



*Stickstoffdüngung und  
Bodenfruchtbarkeit:  
Fakten statt Mythen*

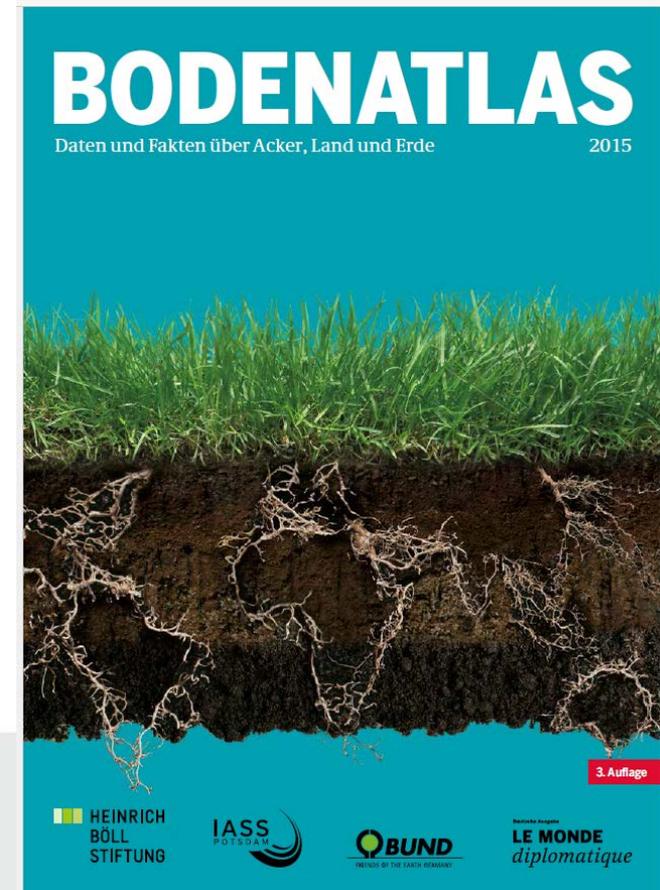
Dr. Hans-Jürgen Klasse  
LAD Bayern, AlzChem AG

## Gängige Vorurteile:

### Mineralische Stickstoffdünger:

- ... „schädigen die Böden“
- ... „fördern den Abbau von Humus“
- ... „lassen die Lebewesen im Boden verhungern“
- ... „versauern die Böden stark“
- ... „verringern das Bodenleben“
- ... „lassen die Bodenfruchtbarkeit schwinden“
- ... „können die Böden langfristig zerstören“

Quelle: Bodenatlas, Heinrich-Böll-Stiftung, 2015



## 2015 - „Jahr des Bodens“ der Vereinten Nationen UN

### Was wissen wir eigentlich über das Bodenleben?

In einem Gramm Ackerboden gibt es bis zu

- 10 Milliarden Bakterienzellen
- ca. 1 Milliarde Archaeen (Urbakterien)
- dazu kommt noch einmal die gleiche Biomasse an Pilzen



Quelle: Thünen-Institut: Bodenorganismen: Das Universum unter unseren Füßen, 2015

## 2015 - „Jahr des Bodens“ der Vereinten Nationen UN

### Was wissen wir eigentlich über das Bodenleben?

In einem Hektar Ackerboden gibt es ca. 5.000 kg Biomasse (entspricht ca. 100 Schafen), davon ca. 2.000 kg Bakterien

In einem Hektar Grünlandboden gibt es ca. 100.000 kg Biomasse (2.000 Schafe)



Quelle: Thünen-Institut: Bodenorganismen: Das Universum unter unseren Füßen, 2015

## Die Mikroflora des Bodens:

- besteht aus Zehntausenden unterschiedlicher Arten
- erst ein winziger Bruchteil dieser Arten ist überhaupt erforscht
- alle Arten stehen in einem sich ständig anpassenden Gleichgewicht
- **Die wenigsten dieser Arten sind Erreger von Pflanzenkrankheiten!**

Mit jeder Maßnahme, die wir auf dem Acker durchführen oder auch unterlassen, nehmen wir Einfluss auf die Mikroflora und deren Zusammensetzung!



## Was zeichnet die Mikroflora eines gesunden Bodens aus?

- Hohe Gesamtzahl an Mikroben
- Hohe Artenzahl (Diversität)
- Hohe Aktivität der Mikroben (Enzyme!)



## Was bewirkt die Mikroflora eines gesunden Bodens?

- Hohe natürliche Konkurrenz
- Rascher Abbau (infektiöser) Erntereste
- Mineralisierung von Nährstoffen
- Unterdrückung von Krankheitserregern (Konkurrenz und Antagonismus)

Ein aktives Bodenleben beugt bis zu einem gewissen Grad der Ausbreitung bodenbürtiger Pflanzenkrankheiten vor!

## Voraussetzungen für einen biologisch aktiven Boden:

- Vermeidung von Strukturschäden (Gasaustausch)
- Ausreichende Basensättigung
- **Ausreichende Nährstoffversorgung**
- Ausreichendes Angebot an leicht zersetzbarer organischer Substanz (Energiezufuhr!)

Archaeen vom Typ *Pyrococcus furiosus*

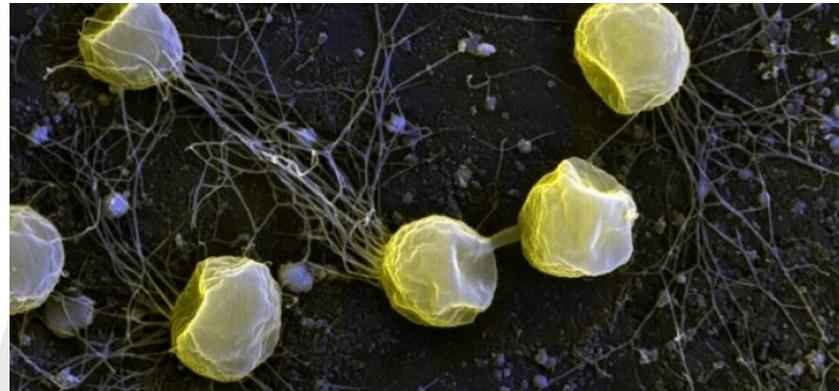


Foto: Gerhard Wanner. LMU München

## Was muten wir unseren Böden zu?



Foto: Dixon, UK

## Was muten wir unseren Böden zu?



Foto: Volker Prasuhn, [www.schweizerbauer.ch](http://www.schweizerbauer.ch)

## Welchen Einfluss nehmen wir auf das Bodenleben?

Fruchtfolge →  
Bodenbearbeitung →  
Kalkung →  
Organische Düngung →  
Mineralische Düngung →  
Pflanzenschutz →  
Bodenverdichtungen →

„Black Box“  
Boden  
?

Messung/ Beobachtung

- Bodenatmung
- Enzymaktivitäten
- Mikrobiologische Tests
- Genom-Analyse

Die wertvollsten Erkenntnisse liefern Dauerversuche!

## Untrügliche Informationsquelle: Dauerdüngungsversuche!

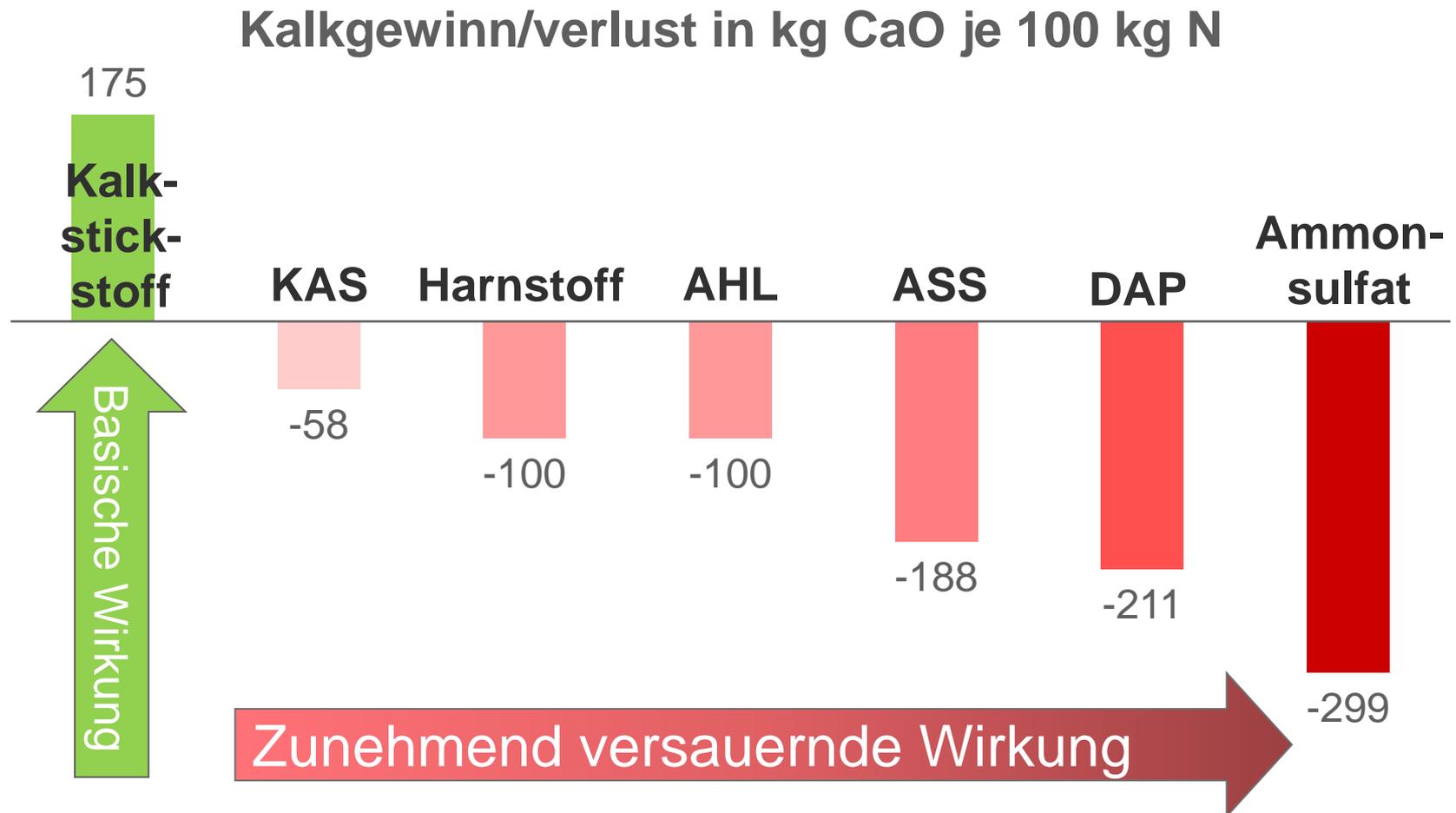
- Auswirkungen unterschiedlicher Düngungs- oder Bewirtschaftungssysteme oft erst nach Jahren oder Jahrzehnten sicht- oder messbar
- Ausschaltung von Jahreseinflüssen, Messfehlern
- Anpassung der Bodenbiologie an veränderte Verhältnisse

## Welchen Einfluss haben mineralische N-Dünger?

- Verstärktes Pflanzenwachstum, dadurch mehr Wurzelexsudate und mehr Erntereste (= mehr Substrat für die Mikroben!)
- Dienen den Mikroorganismen z.T. als N-Quelle und fördern dadurch die Verrottung von Ernterückständen (v.a. bei weitem C/N-Verhältnis!)
- Können den pH-Wert des Bodens beeinflussen

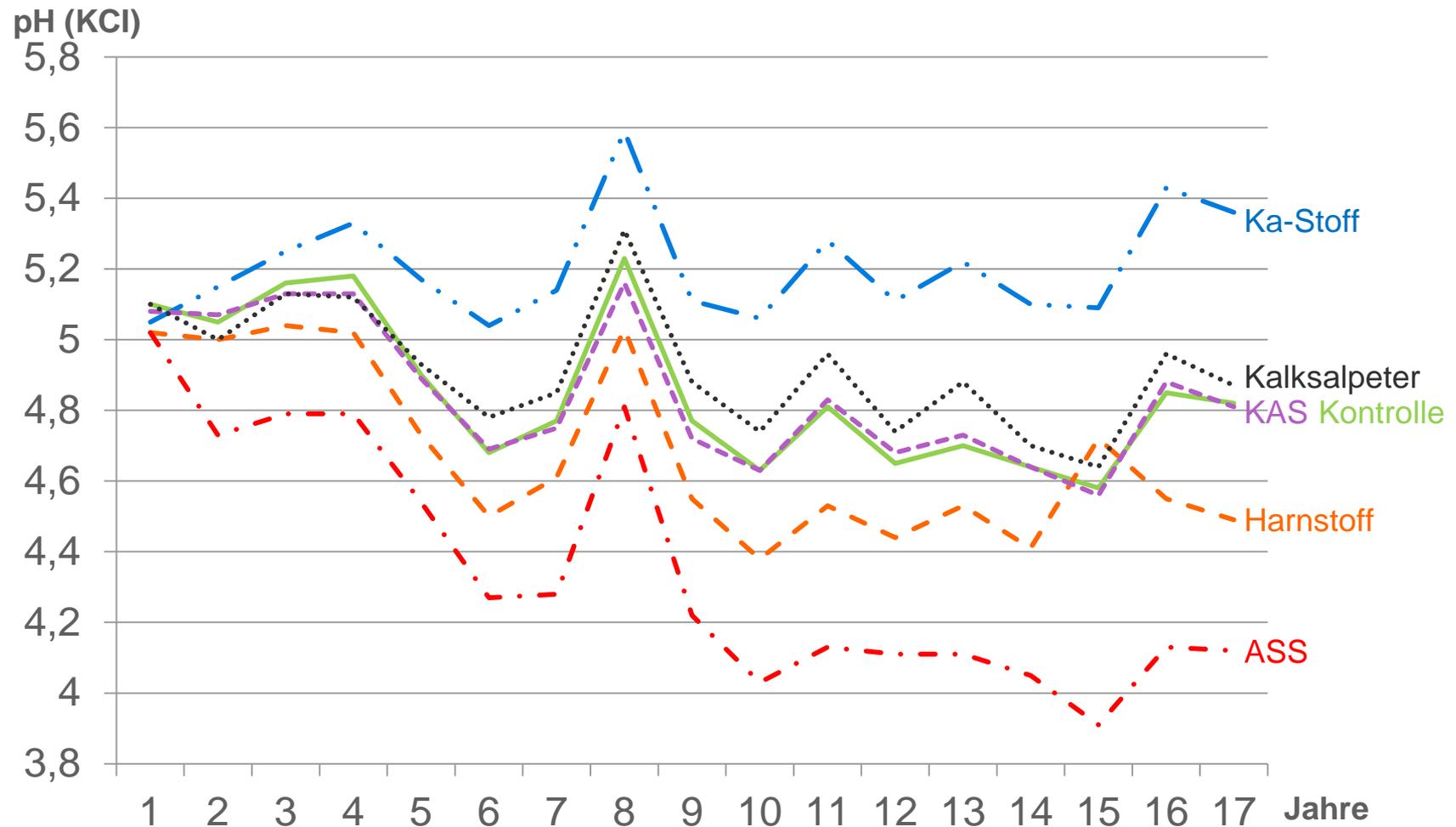
# Der Kalkwert\* von Stickstoffdüngern

\*nach der Formel von Sluijsmans



# Auswirkung einer langjährig unterschiedlichen Stickstoffdüngung auf den pH Wert des Bodens

17 Versuchsjahre, 80 kg N/ha und Jahr, 1.000 mm jährl. Niederschlag



# Bodenwerte nach 17 Jahren unterschiedlicher N-Düngung

80 kg N /ha und Jahr, 1.100 mm jährl. Niederschlag

Dünger	C-Gehalt (%)	N-Gehalt (‰)	P2O5 mg/100g	K2O mg/100g
Ohne N-Dünger	1,52	1,21	26,3	10,8
Harnstoff	1,54	1,21	23,9	8,4
KAS	1,55	1,27	23,8	8,7
Kalkstickstoff	1,61	1,25	29,7	9,7
Ammonsulfat	1,61	1,29	21,7	7,9

Auf allen Parzellen erfolgte im zweijährigen Turnus eine Stallmistgabe von 40 t/ha  
 Ferner erfolgte ein kulturbezogene Grunddüngung mit Superphosphat und Kalisulfat

## Fazit nach 17 Jahren unterschiedlicher N-Düngung:

- Anstieg bzw. Rückgang Boden-pH-Wertes je nach N-Düngerform, bei KAS keine pH-Veränderung gegenüber ungedüngt.
- Keine Abnahme, sondern eher **Zunahme des C-Gehaltes** bei allen mineralischen N-Düngern
- Keine Abnahme, sondern eher **Zunahme des Gesamtstickstoffs** im Boden
- Einfluss auf verfügbares Phosphat allein durch pH-Effekt
- Minimale Abnahme an verfügbarem Kalium aufgrund des erhöhten Entzugs durch die Pflanzen bei N-Düngung

## Dauerversuch Bad Salzungen 1966 – 2015

Organische Düngung	Mineralische Stickstoff-Düngung kg N/ha u. Jahr ** Im Mittel über die Fruchtfolge					
<b>Ohne</b>	0	46	93	140	186	232
<b>Stallmist*</b> 100 dt/ha p.a.	0	46	93	140	186	232
<b>Gülle + Stroh*</b> 25 dt Stroh + 11,3 cbm Gülle	0	46	93	140	186	232

\* die Gaben an organischen Düngern wurden zusammengefasst und alle 2 bzw. 3 Jahre ausgebracht

\*\* die mineralische Düngung wurde fruchtfolgespezifisch aufgeteilt  
Kulturen: Getreide, Kartoffeln, Silomais, Raps

Quelle: Zorn u. Schröter, TLL, Bauernzeitung 31/2015

# C<sub>org</sub>-Gehalt im Boden nach 50 Jahren differenzierter N-Düngung im Dauerversuch Bad Salzungen

Organische Düngung	Mineralische Stickstoff-Düngung kg N/ha u. Jahr **					
	Im Mittel über die Fruchtfolge					
	0	46	93	140	186	232
<b>Ohne</b>	0,51	0,55	0,60	0,69	0,74	0,79
<b>Stallmist*</b> 100 dt/ha p.a.	0,68	0,82	0,90	0,95	1,01	1,04
<b>Gülle + Stroh*</b> 25 dt Stroh + 11,3 cbm Gülle	0,64	0,72	0,85	0,91	0,95	1,00

\* die Gaben an organischen Düngern wurden zusammengefasst und alle 2 bzw. 3 Jahre ausgebracht

\*\* die mineralische Düngung wurde fruchtfolgespezifisch aufgeteilt  
Kulturen: Getreide, Kartoffeln, Silomais, Raps

Quelle: Zorn u. Schröter, TLL, Bauernzeitung 31/2015

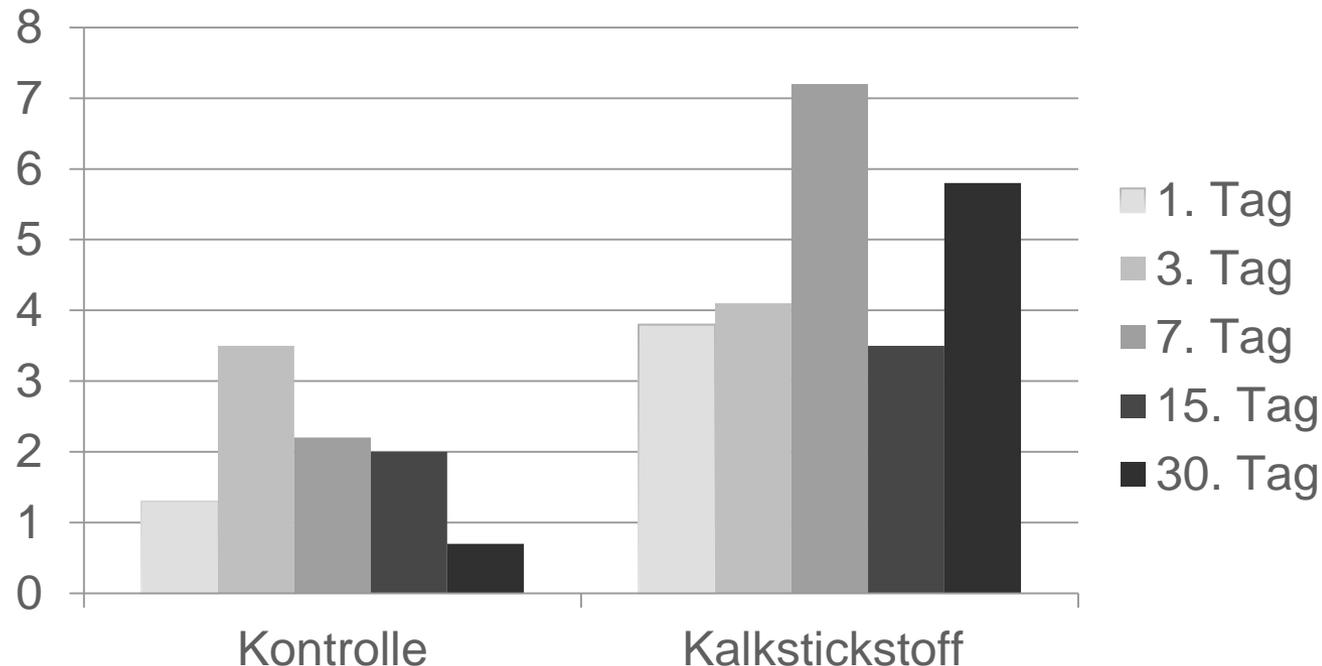
## Fazit: 50 Jahre Dauerversuch Bad Salzungen Auswirkung auf den Humusgehalt

---

- ▶ Organische Düngung erhöht den Humusgehalt im Boden
- ▶ Stallmist fördert den Humusgehalt etwas besser als Gülle + Stroh
- ▶ Mineralische N-Düngung erhöht ebenfalls den organisch gebundenen Kohlenstoff
- ▶ **Mit steigender N-Düngung steigt auch der Humusgehalt im Boden!**
- ▶ Die höchsten  $C_{\text{org}}$ -Gehalte werden durch eine Kombination von organischer und mineralischer N-Düngung erreicht.

# Inkubationsversuch: Anzahl der **Bakterien** im Boden nach Stickstoffdüngung

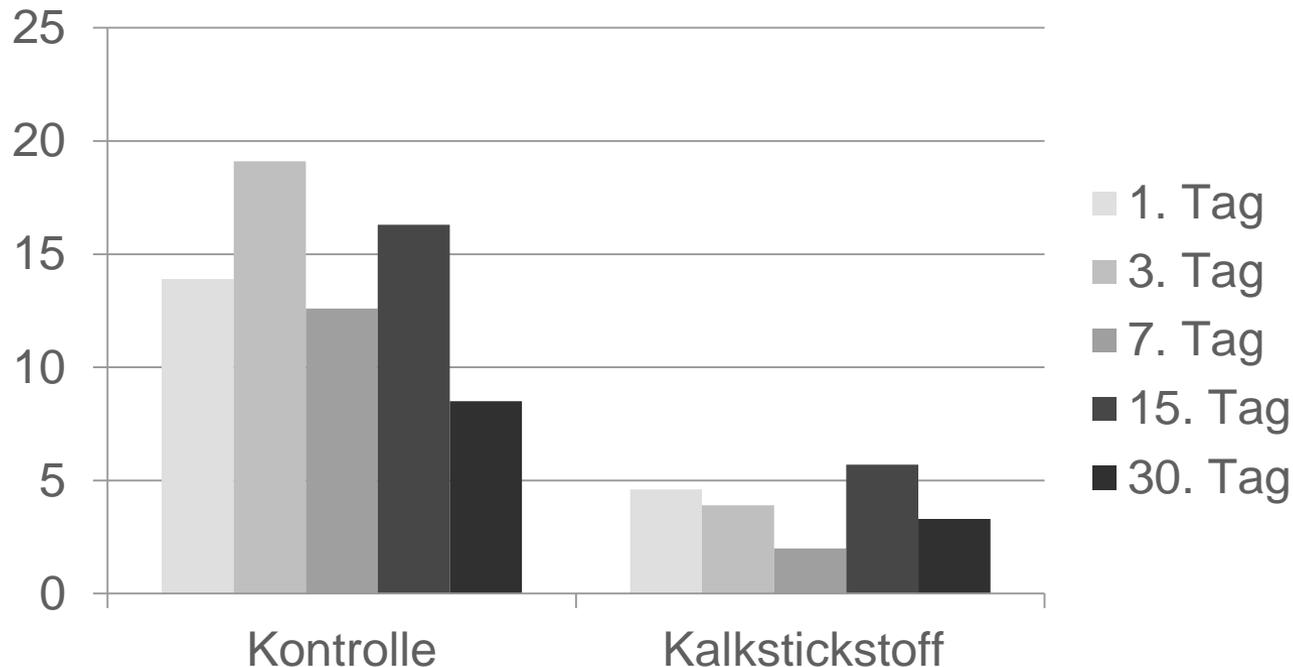
Anzahl der kolonieformenden  
Einheiten x  $10^7$ /g Boden



Starke Förderung der Bakterien vor allem eine Woche nach der Anwendung.  
Auch nach 30 Tagen noch stark erhöhte Aktivität!

# Inkubationsversuch: Anzahl der **Pilze** im Boden nach Stickstoffdüngung

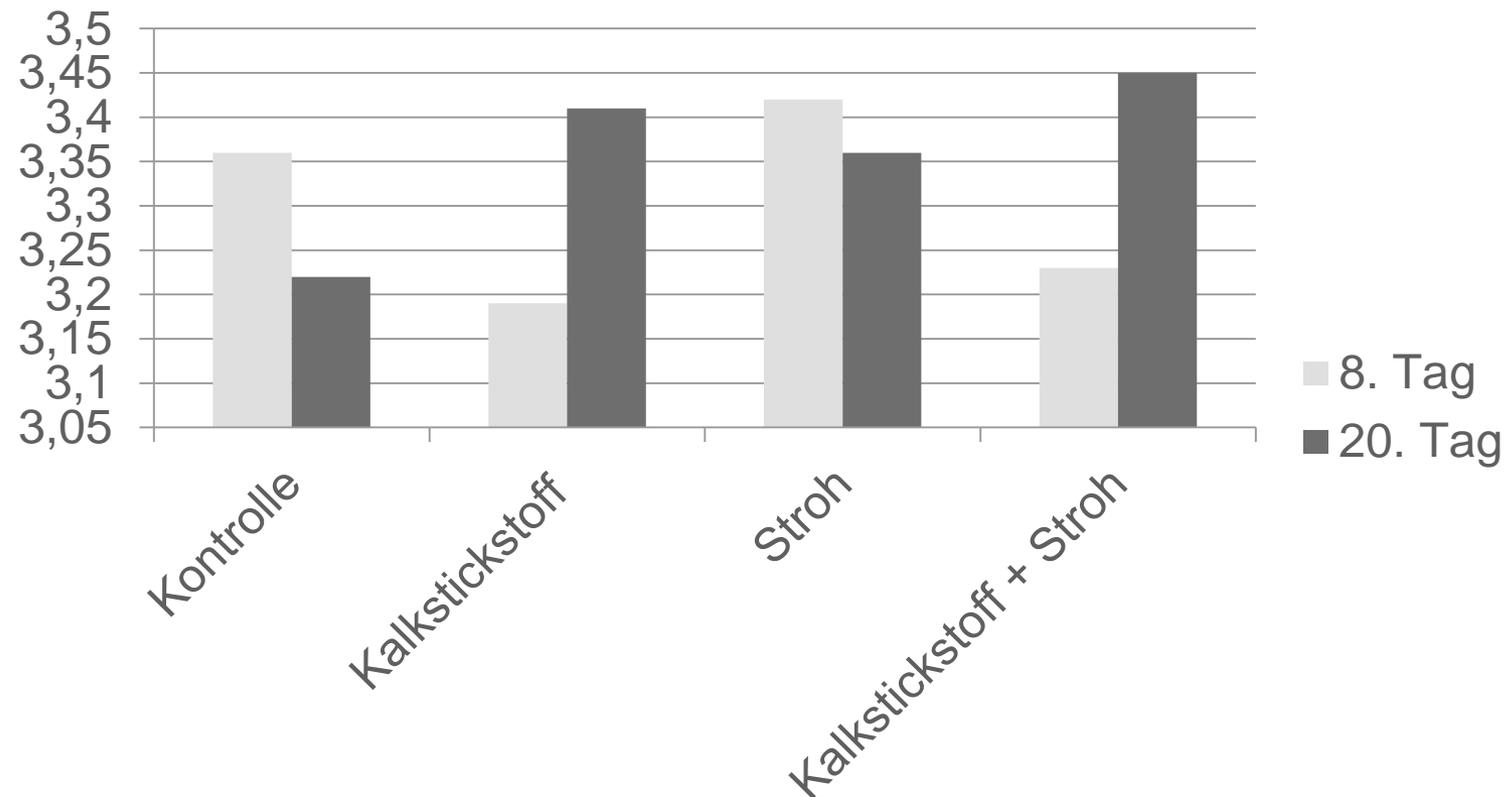
Anzahl der kolonieformenden  
Einheiten x 10<sup>4</sup>/g Boden



Kalkstickstoff verschiebt das Gleichgewicht von den Pilzen in Richtung Bakterien. Auch nach 30 Tagen noch deutlich weniger Pilze im Boden.

## Artenvielfalt Bakterien nach einer Stickstoffdüngung

Shannon Diversity Index

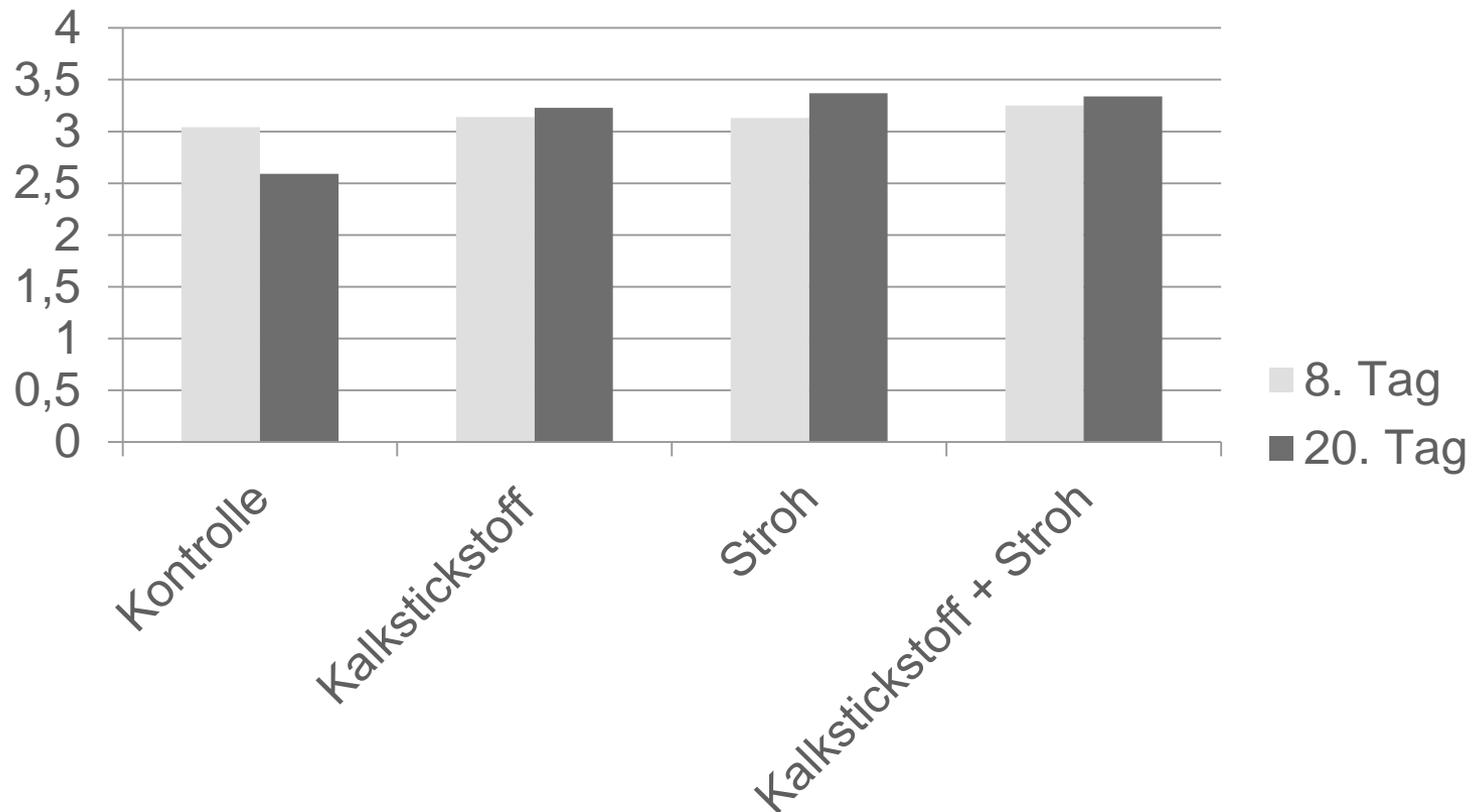


Kalkstickstoff reduziert nur kurzfristig (8 Tage) die Artenvielfalt  
mittelfristig (20 Tage) nimmt die Artenvielfalt zu.

Latent vorhandene Arten werden gefördert, so dass sie bestimmbar werden.

## Artenvielfalt Pilze nach einer Stickstoffdüngung

Shannon Diversity Index



Kaum Auswirkungen der Düngungsvarianten auf die Artenvielfalt der Pilze, Tendenziell wirkten sich alle Düngungsmaßnahmen leicht positiv aus!

## Inkubationsversuch Fazit: Einfluss einer Kalkstickstoffdüngung auf die Mikroflora

- ▶ Die Gesamtzahl der Mikroben steigt deutlich an
- ▶ Bakterien werden stark gefördert, Pilze leicht gehemmt
- ▶ Die Artenvielfalt nimmt tendenziell zu
- ▶ Höhere Artenvielfalt bedeutet stabileres Gleichgewicht, pathogene Keime haben mehr Konkurrenten und Gegenspieler
- ▶ Die unterdrückende Wirkung des Kalkstickstoffs auf bodenbürtige Pflanzenkrankheiten beruht offensichtlich weniger auf einer direkten Bekämpfung als vielmehr auf der gesteigerten biologische Aktivität des Bodens (= verstärkte Konkurrenz, verstärkter Antagonismus).

## Dauerversuch Weihenstephan über 53 Jahre:

1. Kontrolle, ohne N-Düngung
2. Stallmist: 300 dt/ha alle 3 Jahre
3. Kalkstickstoff
4. Schwefelsaures Ammoniak
5. Schwefelsaures Ammoniak + Kalkausgleich
6. Kalksalpeter

Mittel: 72 kg N/ha und Jahr

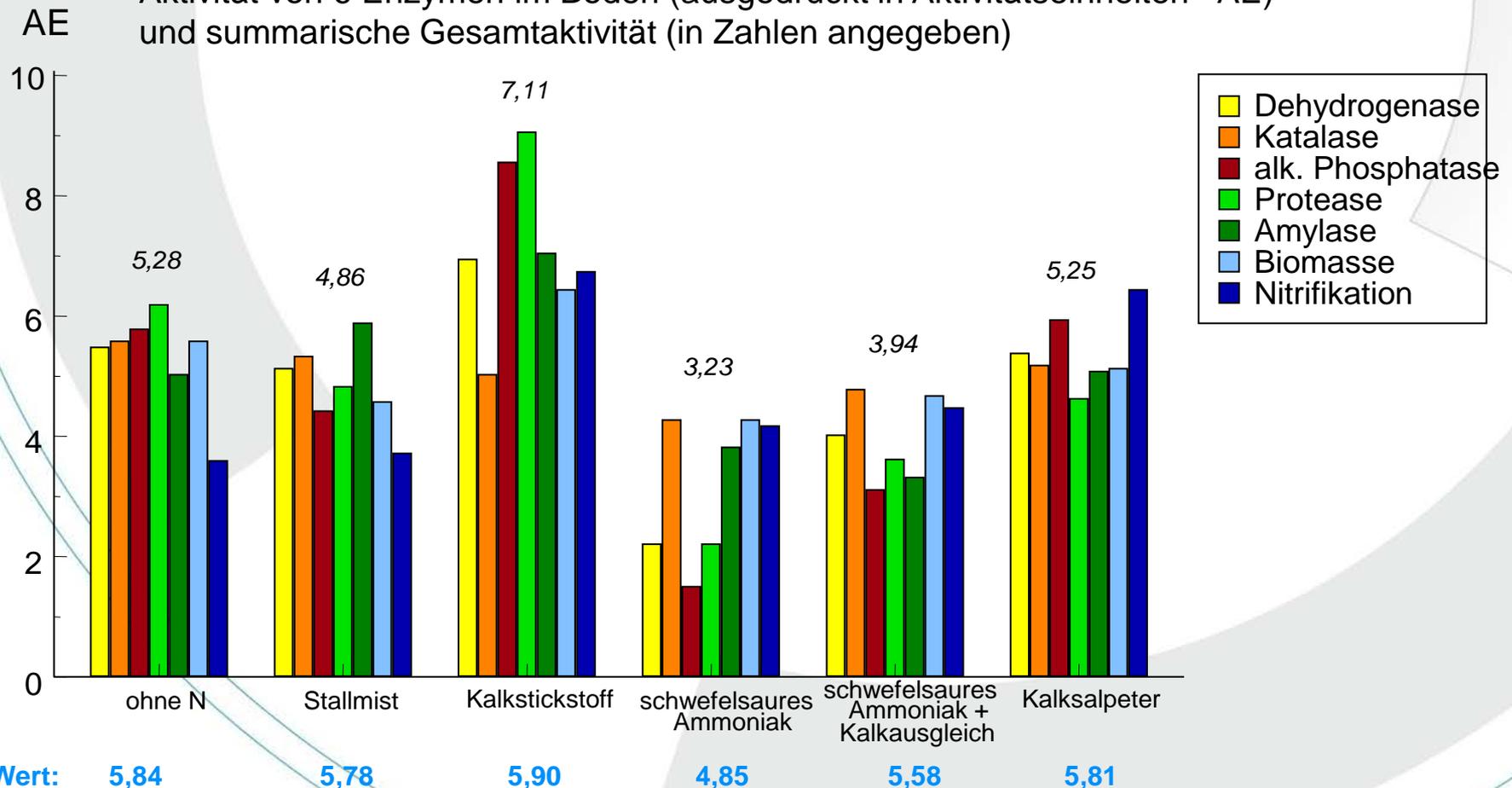
P u. K-Düngung einheitlich mit durchschnittlich 66 kg  $P_2O_5$  und 108 kg  $K_2O$

# Dauerversuch Weihenstephan: Parameter des Bodens nach 53 Jahren

	Ohne N	Stallmist	Kalkstickstoff	SSA	SSA + Kalkausgleich	Kalksalpeter
Gesamt-N	95,6	110,9	105,2	108,4	106,9	98,8
Gesamt-C	807	978	910	911	933	836
pH	5,84	5,78	5,90	<b>4,85</b>	5,58	5,66

# Dauerversuch Weihenstephan: Biologische Aktivität des Bodens nach 53 Jahren

Aktivität von 6 Enzymen im Boden (ausgedrückt in Aktivitätseinheiten - AE) und summarische Gesamtaktivität (in Zahlen angegeben)



## Dauerversuch Weihenstephan, Fazit nach 53 Jahren:

- Alle Stickstoff-Dünger erhöhen den Humusgehalt des Bodens
- Alle Stickstoff-Dünger erhöhen den Gehalt an organisch gebundenem Stickstoff im Boden
- Die Enzymaktivitäten werden offensichtlich nur wenig von der N-Düngung beeinflusst: Stallmist, Kalksalpeter und ungedüngt weisen ähnliche Werte auf! Die höhere Aktivität bei Kalkstickstoff und die niedrigere bei Ammonsulfat sind vermutlich eine indirekte Wirkung über den pH-Wert des Bodens.
- Auch in diesem Versuch konnte keinerlei negativer Einfluss der Mineraldünger auf die Bodenfruchtbarkeit beobachtet werden!

## Einfluss von Stickstoffdüngern auf die Regenwürmer

- Standardtests zur Prüfung der Wirkung von Chemikalien auf Regenwürmer finden in Gefäßen mit 5 – 7 cm Bodentiefe statt.
- Keine Ausweichmöglichkeiten, kein realistisches Szenario
- Aufschluss können auch hier nur Dauerversuche geben!



Foto: Flickr

## Einfluss der mineralischen Stickstoffdüngung\* auf Anzahl und Biomasse von Regenwürmern

Auswertung Dauerversuch 33 Jahre, Universität Temesvar Rumänien:

Düngung kg N/ha u. Jahr	Regenwürmer Anzahl / m <sup>2</sup>	Regenwürmer g/m <sup>2</sup>	pH	C org mg/kg	Gesamt-N mg/kg
0	9,33	4,40	6,67	2,26	0,22
200	26,67	9,20	6,12	2,53	0,31

\*Ammoniumnitrat

Quelle: Iordache u. Borza, Plant Soil Environ., 56, 2010(9): 401-407

# Einfluss der mineralischen N-Düngung auf Regenwürmer

## Auswertung von Dauerversuchen in Rothamsted (z.T. < 100 Jahre!):

- Starke Korrelation zwischen mineralischer N-Düngung und Anzahl Regenwürmer: Je höher die Düngung, desto mehr Regenwürmer!
- Höchste Regenwurmdichte bei Kombination von organischer und mineralischer N-Düngung
- Effekte auf Ackerland stärker ausgeprägt als im Grünland
- Größere Einzelgaben an Gülle können Regenwürmer schädigen

Quelle: Edwards u. Lofty, Soil Biology and Biochemistry, Vol. 14. Issue 5, 1982, 515-521

# Einfluss der mineralischen N-Düngung auf Regenwürmer

## Fazit aus Dauerversuchen:

- ▶ Den stärksten Einfluss auf die Regenwurmpopulation haben
  - ▶ Nutzungsform
  - ▶ Jahreswitterung
  - ▶ Bodenbearbeitung
  - ▶ Fruchtfolge
- ▶ Die mineralische N-Düngung hat keinen schädigenden, sondern einen positiven Einfluss auf die Regenwurmpopulation!



Foto: Thinkstock/Goldstein

## Schlussfolgerungen für die Praxis:

- ▶ Vermeiden Sie einseitige Fruchtfolgen und Strukturschäden!
- ▶ Achten Sie auf eine ausreichende Basensättigung!
- ▶ Gönnen Sie den Mikroben ausreichend leicht zersetzbare organische Substanz (organische Düngung, Gründüngung)!
- ▶ Erhalten bzw. steigern Sie die biologische Aktivität des Bodens durch eine **bedarfsgerechte mineralische Stickstoffdüngung!**
- ▶ Ein aktives Bodenleben fungiert wie ein Immunsystem für die Pflanzen: Gesundes Wachstum auf gesunden Böden!

## Lassen Sie unsachliche Behauptungen zum Thema “N-Dünger und Bodenfruchtbarkeit” nicht unwidersprochen!

- ▶ **Nachfragen:** “Woher wissen Sie das? Kennen Sie einen Versuch oder eine wissenschaftliche Quelle, welche diese Behauptung belegt?”
- ▶ **Verweisen** Sie auf die zahlreichen langjährigen Dauerversuche, welche allesamt genau das Gegenteil beweisen!
- ▶ **Erklären** Sie den Zusammenhang von Ertragssteigerung, mehr Ernterückständen und Steigerung der biologischen Aktivität durch mineralische N-Dünger!

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Foto: NCRS Soil Health/Flickr