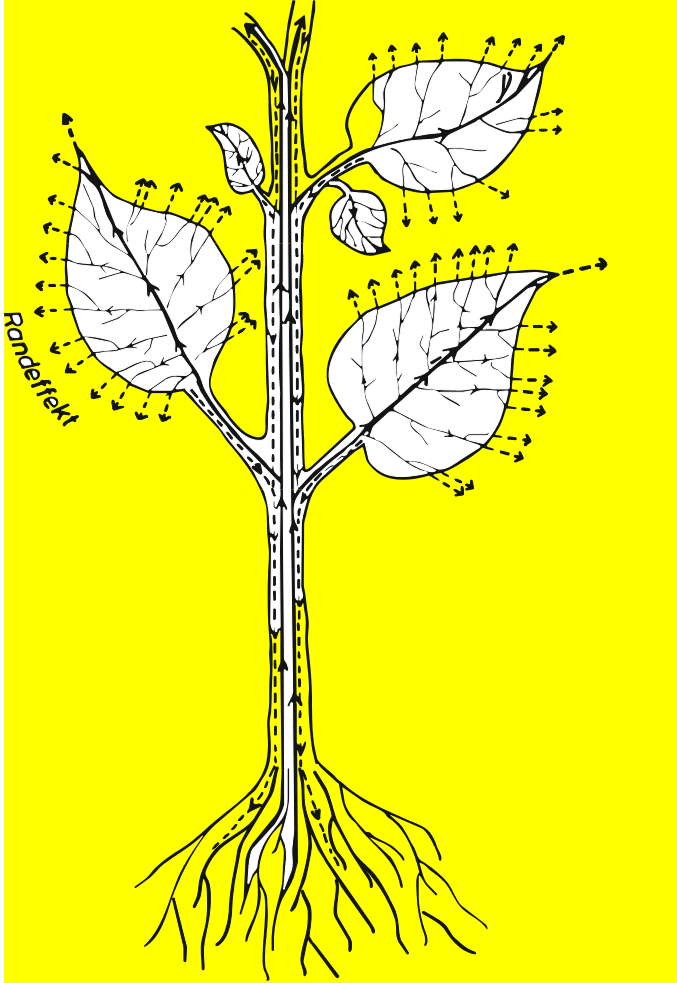
# Bodenwasserhaushalt

**Wassermangel** bedeutet:

- niedrige Transportrate der Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln
- gehemmte Nährstoffmineralisation im Grünlandboden infolge geringer mikrobieller Aktivität

Trockenheit bedeutet nicht nur Wasser- sondern gleichzeitig auch Nährstoffmangel für die meisten hochwertigen Futterpflanzen.

# Bodenwasserhaushalt



Quelle: Amberger, 1988

Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie

# Bodenwasserhaushalt

**Wasserüberschuss** bedeutet:

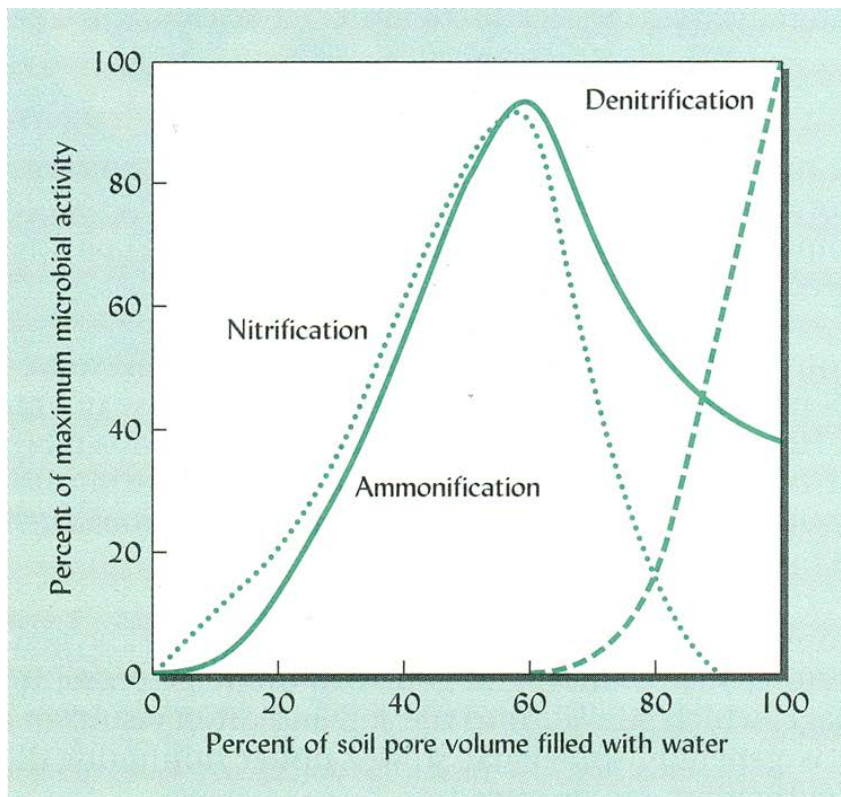
- langsame und geringe Bodenerwärmung
- schlechte Bodendurchlüftung
- gehemmte Nährstoffaufnahme bei den meisten hochwertigen Grünlandpflanzen
- gehemmte Nährstoffmineralisation im Grünlandboden infolge reduzierter biologischer Aktivität
- gasförmige Stickstoff-Verluste durch Denitrifikation

# Bodenwasserhaushalt

**Wasserüberschuss** bedeutet:

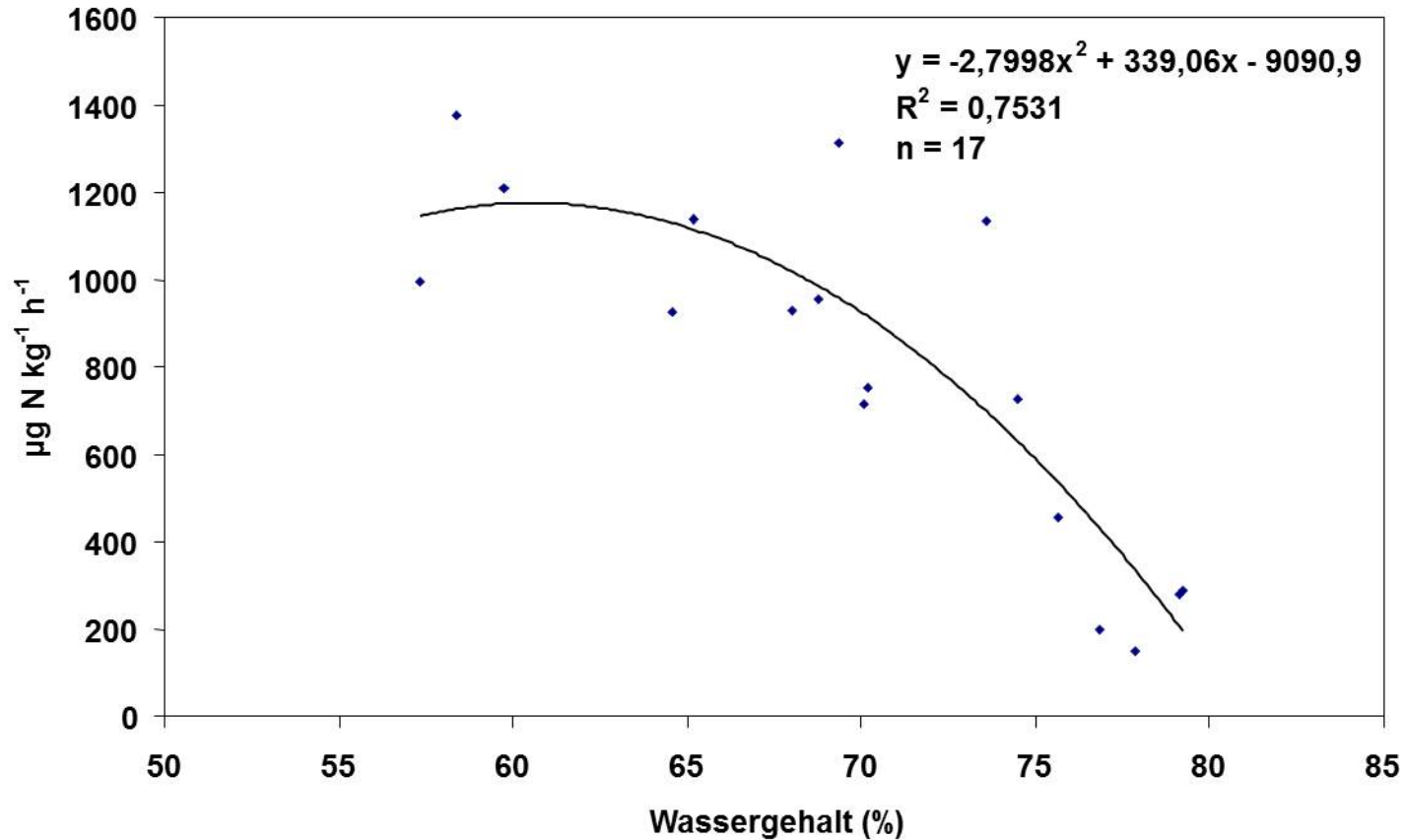
- geringe Nitratbildung im Boden
- hohe Konzentration an Mangan, Eisen und Phosphor in der Bodenlösung, insbesondere in sauren Grünlandböden
- hohe Transportrate der Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln

# Einfluss des Bodenwassergehaltes auf Ammonifikation, Nitrifikation und Denitrifikation



Quelle: Brady & Weil, 1999

# Brutto-Nitrifikationsrate im Boden in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt



Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie



# Braunerde

**Andreas Bohner**  
**Abteilung für Umweltökologie**



# Typischer Gley

**Andreas Bohner**  
**Abteilung für Umweltökologie**





# Niedermoor

**Andreas Bohner**  
**Abteilung für Umweltökologie**



# Bodenstruktur

**Andreas Bohner**  
**Abteilung für Umweltökologie**

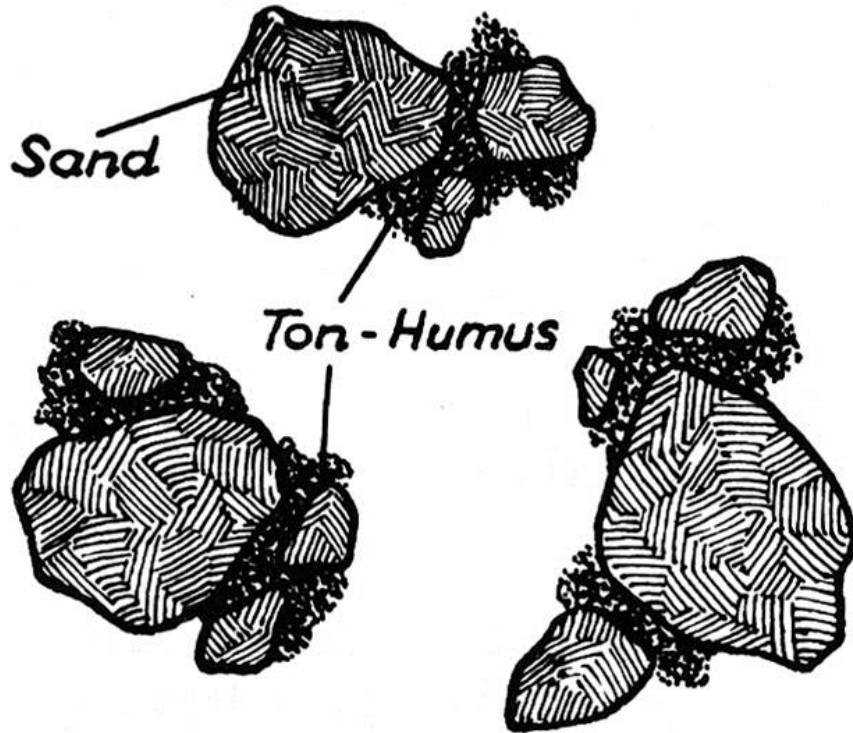
# Bodenstruktur

Günstig ist eine **krümelige Struktur** im Oberboden, weil die

- Aufnahme, Speicherung und Versickerung von Niederschlags- und Schneeschmelzwasser
  - Durchlüftung und
  - Durchwurzelbarkeit
- optimal sind.

# Bodenstruktur

*Aggregate 1. Ordnung*



*Aggregat 2. Ordnung*



Quelle: Sekera, 1984

Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie

# Bodenstruktur

Ungünstig ist eine dicht gelagerte, **plattige Struktur** im Oberboden:

- **erhöhte Gefahr einer pflanzenschädigenden Staunässebildung**
- **Hemmung des Wurzelwachstums bei einigen hochwertigen Futterpflanzen wegen Sauerstoffmangel, Kohlendioxidüberschuss und erhöhtem mechanischen Eindringwiderstand**
- **schlechte Ausnutzung der vorhandenen Wasser- und Nährstoffvorräte infolge geringer Durchwurzelbarkeit**

# Bodenstruktur

- **Hemmung der mikrobiellen Aktivität aufgrund von Sauerstoffmangel und zu weniger Hohlräume**
- **erhöhte Gefahr von gasförmigen Stickstoff-Verlusten durch Denitrifikation**
- **in Hanglagen verstärkter Oberflächenabfluss von Regen- und Schneeschmelzwasser, somit erhöhte Gefahr der Abschwemmung von gedüngten Nährstoffen**
- **negative Veränderungen im Pflanzenbestand**

# Bodenstruktur



**krümelige Struktur**



**plattige Struktur**

# Bodenverdichtung



**Andreas Bohner**  
**Abteilung für Umweltökologie**



# Bodenstruktur

**In stark verdichtete Bodenschichten können Pflanzenwurzeln nicht oder nur sehr spärlich eindringen (geringerer durchwurzelbarer Bodenraum)**



**Grünlandböden mit krümeliger Struktur im Oberboden stellen ihre Nährstoffe den Pflanzen besser zur Verfügung als verdichtete Böden mit plattiger Struktur im Oberboden**

# pH-Wert

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+]$$

pH	mol l <sup>-1</sup>		
	[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ]	[OH <sup>-</sup> ]	
8	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-6</sup>	alkalisch
7	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup>	neutral
6	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>	sauer
5	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-9</sup>	sauer
4	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-10</sup>	sauer

Eine pH-Wert-Erniedrigung um eine Einheit bedeutet eine Verzehnfachung von [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]. pH 3 ist nicht doppelt so sauer wie pH 6, sondern tausendmal!

# Boden-pH-Wert

## Ein abnehmender pH-Wert

- verbessert die Löslichkeit mineralischer Phosphor-Dünger (Hyperphosphat)
- beschleunigt die chemische Verwitterung der Minerale
- verbessert die Löslichkeit und Bioverfügbarkeit der meisten Mikronährelemente (insbesondere Mangan, Zink, Eisen) im Grünlandboden
- erhöht die Löslichkeit von Phosphor im Grünlandboden
- erhöht die Löslichkeit von Schadelementen (z.B. Aluminium) und toxischen Schwermetallen (z.B. Cadmium, Blei) im Grünlandboden

# Boden-pH-Wert

## Ein abnehmender pH-Wert

- reduziert die Nitratbildung
- verringert die Kationenaustauschkapazität im Oberboden
- verengt das Kalzium:Kalium-Verhältnis im Grünlandboden
- reduziert die mikrobielle Aktivität im Boden
- bewirkt generell ein disharmonisches Nährstoffangebot für Pflanzen und Bodenorganismen

# Boden-pH-Wert

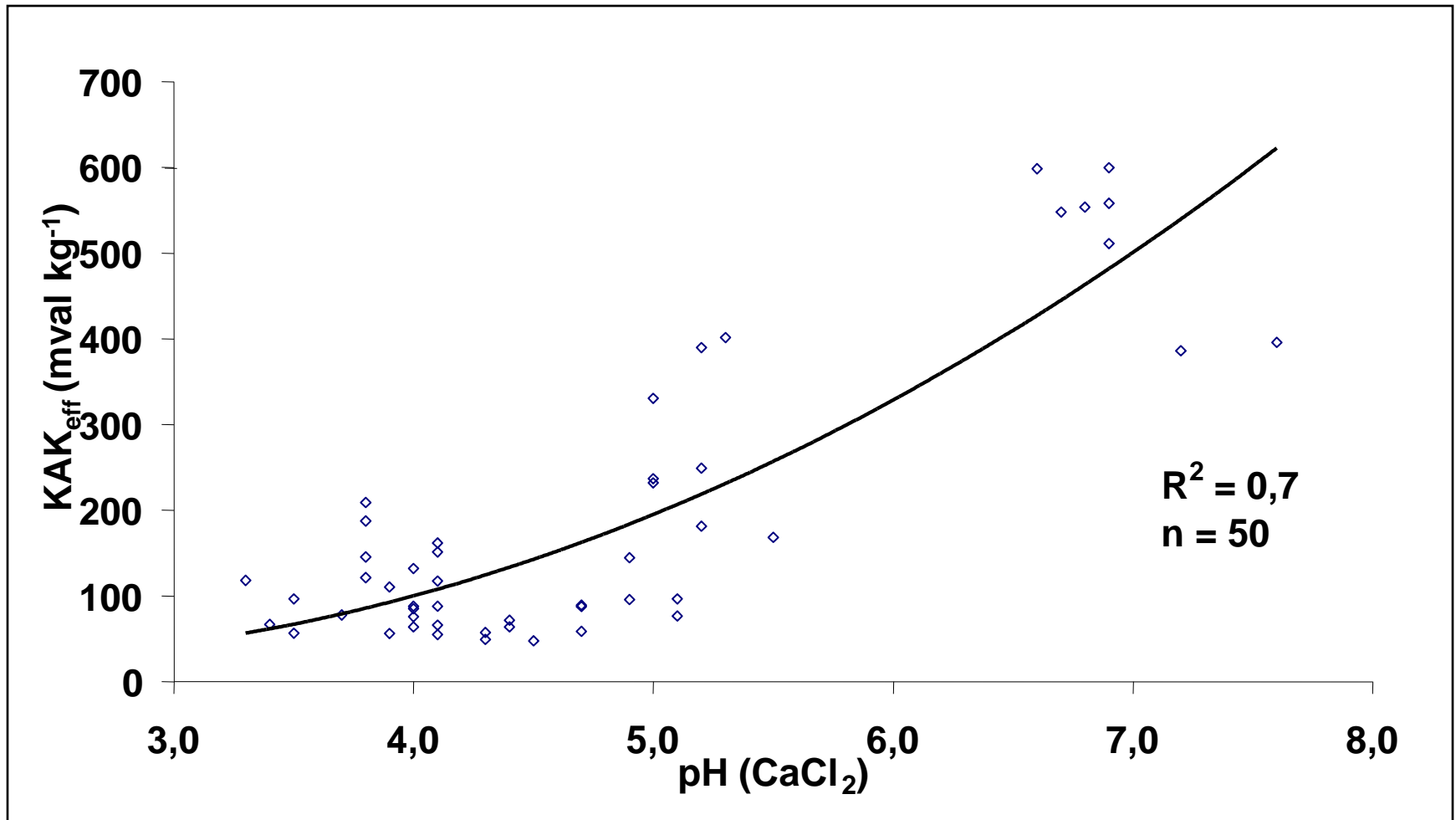
**Ein zu hoher Karbonatgehalt im Grünlandboden und eine alkalische Bodenreaktion bedeuten:**

- **selektiver Nährelementmangel bei einigen Grünlandpflanzen (z.B. Mangel an Kalium, Eisen, Mangan, Zink, Phosphor)**
- **höhere gasförmige Stickstoff-Verluste durch Verflüchtigung von Ammoniak**

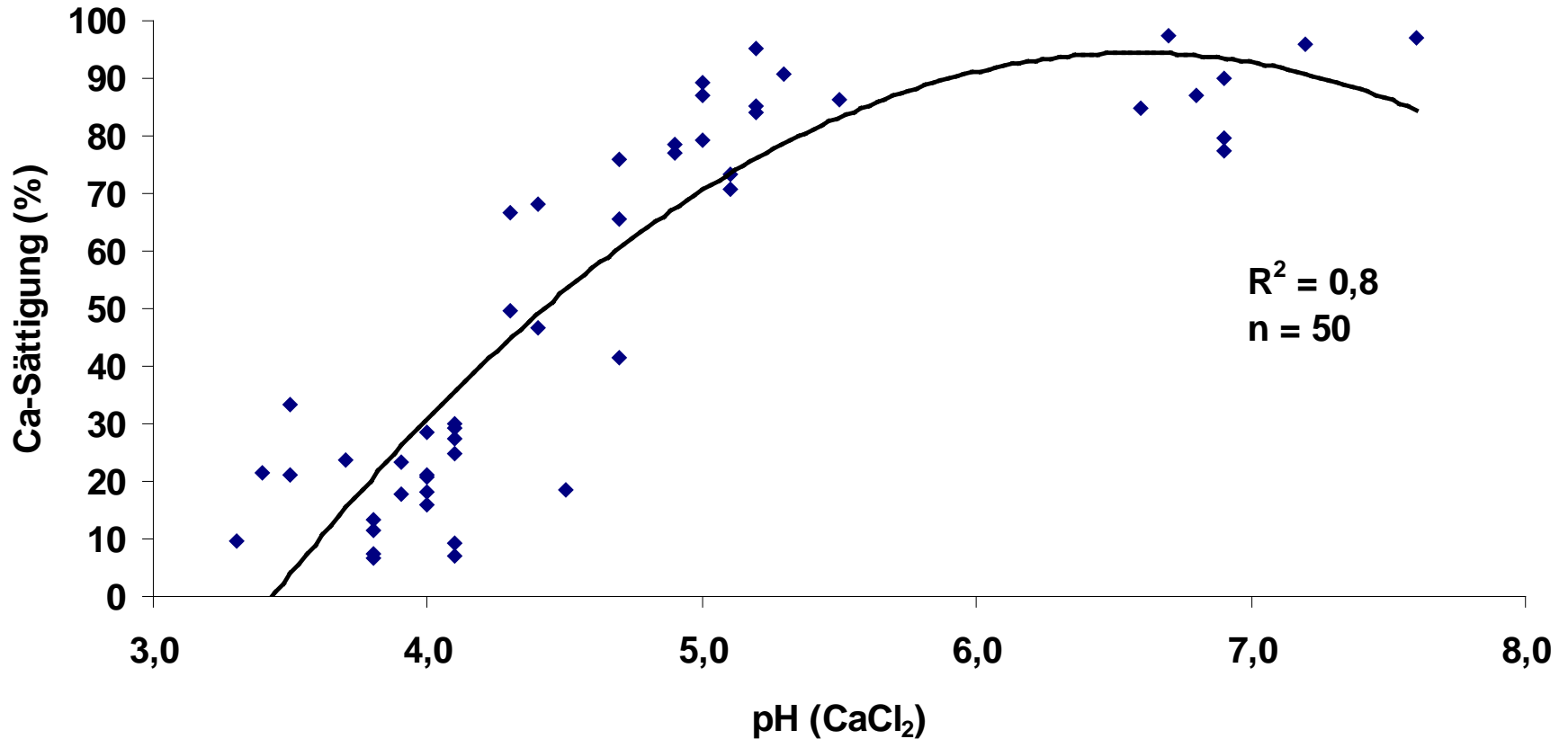
# Boden-pH-Wert

- Die beste Bioverfügbarkeit von Nährelementen ist bei einer schwach bis mäßig sauren Bodenreaktion gegeben.
- Der **pH-Wert** (gemessen in einer  $\text{CaCl}_2$ -Lösung) von Grünlandböden sollte daher im Hauptwurzelraum idealerweise zwischen **5.0 und 6.2** liegen.

# Beziehung pH-Wert - $KAK_{\text{eff}}$



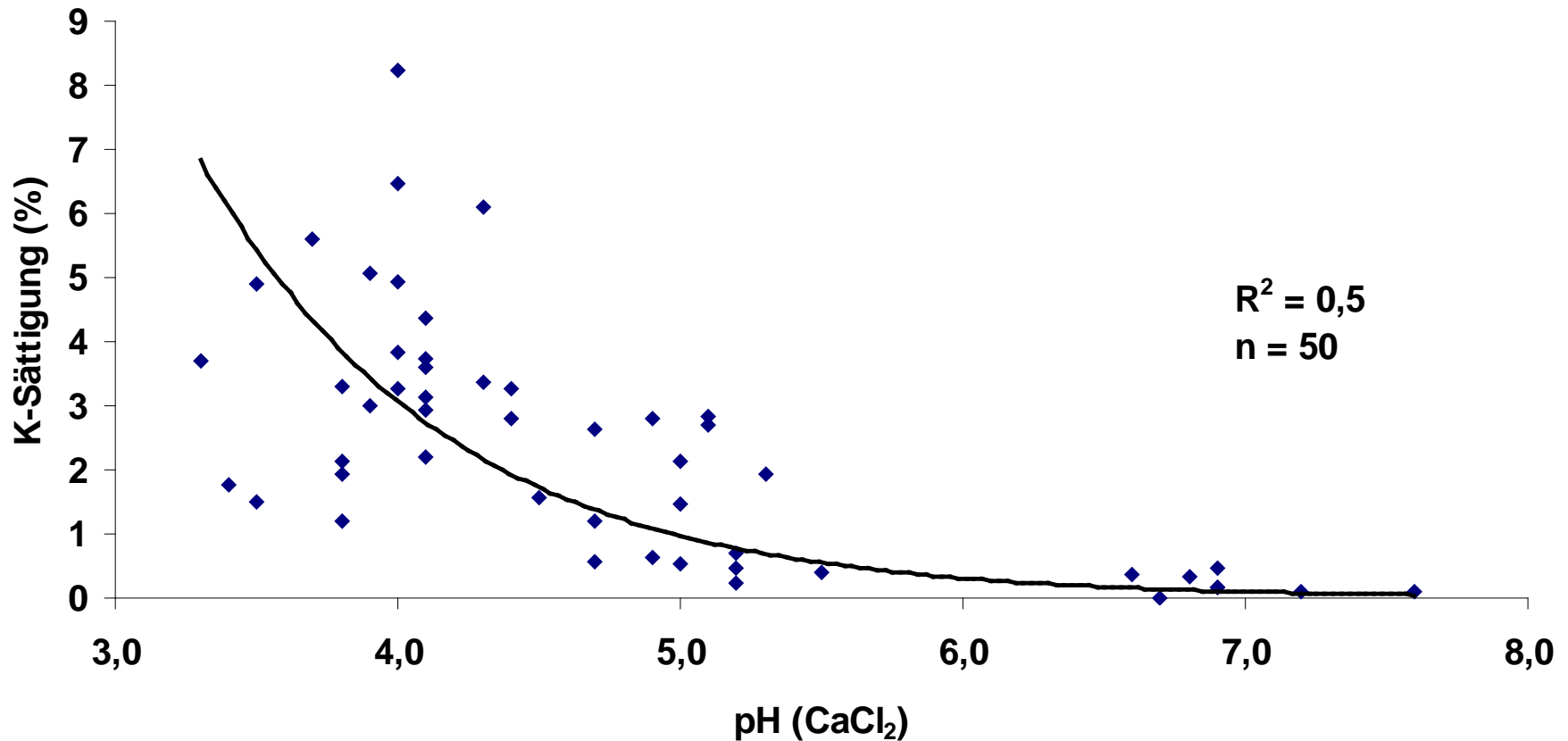
# Beziehung pH-Wert - Ca-Sättigung



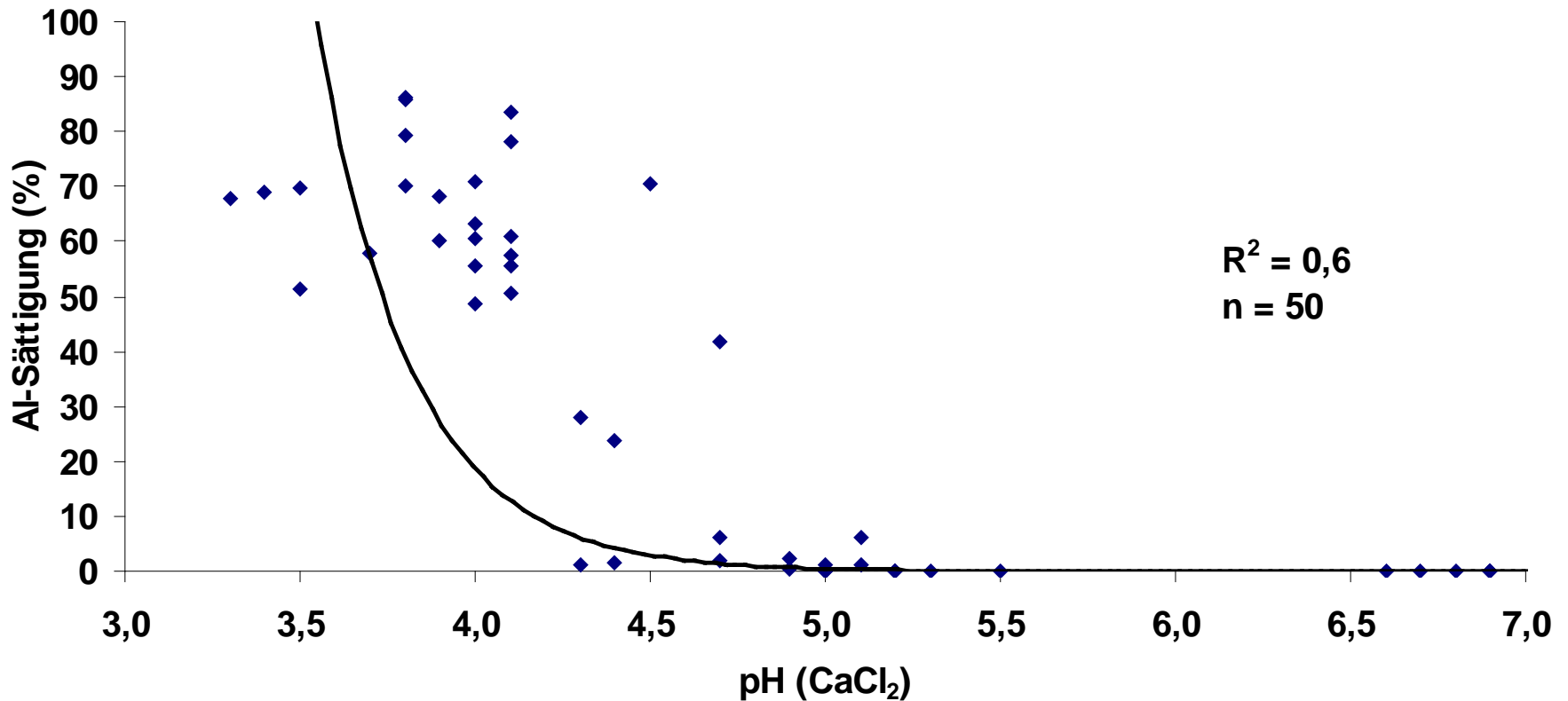
Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie



# Beziehung pH-Wert - K-Sättigung



# Beziehung pH-Wert - Al-Sättigung



# Pflanzenwurzeln

- **Wurzelausscheidungen (mobilisieren Nährstoffe im wurzelnahen Boden)**
- **Wurzelwachstumsrate**
- **Größe der aufnahmeaktiven Wurzeloberfläche**
- **Wurzellänge bzw. Wurzeltiefgang**
- **Mykorrhizapilze**

# Pflanzenwurzeln

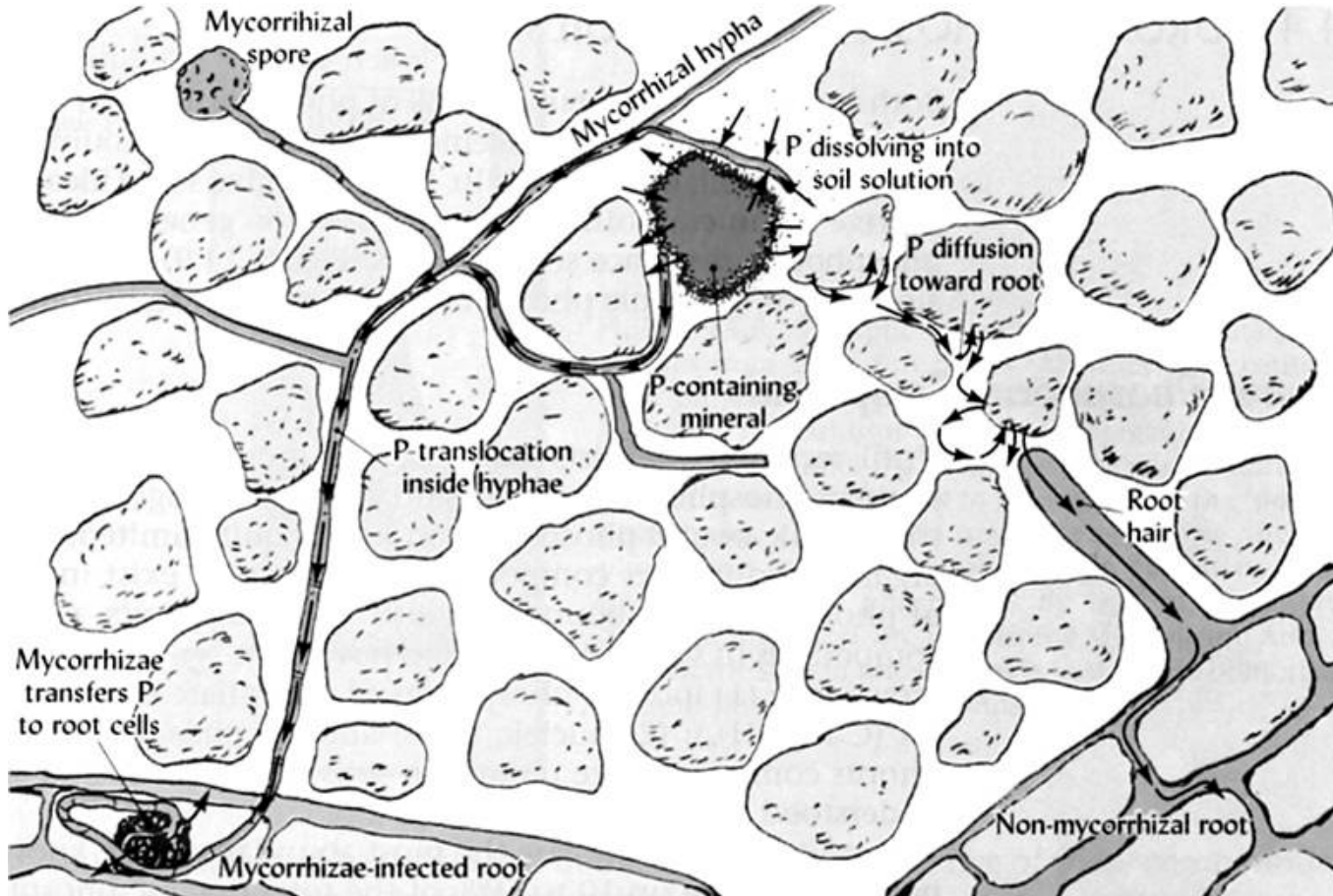
**Je größer die Wurzeldichte (Anzahl von Feinwurzeln pro m<sup>2</sup> Boden) im Grünlandboden ist, desto mehr Wasser und Nährstoffe können aus dem Boden aufgenommen werden.**



**gleichmäßige und intensive Durchwurzelung des Grünlandbodens**

# Räumliche Nährstoffverfügbarkeit im Boden

## Boden



Quelle: Brady & Weil, 1999

Andreas Bohner  
Abteilung für Umweltökologie

# Pflanzenwurzeln

- **Gräser haben i.A. eine größere Wurzelmasse als Leguminosen und die Mehrzahl der Kräuter**
- **Wurzelmasse und Wurzeltiefgang sind bei Untergräsern i.d.R. geringer als bei Obergräsern**
- **Generell fördern Trockenheit und Wärme das Tiefenstreben der Wurzeln, während Nässe, Kälte, eine starke Bodenversauerung und eine geringe Bodenmächtigkeit das Tiefenstreben der Wurzeln vermindern**

# Pflanzenwurzeln

- Je häufiger eine Nutzung durch Mahd oder Beweidung erfolgt, desto geringer werden Wurzelmasse und Wurzeltiefgang
- Magerkeitszeiger haben i.d.R. eine größere Wurzelmasse als Nährstoffzeiger
- Wurzelmasse, Wurzeltiefgang und Wurzeloberfläche werden durch Bodenverdichtung reduziert
- Eine Nutzungsintensivierung fördert flachwurzelnnde Pflanzenarten mit relativ geringer Wurzelmasse

# Schlussfolgerungen

**Nährstoffgehalt im Boden → wichtiger, aber nicht der einzige ertragsbegrenzende Faktor**

**Ursachen für einen geringen oder sinkenden Grünlandertrag:**

- **niedriger mobilisierbarer Nährstoffvorrat und/oder geringe Freisetzungs- und Nachlieferungsrate der Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln**
- **Schadstoffe und/oder ungünstige Verhältnisse der einzelnen Nährelemente**



# Schlussfolgerungen

**Ursachen für einen geringen oder sinkenden Grünlandertrag:**

- **geringe Durchwurzelung**
- **niedrige durchschnittliche Bodentemperatur, häufiger und/oder langandauernder Wasserüberschuss bzw. Wassermangel**
- **stark verdichteter Oberboden**
- **geringe Bodenmächtigkeit, geringer Feinbodenanteil, geringe Humusmenge**

# Schlussfolgerungen

## Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe und Düngewirkung

- Nährstoffgehalt im Oberboden bzw. Nährstoffmenge im durchwurzelten Boden
- Zahlreiche andere Bodeneigenschaften (insbesondere Bodentemperatur, Bodenwasserhaushalt, Bodenstruktur, pH-Wert, mikrobielle Aktivität, Durchwurzelbarkeit)
- Vegetation (Pflanzenartenzusammensetzung)
- Witterung und Klima
- Relief

# Schlussfolgerungen

## Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden und Effizienz der Düngung - Maßnahmen

- **Düngung an den mengenmäßigen und zeitlichen Nährstoffbedarf der Vegetation anpassen**
- **auf eine richtige Wahl der Düngemittel achten**
- **Witterung, Bodenzustand und Geländeform bei der Ausbringung der Düngemittel beachten**
- **auf günstige Verhältnisse der einzelnen Nährelemente im Grünlandboden achten**

# Schlussfolgerungen

- **Düngung und Nutzungsintensität an den Standort und an den Pflanzenbestand anpassen**
- **Bodenverdichtung (Schadverdichtung) weitgehend vermeiden**
- **Erhaltung oder Schaffung einer ganzjährig geschlossenen, dichten Grasnarbe**
- **Aktivierung des Bodenlebens durch Zufuhr organischer Dünger**

# Schlussfolgerungen

- Erhöhung des pH-Wertes im Hauptwurzelraum von stark versauerten Grünlandböden (pH  $\text{CaCl}_2$ : < 5.0) durch Kalkung oder Zufuhr basenreicher Gesteinsmehle
- Entwässerung feuchter oder nasser Standorte (Naturschutzaspekte berücksichtigen)

# Bodenfruchtbarkeit kommt nicht aus dem Düngersack



**Andreas Bohner**  
**Abteilung für Umweltökologie**