

Glyphosat: Wie problematisch ist Glyphosat in der Landwirtschaft und Umwelt?



V. Römheld und G. Neumann, Pflanzenernährung und
Rhizosphärenforschung, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften,
Universität Hohenheim (330), 70593 Stuttgart, Germany
E-mail: v.roemheld@uni-hohenheim.de

Übersicht:

- Einleitung
- Weltweit beobachtete Schäden durch Glyphosat
- Glyphosat-Effekte bei Weizen in Direktsaat (Kurzzeiteffekte)
- Langzeit-Effekte von Glyphosat
- Vermeidungsstrategien
- Zusammenfassung/Schlußfolgerungen

Fachtagung der GKB – AG NRW – Für Praxis und Beratung
Kleve 10.12. 2012

■ Einleitung:

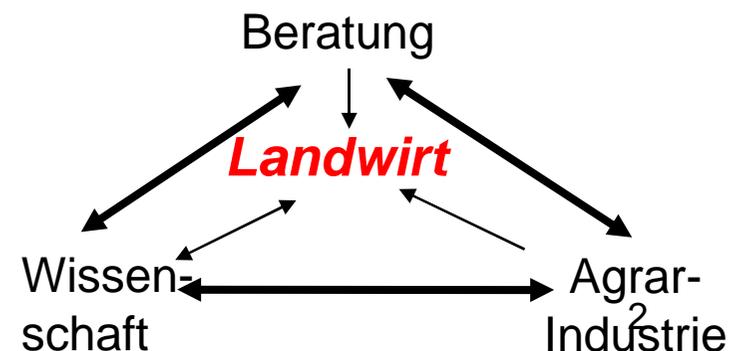
- Schonende Bodenbearbeitung wie Direkt- oder Mulchsaat ist **wichtige Voraussetzung für Erosionsschutz** und verminderte Gewässerbelastungen mit Nitrat und anderen Schadstoffen.
 - Direkt- und Mulchsaat erfordert mehr Herbizideinsatz zur Unkrautunterdrückung!
 - Vermehrter Herbizideinsatz begünstigt Herbizidresistenzen, verminderte Krankheitsresistenz mit erhöhtem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und bei unsachgemäßer Anwendung Ertragseinbußen!
- Wie soll Glyphosat vom Landwirt ohne Pflanzenschäden angewendet werden?



Brasilien: vor Umstellung



Nach Umstellung auf Direktsaat



Roundup® UltraMax ist da!

**Sicherheit und
Wirksamkeit.
Immer und überall.**



Roundup® UltraMax,
der neue Standard in der
Flüssigformulierung.

- Maximale Zuverlässigkeit und Wirksamkeit
- Regenfest bereits nach 1 Stunde
- Unkraut nach nur 7 Tagen auch bei Geizkeim
- Anwendung möglich auf laubbearbeiteten Beständen
- Unabhängig von Temperaturwechseln



Unkrautwilde Pflanzen in voller Blüte - geringe Konzentration
Keine Anwendung von Roundup® UltraMax - starke Konzentration
keine Blüte, keine Blätter

Das neue, noch stärkere Roundup® UltraMax ist ein Standard für alle, die eine sichere Unkrautbekämpfung über die ganze Saison hinweg für Weizen, Winterweizen, Gerste und Mais anstreben. Das neue Roundup® UltraMax ist ein Standard für alle, die eine sichere Unkrautbekämpfung über die ganze Saison hinweg für Weizen, Winterweizen, Gerste und Mais anstreben.

- 25% höhere Konzentration und dadurch niedrigere Aufwandsmengen pro Hektar
- Breitestes Zulassungsspektrum
- Keine Abstandsauflagen zu Nichtzielpflanzen und Gewässern, Lindervorgärten beschriftet



Wirkt maximal - immer!

Hotline 0180-100 80 21
Rundum und komplett für Beratung immer bereit
Info: www.roundup-ultramax.de

MONSANTO



**Sicherheit und
Wirksamkeit.**

Immer und überall!

**Ist dieser Werbeslogan
von Monsanto korrekt?**

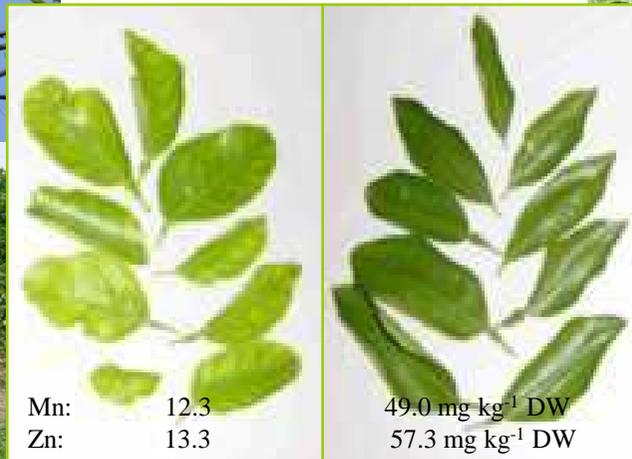
**Gibt es Interaktionen zwischen
Glyphosat und Aneignung von
Nährstoffen und deren
Verlagerung in Pflanzen, die
wir näher betrachten müssen?**

■ Weltweit beobachtete Pflanzenschäden durch Glyphosat:

Weitverbreitetes Citrussterben in Sao Paulo State/Brasilien durch C.V.C. (*Xylella fastidiosa*) im traditionellen Anbau mit Glyphosat verbunden **mit sehr geringen Zn- und Mn-Konzentrationen** in den Blättern.



(traditional system)



(biological system)



Glyphosat-induzierter Mn-Mangel in den USA, (Photo: D. Huber)

Glyphosat-induzierter Fe- (Mn-) Mangel bei Soya auf Kalkböden in Minnesota/USA (Jolley et al., 2004)

Behandlung	visueller Chlorosegrad (1=grün bis 5 =stark)		Kornertrag (t/ha)	
	- Fe	+ Fe*	- Fe	+ Fe*
Kontrolle (kein Herbicid)	3.1	2.8	1.01	1.70
Glyphosat	3.7	3.3	0.27	0.61

* 50g Fe/ha als FeEDDHA Saatgutbehandlung

■ **Glyphosat-Effekte bei Weizen in Direktsaat in B-W (Kurzzeiteffekte):**

Ausgangsbeobachtungen von Landwirten im Jahr 2007/2008:

Schadwirkungen nach Glyphosatvorsaatbehandlungen einer Luzerne-Vorkultur nach kurzen Wartezeiten bis zur Aussaat von Winterweizen in Direktsaat

Standort Wendelsheim Reg. Bez. Tübingen: Frühjahr 2008



6 L/ha, 8d

6 L/ha, 18d

2 L/ha, 8d

2 L/ha, 18d

Standort Hirrlingen; Winterweizen Mai 2008: **Totalausfall**





Initiierung des Landesversuchs 115 Baden Württemberg (2008)

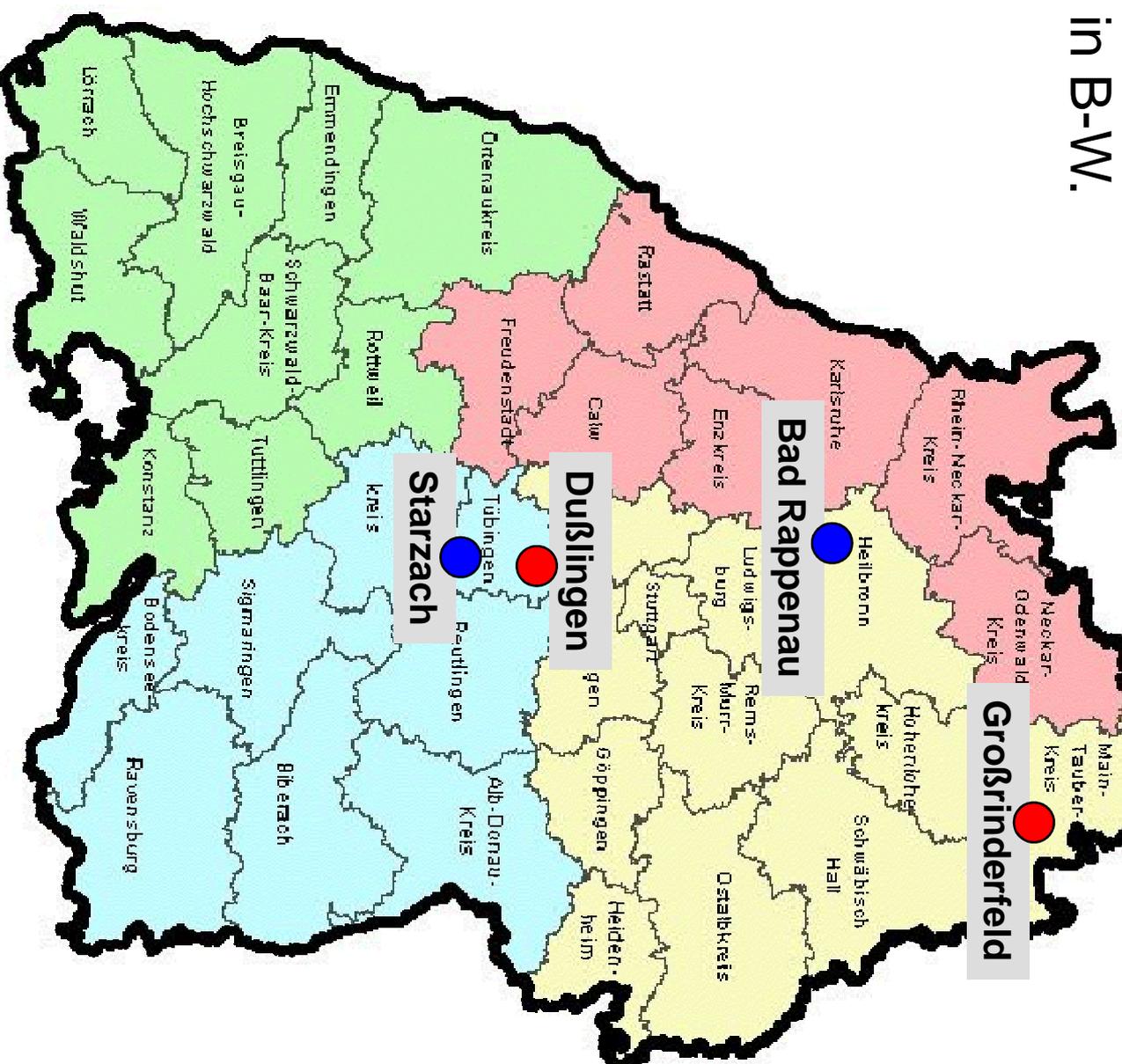
1. Feldversuche

2. Begleitende Modellversuche zum Landesversuch 115



Versuchsstandorte

4 Standorte in B.-W.





LV 115 Einsatz von Glyphosat vor der Aussaat von Winterweizen

Versuchsfrage:

1. Hat die Anwendung von Glyphosat vor der Saat negative Auswirkungen auf die Folgefrucht Winterweizen?
2. Wie wirken sich der Glyphosateinsatz auf den Ertrag und die Rentabilität aus?

Versuchsplan

Variante	Mittel	Aufwand l/ha	Anwendungstermin
1	Roundup UltraMax	2,0	ca. 20 Tage v. d. Saat
2	Clinic	2,5	ca. 20 Tage v. d. Saat
3	Agil-S + Basta	0,5 + 4,0	ca. 20 Tage v. d. Saat
4	Roundup UltraMax	2,0	ca. 10 Tage v. d. Saat
5	Clinic	2,5	ca. 10 Tage v. d. Saat
6	Roundup UltraMax	2,0	2 Tage vor der Saat
7	Clinic	2,5	2 Tage vor der Saat
8	Basta	4,0	2 Tage vor der Saat



Großrinderfeld Direktsaat

Quelle: Hartmut Lühner, LWK Mecklenburg-Vorpommern

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Roundup UltraMax

18 Tage vor Saat

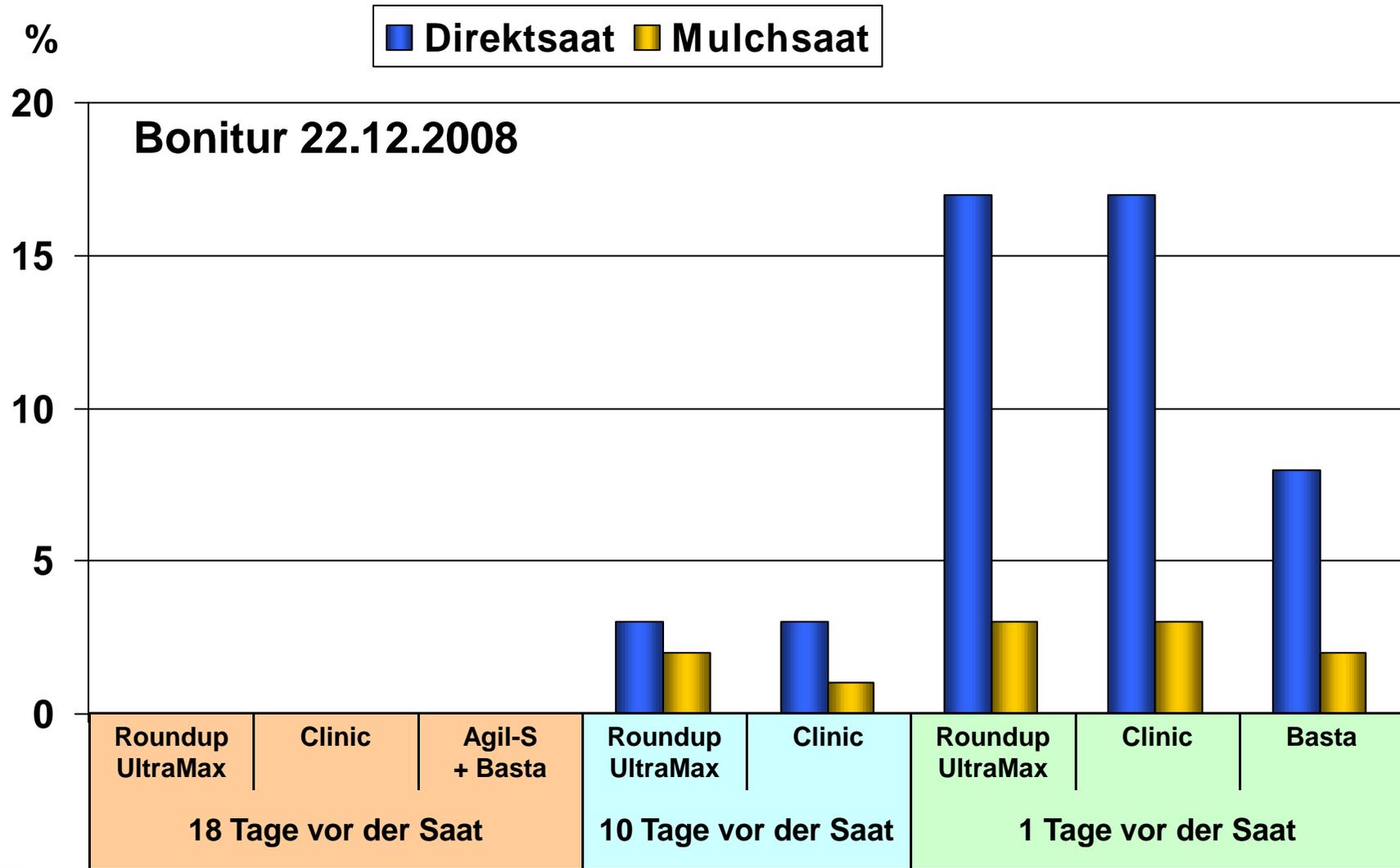
1 Tag vor Saat



22-Dez-08 11:28

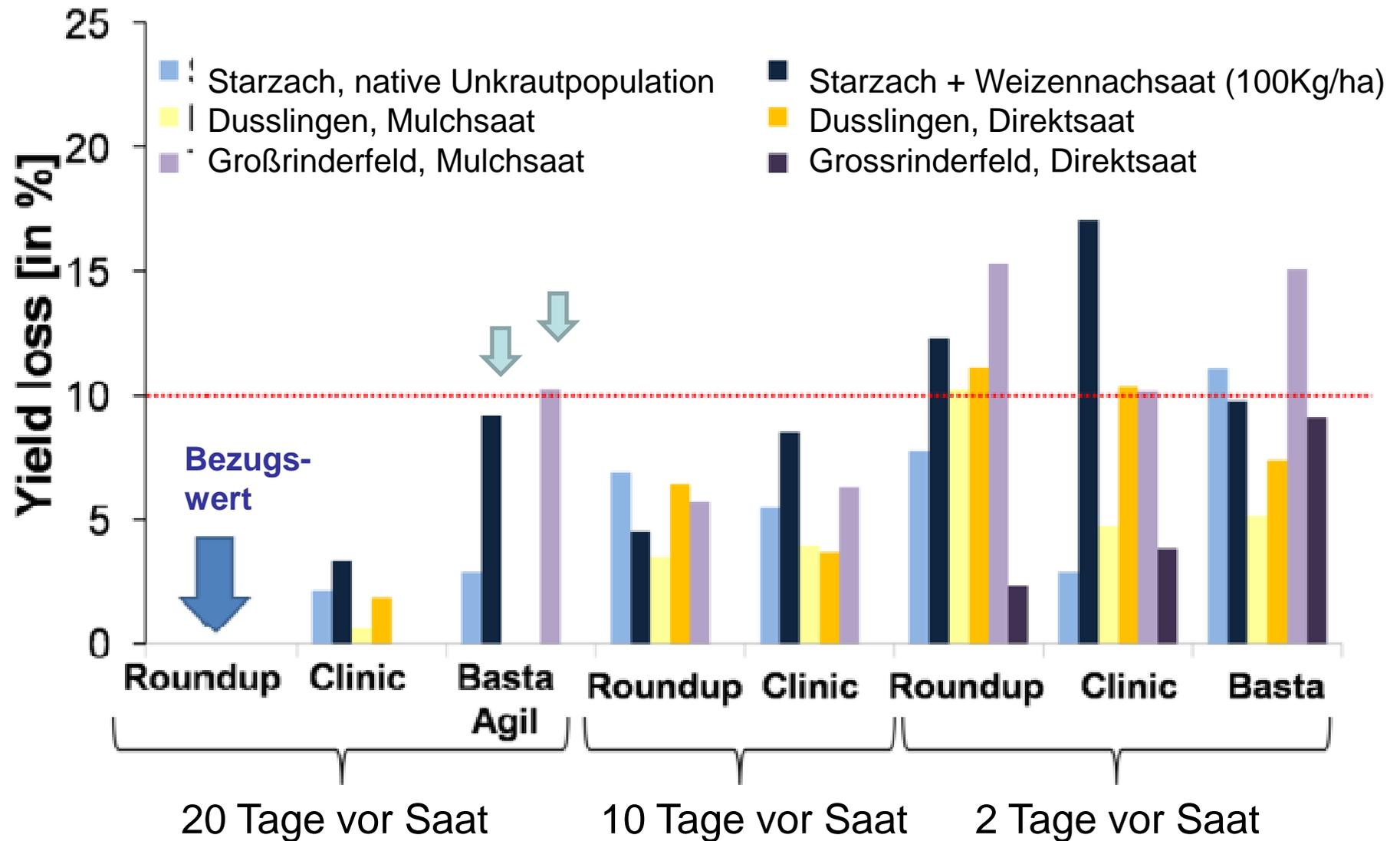


Großrinderfeld: Ausdünnung der Bestandesdichte



Direktsaat zeigt stärkere Schäden (Ausdünnung) als Mulchsaat

LV 115 – Übersicht: Relative Ertragsverluste



***Kann ein Landwirt diese häufig geringen, aber
signifikanten Ertragsvermindierungen bei
kurzer Wartezeit ohne Kontrolle sicher
erkennen?***

Anlegen von Spritzfenstern !!!



Fazit:

Kurze Wartezeiten nach Glyphosat-Vorsaatbehandlungen begünstigen Folgekulturschäden in der Jugendentwicklung, besonders in Direktsaatsystemen.

Bei Mulchsaat sind Schäden geringer ausgeprägt als bei Direktsaat.

Die Schadausprägung wird durch hohe Unkrautbestandesdichten gefördert.

Feuchte Standorte/ Jahre zeigen häufig stärkere Glyphosatschäden als trockene Standorte (siehe Internetforum von Landwirten in Ostdeutschland).

Unter günstigen Bedingungen, hohe Kompensationsfähigkeit vorgeschädigter Bestände bis zur Ernte, aber im ungünstigen Extremfall auch Risiko eines **Totalausfalls**.

<http://www.agrowissen.de/de/forum/index.php?topic=8867.15>



Begleitende Modellversuche zum Landesversuch 115

Schadwirkungen von Herbizid-Vorsaatbehandlungen

Zum besseren Verständnis der möglichen zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen!

(zwingende Voraussetzung für bessere Empfehlungen zur Risikonminimierung!)



Standort Hirrlingen; Winterweizen Mai 2008 Totalausfall bedingt durch zusätzliche ungünstige Faktoren (Gerstengelbverzwegungsvirus nach der Auswinterung im Frühjahr nachgewiesen)





Methodischer Ansatz
der **Modellversuche**

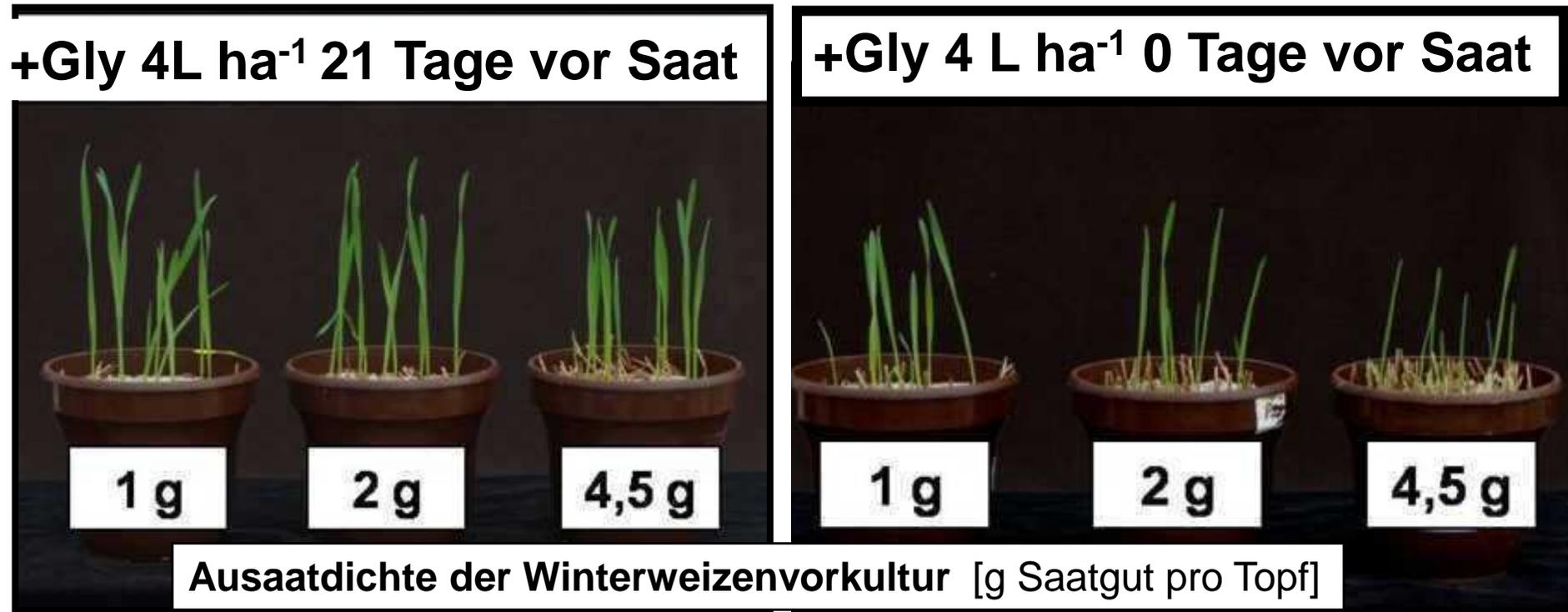
Glyphosat-Vorsaatapplikationen auf eine Winterweizenvorkultur (hier als Ungräser) mit einer Winterweizenfolgekultur (*Triticum aestivum* cv. Isengrain B).

Topfversuche mit dem Boden des Feldversuchsstandortes Wendelsheim (2007) unter kontrollierten Klimakammerbedingungen.

Die Glyphosatapplikation erfolgte mit einem Spritzstand am Institut für Phytomedizin der Universität Hohenheim

*Dosis: 4 L Roundup Ultramax ha⁻¹, Geschwindigkeit: 800 mm sec⁻¹; Düsenhöhe 500 mm
Spritzdruck 6 bar; Gravimetrische Kontrolle des Applikationsvolumens*

Pflanzenschäden im Feld lassen sich im Modellversuch reproduzieren!



Winterweizen (2 Wochen nach Aussaat) nach einer Glyphosat-behandelten Winterweizenvorkultur (Roundup Ultramax 4L ha⁻¹, 21 T.v.S und 0 T.v.S.)

Kurze Wartezeiten nach Glyphosatvorsaatbehandlung begünstigen Wachstumsdepressionen in der Folgekultur

Übersicht: Folgekulturschäden bei kurzen Wartezeiten nach Glyphosat-Vorsaatbehandlungen

Feldversuche

Weizen nach Weizen
Weizen nach Luzerne
Weizen nach Gerste
Weizen nach Hafer

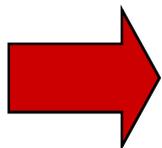
Hirrlingen, Starzach
Wendelsheim
Tauberbischofsheim
Dusslingen

Modellversuche

Weizen nach Weizen
Soja nach Weidelgras
Sonnenblume nach Weidelgras
Sonnenblume nach Weidelgras

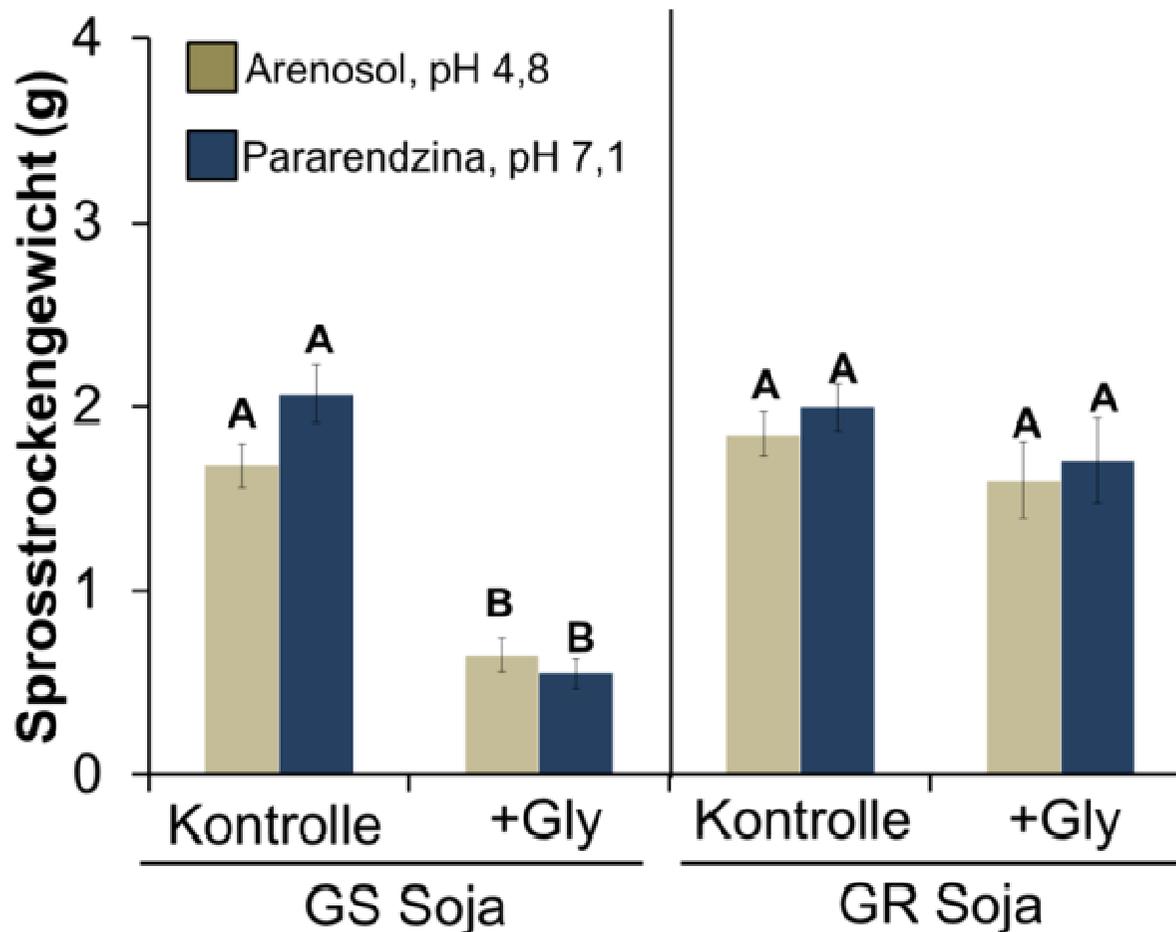
Boden vom Standort Wendelsheim
Saurer Sandboden Westafrika
Saurer Sandboden Westafrika
Kalkhaltiger Loess Unterboden

Vergleichbare Schadsymptome bei unterschiedlichen Kultursystemen auf unterschiedlichen Böden / Standorten



daher Pathogen- / Allelopathieeffekte als primäre Schadursache eher unwahrscheinlich!

Biomasseentwicklung einer Roundup-resistenten (GR) Sojalinie im Vergleich zu einer isogenen, nicht-resistenten Linie (GS) bei kurzen Wartezeiten nach Glyphosatvorsaabehandlung



Keine Wachstumsdepression bei der Roundup-resistenten Linie (GR) – nur bei der nicht-Resistenten Kontrolle (GS)

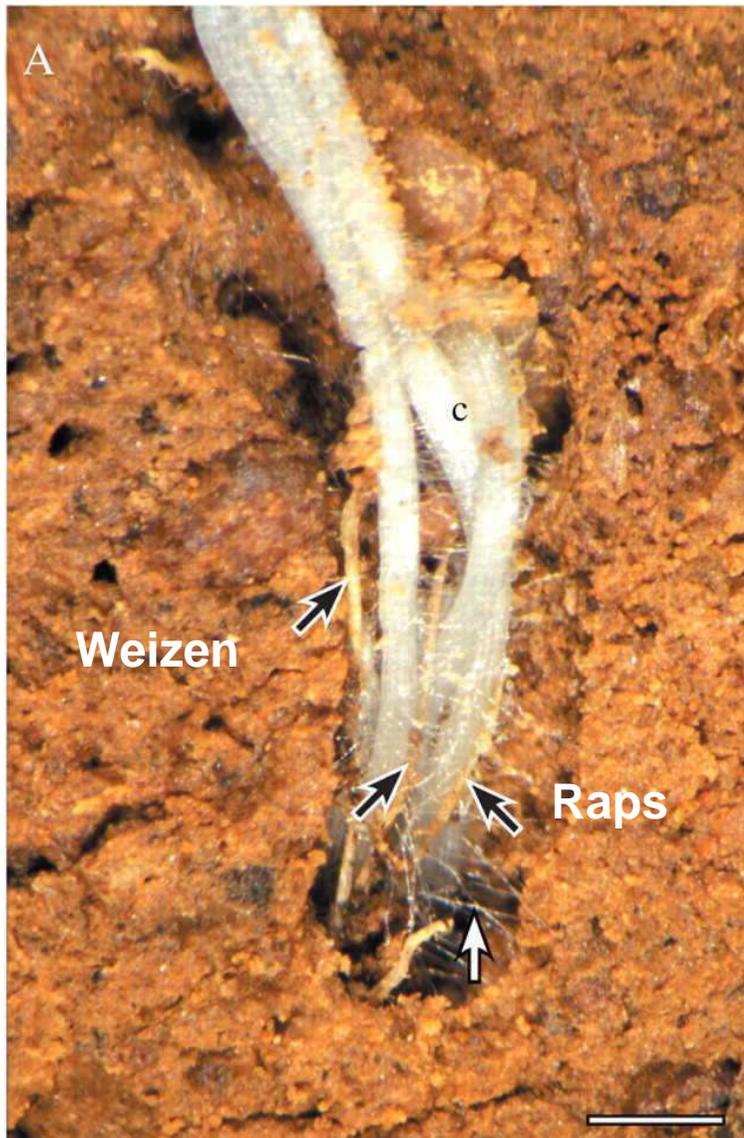


Die in den Modellversuchen reproduzierbaren Schadwirkungen sind primär auf direkte Glyphosattoxizität zurückzuführen.



Erhöhte Empfindlichkeit derart vorgeschädigter Pflanzen gegenüber Pathogenen ?

Kontaktkontamination von Nichtzielpflanzen mit Herbizidrückständen mit Herbizidrückständen

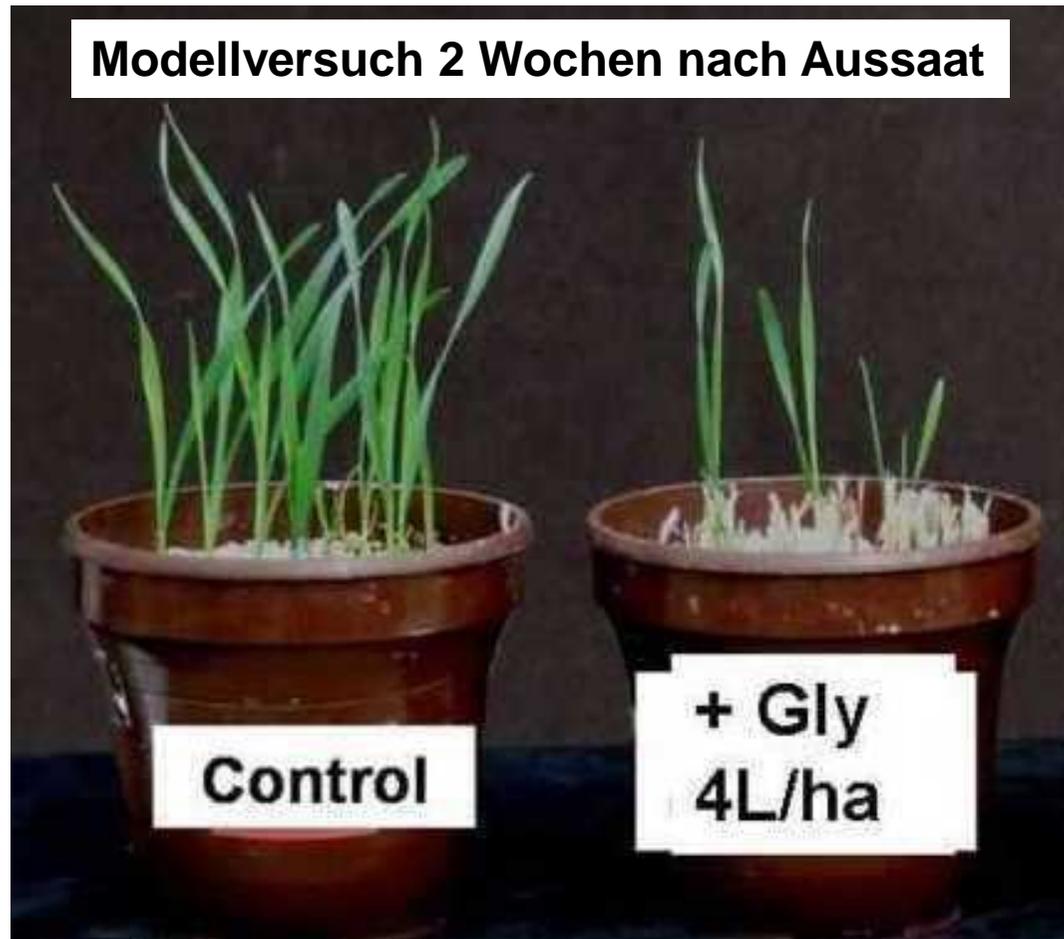


Wurzelkontakt mit absterbenden
Unkrautpflanzen durch Nutzung
gemeinsamer Wurzelkanäle

- bei bis zu 50 % der Pflanzen im
Direktsaatanbau von Weizen in
Australien (Watt et al., 2006,
Ann. Bot. 97, 839-855)

*Rapswurzel im Wurzelkanal
absterbender Weizenwurzeln*

Modellversuch 2 Wochen nach Aussaat



Eine Glyphosatvorsaatapplikation (2 T.v.S) auf eine Winterweizenvorkultur **führt auch nach Entfernung der oberirdischen Pflanzenteile** (2 Tage nach der Spritzung) zu Schäden in der Folgekultur. Keine Schäden ohne Herbizidapplikation (Control).

- **Wurzelnrückstände der Vorkultur als Ursache für die Pflanzenschäden und**
- **die Schäden stehen im Zusammenhang mit der Herbizidanwendung!**

Modellversuch: Phytotoxische Effekte durch Wurzelaufnahme von Glyphosat bei Mais *(Wagner et al. 2003 Weed Biol Managem 3:228)*

Maiskeimlinge (8 Tage nach Aussaat):

26 h Wurzelinkubation in Glyphosat 4 mg/L (ca 25 µM)

Glyphosataufnahme:

0.8-1.0 µg/Keimling induziert Wachstumshemmung

Glyphosat Wurzel-Sproß Verlagerung:

0.1-0.2 µg /Keimling in 5 Tagen

Ab einer Sprossbiomasse von 2-4 g liegt die Glyphosatkonzentration im Spross im Bereich der Nachweisgrenze der Rückstandsanalytik (0.05 µg/g FW)

D.h. trotz Glyphosatschädigung keine Rückstände nachweisbar!

Ein wesentlicher Effekt von aktiven, abgegebenen Glyphosat ist eine starke Hemmung des Wurzelwachstums der Folgekultur, gezeigt im Feld oder im Gefäßversuch.



- Gly

+ Gly

Zusammenfassung - FAZIT

Die Modellersuche sind bei praxisnaher Applikationstechnik (Spritzstand) in der Lage die Schadbeobachtungen im Feld zu reproduzieren.

Der Rolle von Wurzelrückständen behandelter Unkräuter bei der Induktion von Pflanzenschäden nach Glyphosatvorsaar-Applikation mit kurzen Wartezeiten muss in weiteren Feldversuchsprogrammen verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Pflanzenschäden treten bereits bei kurzzeitigem Wurzelkontakt (24 h) mit sehr geringen Glyphosatkonzentrationen (5-10 µM) auf
– (Aufnahme < 1 µg/Pflanze)

Frage der Nachweisbarkeit für die Rückstandsanalytik im Pflanzenmaterial ?

Unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Kulturpflanzenarten

■ Vermeidungsstrategien für Kurzzeiteffekte durch Glyphosat:

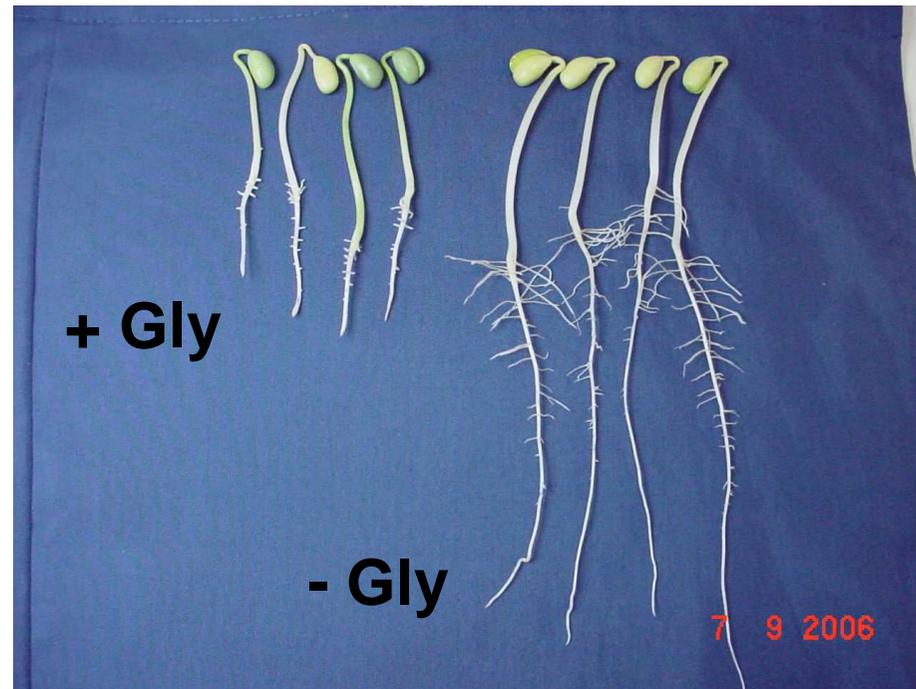
- Ausreichende Wartezeit (ca. 14 Tage)
- Minimale Bodenbearbeitung im Bereich des Saatbettes (Zerstörung von Wurzelkanälen)
- Ausreichende Düngung von Nährstoffen, die laut Bodenuntersuchung im unteren Versorgungsbereich liegen

■ Roundup zur Ernteerleichterung(Desikkation):

große Hilfe bei ungünstiger Witterung!

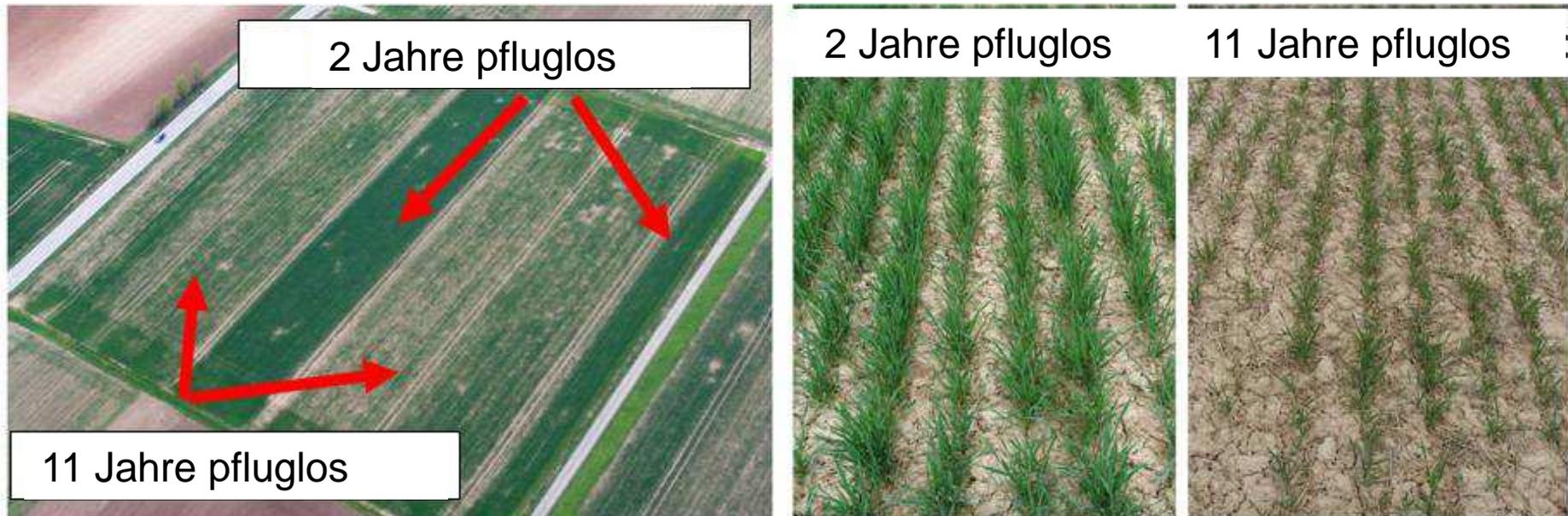
aber trotzdem **Vorsicht!**

Glyphosat im Erntegut / im Samen wird nicht abgebaut und zeigt seine negative Wirkung noch im Folgejahr bei der Keimung!

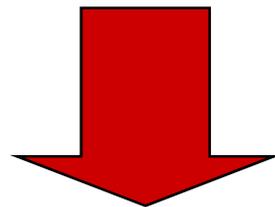


Welche Auswirkungen haben solche Glyphosat-Rückstände auf die Qualität von Futtermitteln oder Frühstücks-Müsli?²⁹

■ Langzeiteffekte von Glyphosat:

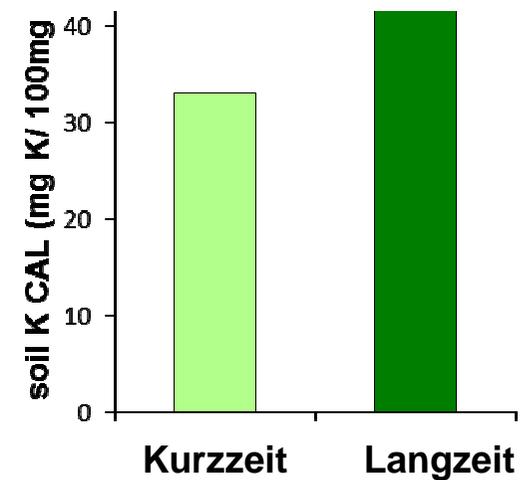
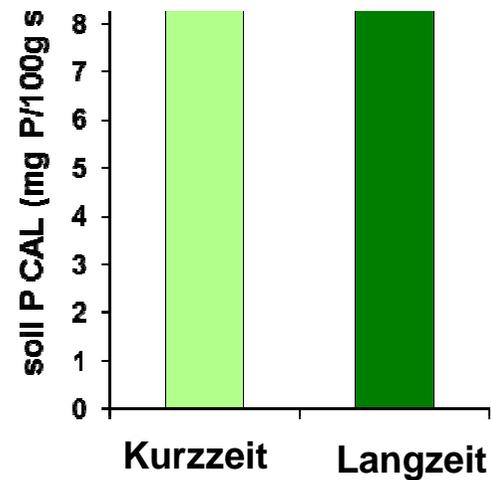
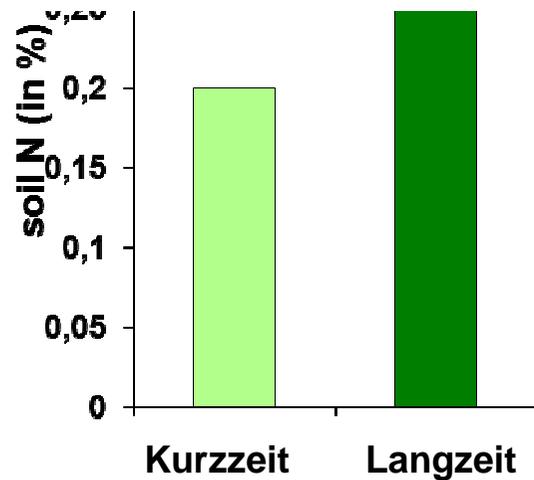


**Vergleichbare Schadbilder bei
langjähriger pflugloser Bewirtschaftung
auch 6 Monate nach der letzten Herbizidapplikation**



Hinweis auf Langzeiteffekte

Beispiel: Winterweizenanbau in Hirrlingen 2008



Schäden an Winterweizen im Falle langjähriger Glyphosatanwendung stehen nach eigenen Bodenuntersuchungen nicht mit eingeschränkter Nährstoffverfügbarkeit in Zusammenhang.



Winterweizen Hirrlingen
2 Jahre Pfluglos



Winterweizen Hirrlingen
Unmittelbare Nachbarfläche
10 Jahre Pfluglos



Winterweizen Hirrlingen
10 Jahre Pfluglos
Stark geschädigte Fläche

Effekte sind im Gefäßversuch reproduzierbar



Die Schadeffekte treten reproduzierbar in verschiedenen Versuchsjahren auf Böden verschiedener Standorte auf

2011 Wendelsheim Remmingsheimer Weg.



2011 Wendelsheim Sülcher Wegle



2012 Hirrlingen Gassäcker

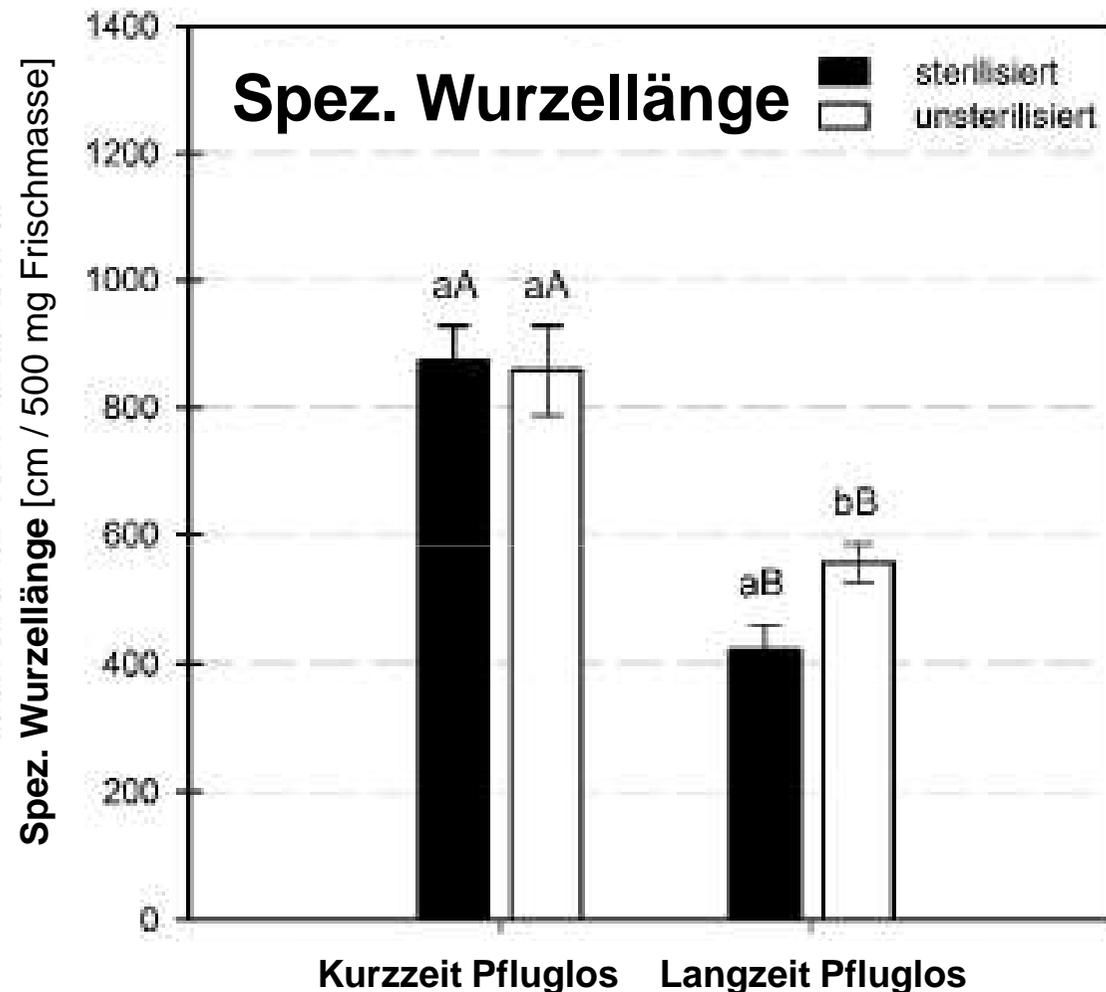


2010 Hirrlingen Friedhof



Mögliche Ursachen für die beobachteten Schadefekte

Einfluss einer Bodensterilisierung auf das Wurzelwachstum

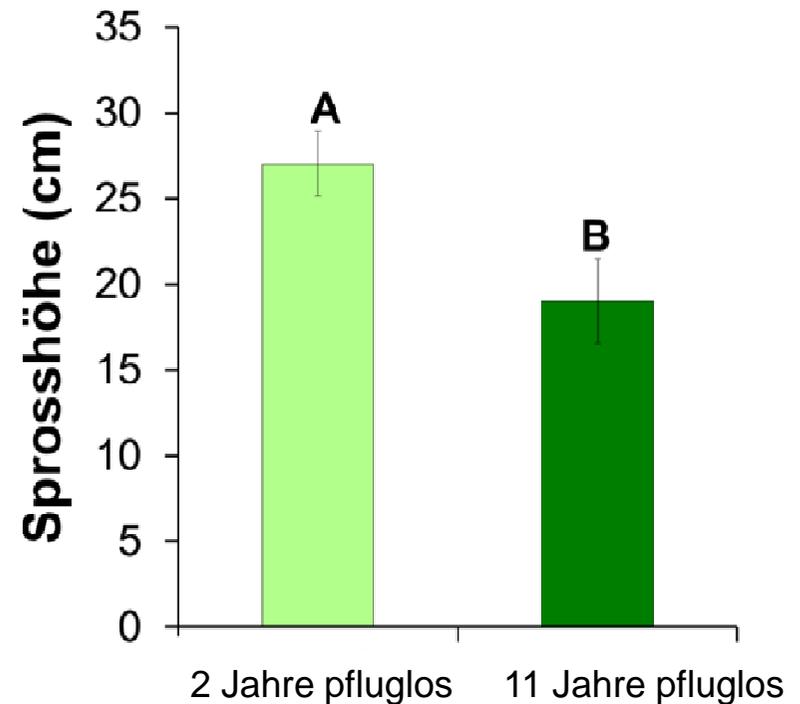


Müller, 2011

Die Wurzelwachstumshemmung bei langzeit-pflugloser Bewirtschaftung wird durch Bodensterilisierung nicht vermindert

⇒ Kein Pathogeneffekt!

Pflanzenwachstum von Sonnenblumen auf Feldböden/Hirrlingen 2008



Bott, 2009

Wachstumsdepressionen von unterschiedlichen Kulturpflanzen (Winterweizen, Raps, Sonnenblume, Zwischenfrüchte) auf Böden mit langjährigem Direktsaat-anbau sprechen gegen ein pflanzenart-spezifisches Nachbauproblem durch Weizen-Monokulturen und enge Fruchtfolgen.

Schadbilder nach langjähriger pflugloser Anbaupraxis

Zusammenhang mit Herbizidrückständen



Winterweizen Hirrlingen
2 Jahre Pfluglos

Winterweizen Hirrlingen
Unmittelbare Nachbarfläche
10 Jahre Pfluglos

Winterweizen Hirrlingen
10 Jahre Pfluglos
Stark geschädigte Fläche

Herbizidrückstände im Boden [mg kg Boden] 0-15 cm, 6 Monate nach Applikation

Glyphosat	< 0,05	2,63	2,86
AMPA	0,16	1,62	1,19
Pendimethalin	0,09	0,17	0,75

**Zusammenhang mit langjähriger Herbizidanwendung ?
Erhöhtes Akkumulationspotenzial ? Verminderter Abbau ?**

Herbizidrückstände im Boden von Standortpaaren mit unterschiedlich langer pflugloser Bewirtschaftung

Standort /Jahr Hirrlingen	<u>Glyphosat</u> [mg kg ⁻¹]		<u>AMPA</u> [mg kg ⁻¹]		<u>Pendimethalin</u> [mg kg ⁻¹]	
	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit
Steinbruch/ 09	0,130	nn	0,506	0,298	0,173	0,090
Eichenberg /09	nn	nn	0,402	0,152	0,064	0,164
Friedhof /09	0,094	nn	0,363	0,055	0,120	0,055
Friedhof /10	2,630	nn	1,620	0,160		

nn = nicht nachweisbar

In der Regel höhere Rückstandswerte auf Böden mit langjährig pflugloser Bewirtschaftung (hohe Variabilität)

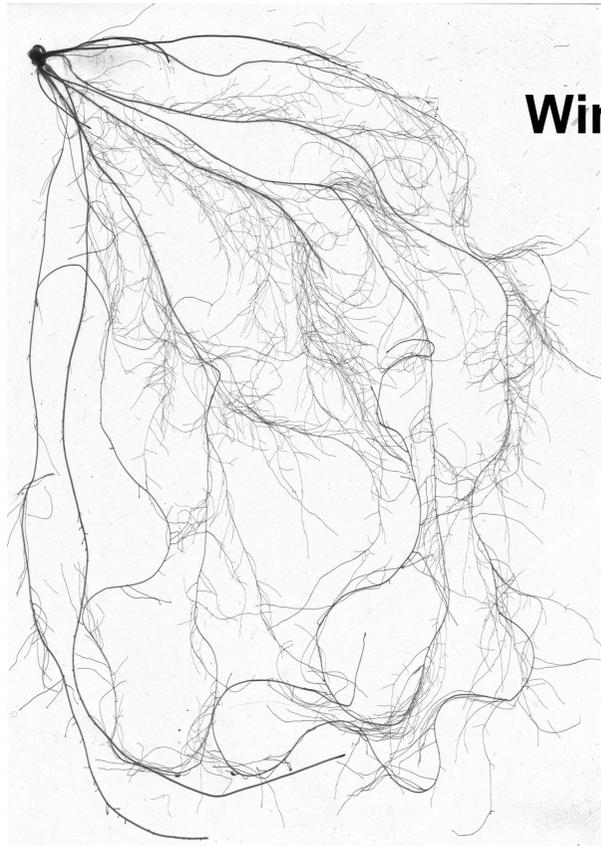
Verzögerter Abbau verschiedener Herbizide durch langjährig pfluglose Bewirtschaftung ?

**Auf den Flächen mit langjährigem Direktsaatanbau
sind Glyphosat und AMPA Rückstände auch in
der Bodenlösung nachweisbar**

(0,023 % der Gesamtbodenbelastung)
(entspricht $3,1 \mu\text{g L}^{-1}$ Bodenlösung)

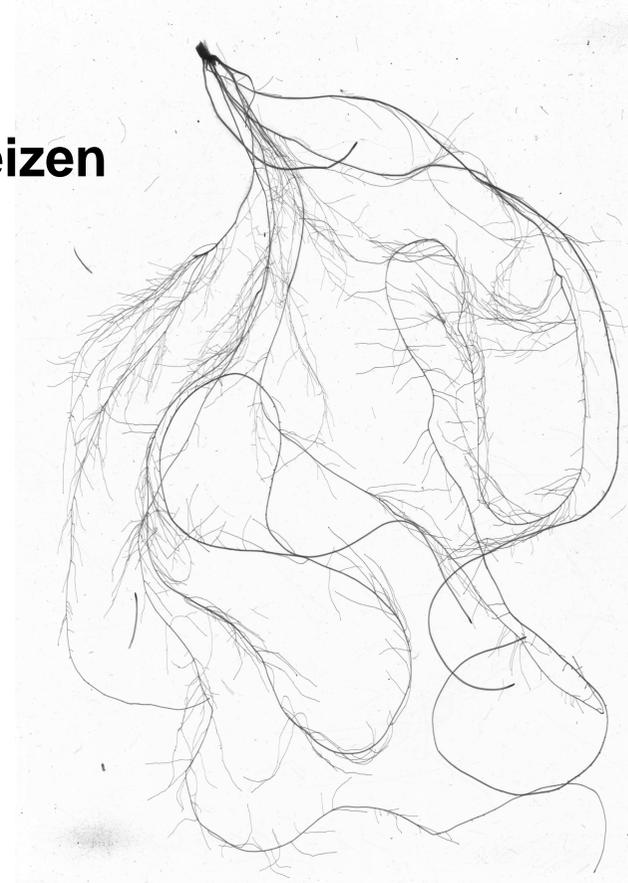
**Bioverfügbarkeit der löslichen
Rückstandsfraktion ?**

Hemmung der Feinwuzelbildung auch im Nährlösungsversuch durch Glyphosat/AMPA in Spurenkonzentrationen wie sie in Bodenlösungen von Langzeit-Pfluglos bewirtschafteten Flächen nachgewiesen wurden
(Jocher, 2011, Schmid, 2012)



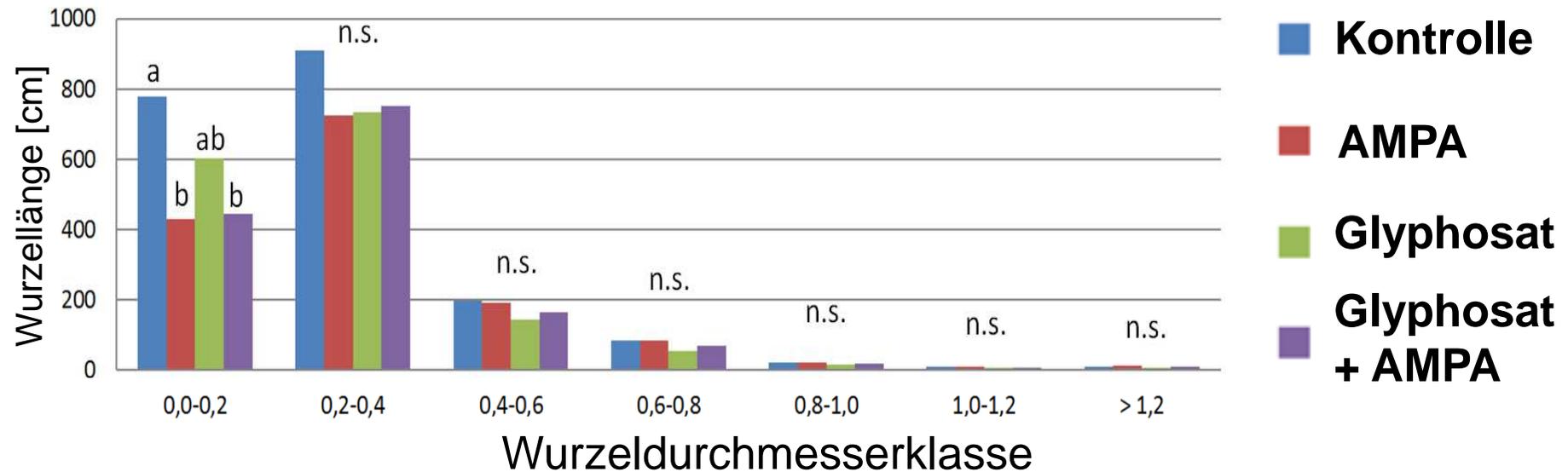
Winterweizen

Unbehandelt
Feinwurzellänge (0-0,2 mm)
740 ± 12 cm



Glyphosat + AMPA [3 Wochen 5 + 2.5 µg/L]
Feinwurzellänge (0-0,2 mm)
550 ± 10 cm

Verteilung der Wurzel Durchmesser bei Winterweizen in Nährlösungskultur nach 6-wöchiger Wurzelbehandlung mit Spurenkonzentrationen von Glyphosat [5 µg/l] und AMPA [2.5 µg/L]



Insbesondere AMPA vermindert die Feinwurzelbildung im Durchmesserbereich 0 - 0,2 mm
(Feinwurzeln mit hoher Bedeutung für die Nährstoffaneignung)

■ Vermeidungsstrategien für Langzeiteffekte durch Glyphosat:

Verbesserung des Wurzelwachstums

Förderung der Mycorrhizierung

Stimulierung der mikrobiellen Aktivität

Adsorption toxischer Substanzen

Pflanzenstärkung und Unterstützung der Pathogenabwehr

Wurzelentwicklung von Winterweizen auf Böden mit langfristiger und kurzzeitiger Direktsaatbewirtschaftung

(Standort Hirrlingen Friedhof 2010)

Behandlung	Wurzellänge [cm g FM ⁻¹]	Feinwurzellänge [cm g FM ⁻¹] (0.0 -0.2 mm)	Feinwurzellänge [cm g FM ⁻¹] [0.2 – 0.4 mm]
Kurzzeit <u>pfluglos</u>	830.5 a	485.3 a	215.9 a
Langzeit <u>pfluglos</u>	334.8 b	64.3 b	92.3 b
Kurzzeit <u>pfluglos</u> Sterilisierter Boden	792.9 a	420.6 a	199.0 a
Langzeit <u>pfluglos</u> Sterilisierter Boden	295.6 b	45.4 b	63.2 b

Beeinträchtigung der Feinwurzelentwicklung auf Langzeit-pfluglos bewirtschaftetem Boden.

Keine Verbesserung durch Bodensterilisierung ⇒ Kein Pathogeneffekt

Zugabe von Biokohle (Biochar, Terra preta, 5% v/v) kann Schadsymptome auf dem Boden der langzeit-pfluglos bewirtschafteten Fläche verhindern



Kurzzeit Pfluglos



Langzeit pfluglos



**Langzeit pfluglos
+ 5 % Biochar**

Zugabe von Biokohle (Biochar, Terra preta, 5% v/v) kann Schadsymptome auf dem Boden der langzeit-pfluglos bewirtschafteten Fläche verhindern



Bindung von Schadstoffen (Herbizidrückstände?)

(nachgewiesen z.B. für Fluridon, Norflurazon; Sun et al. 2012)

Schnelle Wirkung bereits während des Aufgangs.

Möglicher Ansatz zur Sanierung betroffener Flächen ?



Kurzzeit Pfluglos

Langzeit pfluglos

**Langzeit pfluglos
+ 5 % Biochar**

■ Zusammenfassung/Ausblick:

- Glyphosat-Anwendungen vor der Aussaat von W-Weizen im Direktsaatverfahren können zu einem verminderten Pflanzenbestand führen; bei ungünstigen Bedingungen sogar bis zum Totalausfall.
- Häufig jedoch Kompensation bis zur Ernte!
- Beobachtete Effekte im Feld lassen sich in Modellversuchen unter kontrollierten Bedingungen reproduzieren.
- Durch Glyphosat häufig gehemmtes Wurzelwachstum, dadurch erhöhter Trockenstress und gehemmte Nährstoffaneignung.

- Vermeidungsstrategien für diese Kurzzeiteffekte:
 - a) längere Wartezeiten;
 - b) minimale Bodenbearbeitung im Bereich des Saatbettes und c) verbesserte Nährstoffversorgung.
- Langzeiteffekte von Gyphosat-Anwendungen nach ca. 10-12 Jahren im Feld und im Gefäß nachweisbar; bereits geringste, kaum nachweisbare Konzentrationen von mobilisiertem Glyphosat und AMPA schädigen die Wurzeln und damit die Pflanzen.
- Vermeidungsstrategien jener Langzeiteffekte vor allem durch bessere Nährstoffversorgung und Zugabe von Biochar (Bio-Kohle)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!