

Effekte von Glyphosat auf die Umwelt und den Menschen

Prof. Dr. Maria R. Finckh
Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz

Glyphosat

- Wenig akut giftig für Säugetiere
- Herbizid, wird zu AMPA abgebaut
- Antibiotikum
- Pseudohormon
- Wird gemeinsam mit sogenannten **Formulierungshilfen** angewendet

Glyphosat Einsatzmengen

- Seit 1974: 8,56 Mio t, davon 72% zwischen 2005 und 2014
- Im Jahr 2014: geschätzt 826.000 t weltweit
- 2014: durchschnittlich 1kg ai/ha US Ackerland
(weltweit: 0,53kg ai/ha)

Benbrook, 2016, Environmental
Sciences Europe 28:3

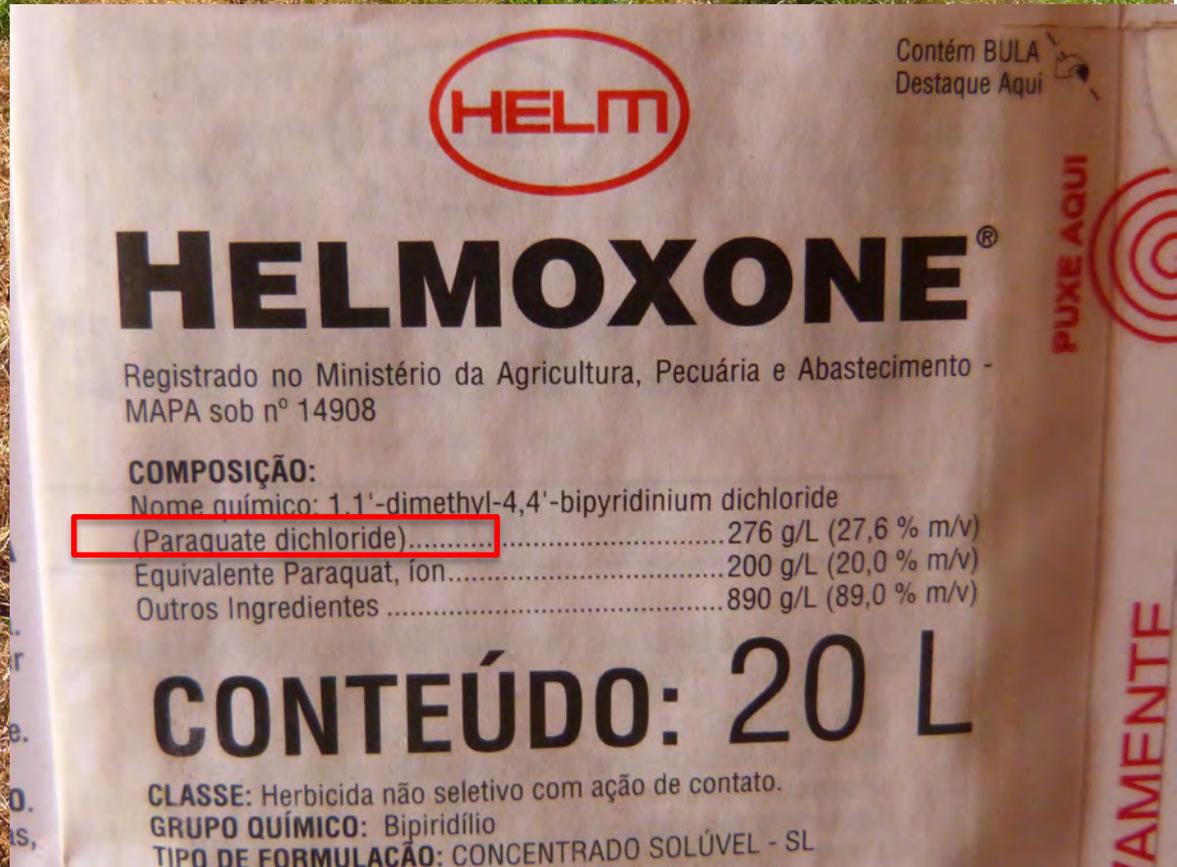
Herbizide Wirkung

- Ursprünglich 0.7 kg/ha, heute ca 1.1kg/ha (=0,07 – 0,11g pro m²) genügen, um alle Pflanzen abzutöten: Kein Lebensraum mehr
- Abbauprodukt AMPA (aminomethylphosphorsäure) giftig

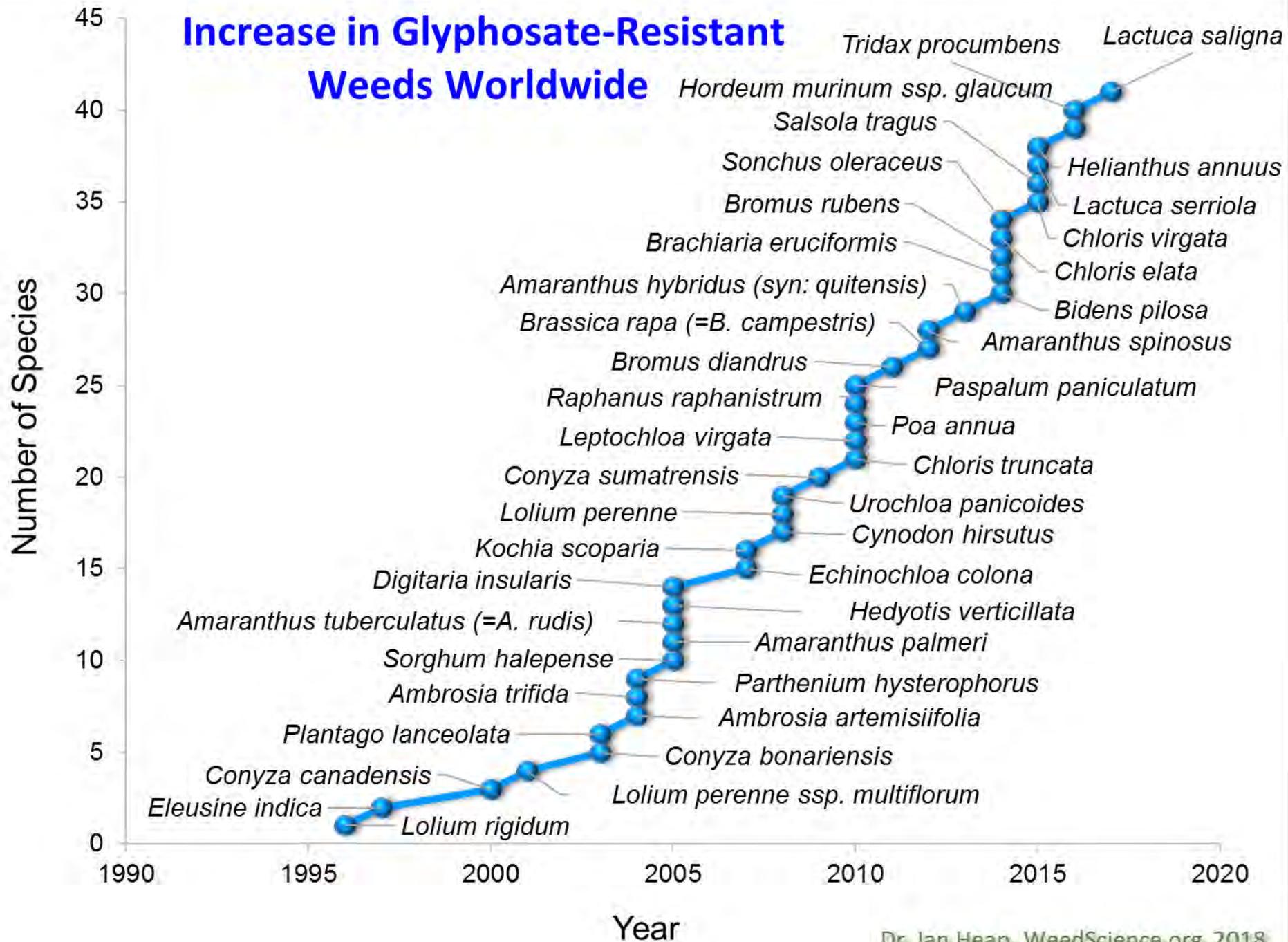


Wo viel Gly angewendet wird gibt es auch viel Resistenzen. Dann greift man auf anderes zurück.

1. Wirkungsweise von Gly in Pflanzen

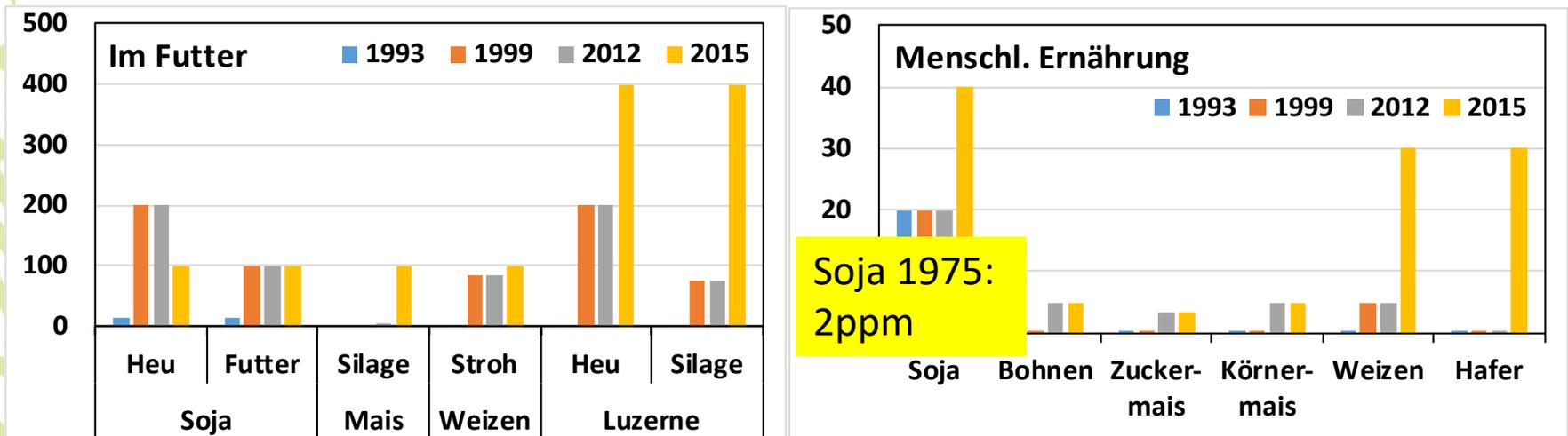


Increase in Glyphosate-Resistant Weeds Worldwide



Glyphosat: zugelassene Rückstände

- Zugelassene Höchstmengen (ppm) in den USA:



- Grenzwerte pro kg Körpergewicht und Tag:
USA: 1,75mg, EU: 0,5mg (vor 2014: 0,3mg)
(Forderung EU: 0,1mg)

Benbrook, 2016, Environmental Sciences Europe 28:3

Glyphosat und AMPA finden sich überall

- Pflanzen
- Tiere
- Aerosol Grund- und Oberflächenwasser

Van Bruggen, A. H. C., et al. (2018).
Science of The Total Environment
616-617: 255-268.

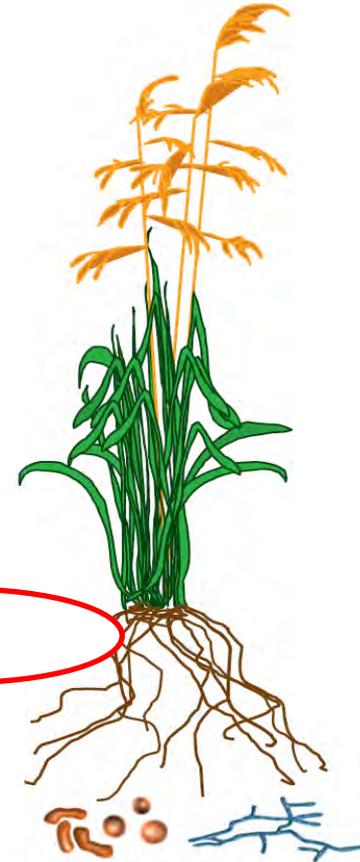
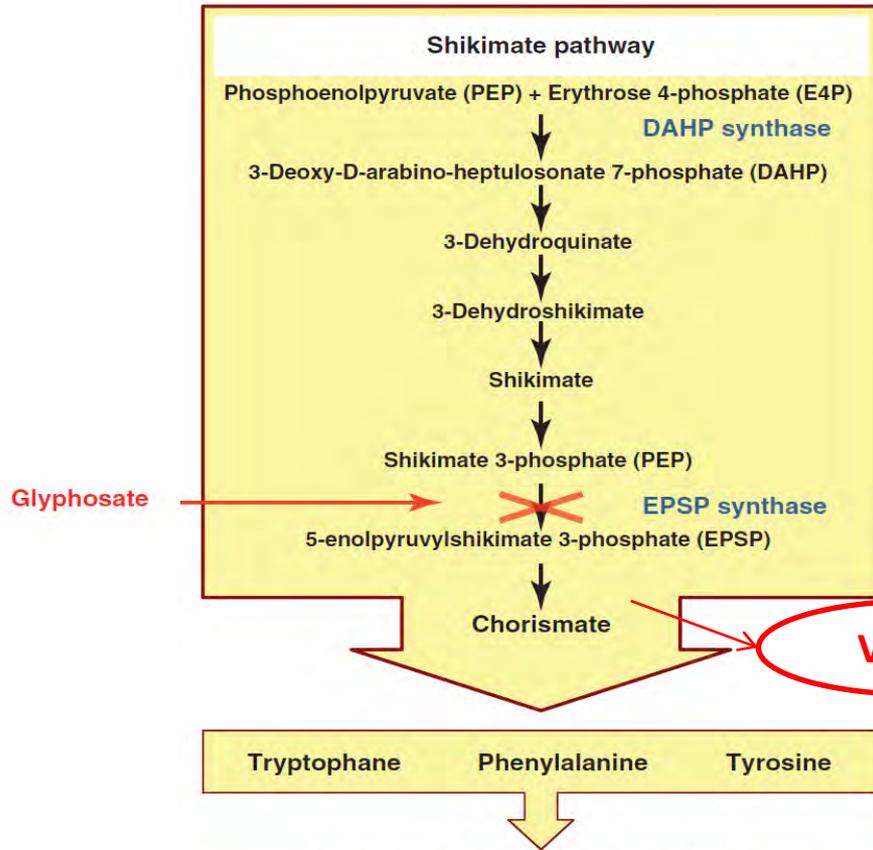
- Böden

Silva, V., et al. (2018). Science of The
Total Environment **621**: 1352-1359.

- 
1. Wirkungsweise von Gly in Pflanzen
 2. Konsequenzen der antibiotischen Wirkung
 3. Konsequenzen der Pseudohormonaktivität
 4. Auswirkungen von Gly auf Tier und Mensch
 5. Lösungsansätze ohne Glyphosat

Glyphosat - Wirkungsmechanismus

Helander et al. 2012, Trends in Plant Science 17, 569-574



Bacteria
Fungi
Protozoa
Algae

Phytoalexin, lignin, indoleacetic acid (IAA), etc.

Related plant and microbe responses: survival, growth, defense and secondary metabolite composition

TRENDS in Plant Science

Blockade der Synthese aller Proteine und Metaboliten, die aromatische Aminosäuren enthalten. Z.B.: Tannin, Lignin, Flavonoids etc., Hormone

Glyphosatbasierte Herbizide

Tomaten 5 Tage (120h) nach Anwendung von:



Wasser

Gly

Glyphosat Herbizide

Formulierungshilfe

➤ **Die Formulierungshilfen sind selbst Herbizide!**

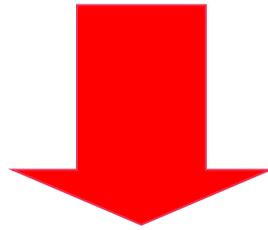
Defarge et al., 2018, Toxicology Reports 5, 156-163.

Glyphosat in Pflanzen und Boden

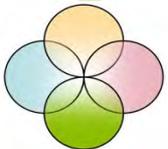
- Systemisch in Pflanzen transloziert aber nicht abgebaut
- Bodenbakterien bauen es ab zu
 1. AMPA (aminomethylphosphorsäure, giftig und krebs erregend)
 2. Sarcosine (N-methylglycine, harmlos)
- Wird über Wurzeln bis in tiefe Bodenzonen ausgeschieden; dort sind Bakterien kaum mehr aktiv
- Je niedriger der pH desto stärker die Bindung an Bodenpartikel
- P-Düngung reduziert Bindung an Bodenpartikel
- 2012: 700 000 t Glyphosat weltweit angewendet

Nicht-herbizide Effekte von Glyphosat

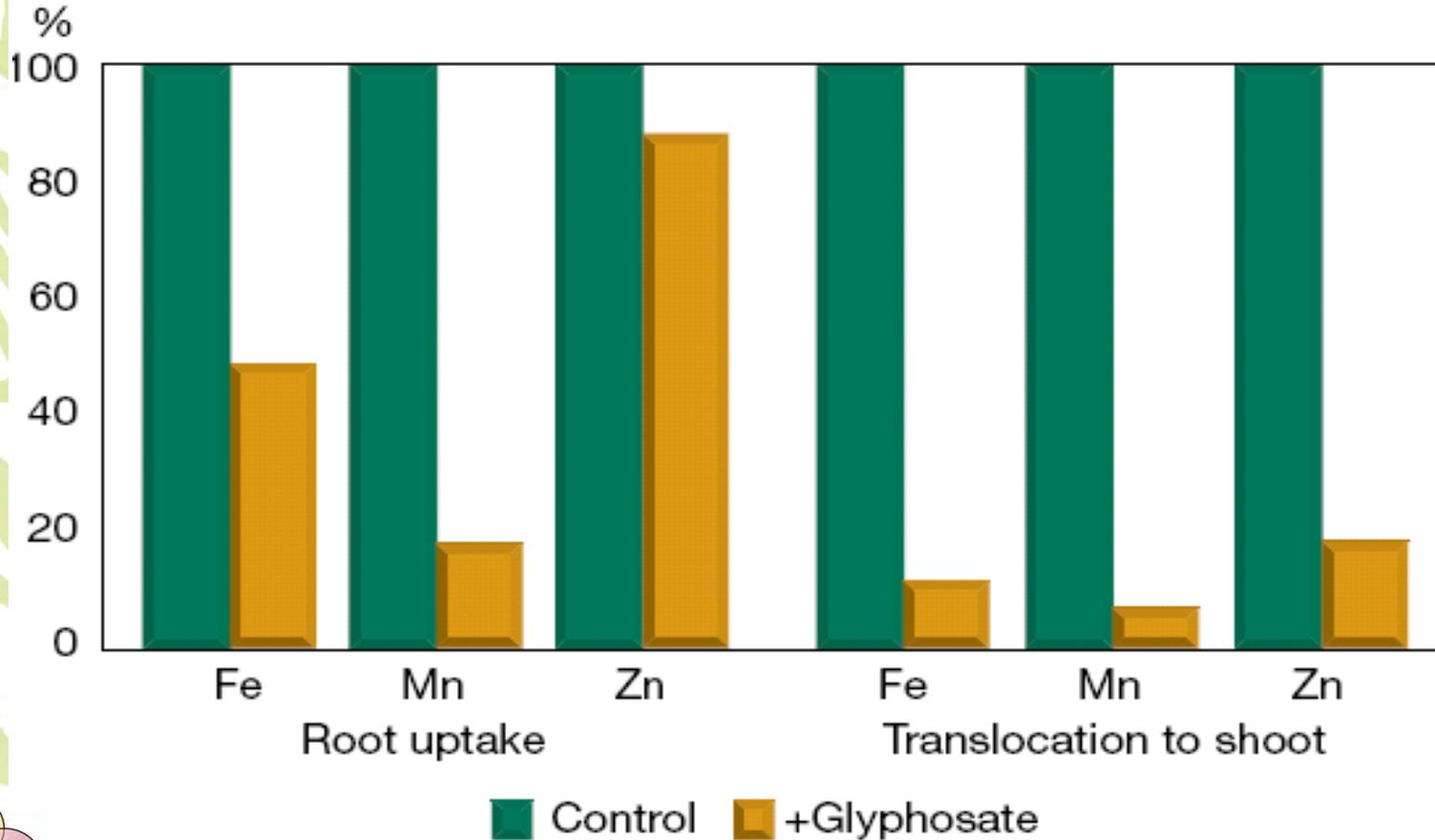
Starker Chelator (Komplexbildner), Kationen werden cheliert, z.B. Mg, Ca, K, Zn, Co, Mn



Spurenelemente für Pflanzen und Tiere nicht mehr verfügbar bzw. Behinderung der Translokation in den Spross



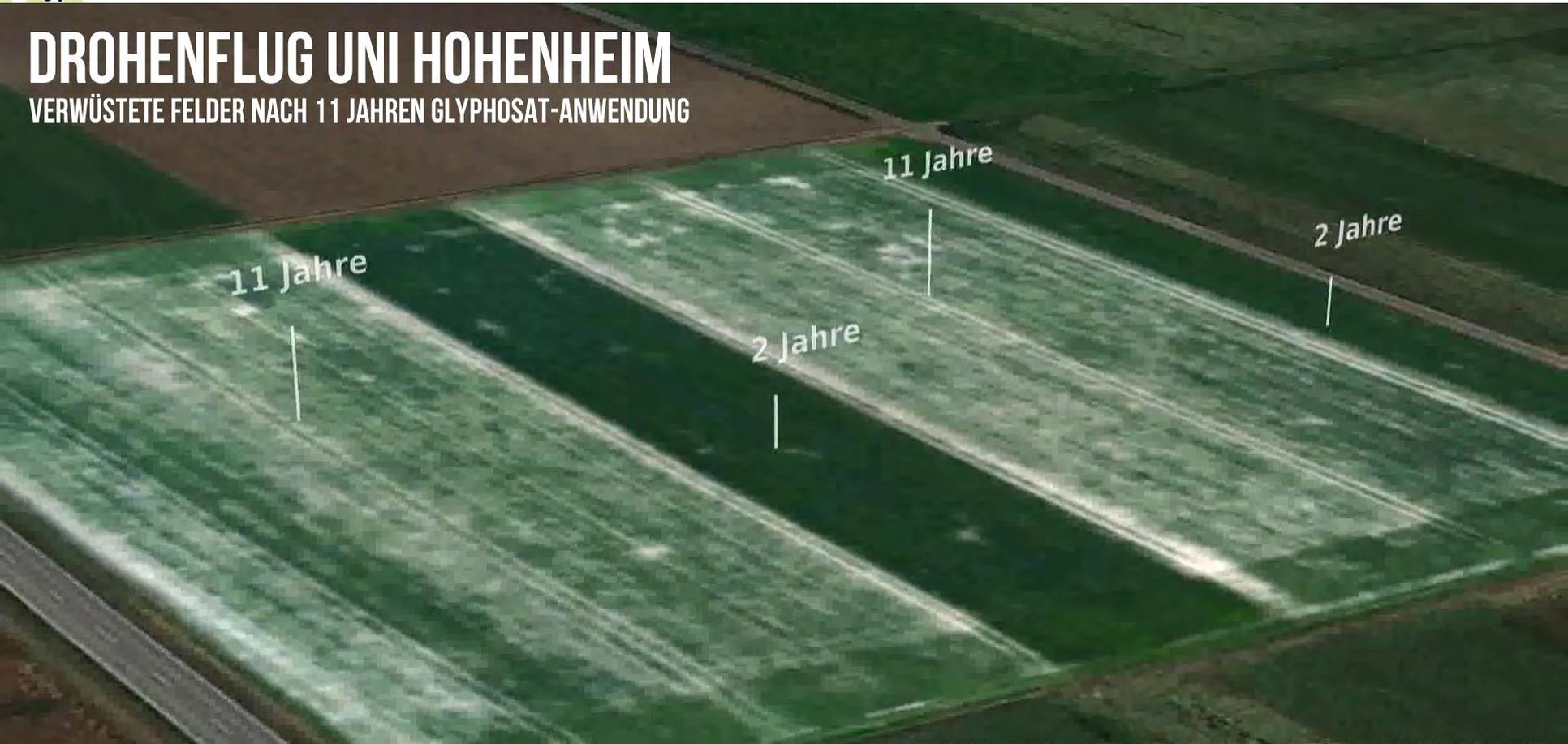
Gly und Micronährstoffaufnahme in Pflanzen: Wurzel und Spross



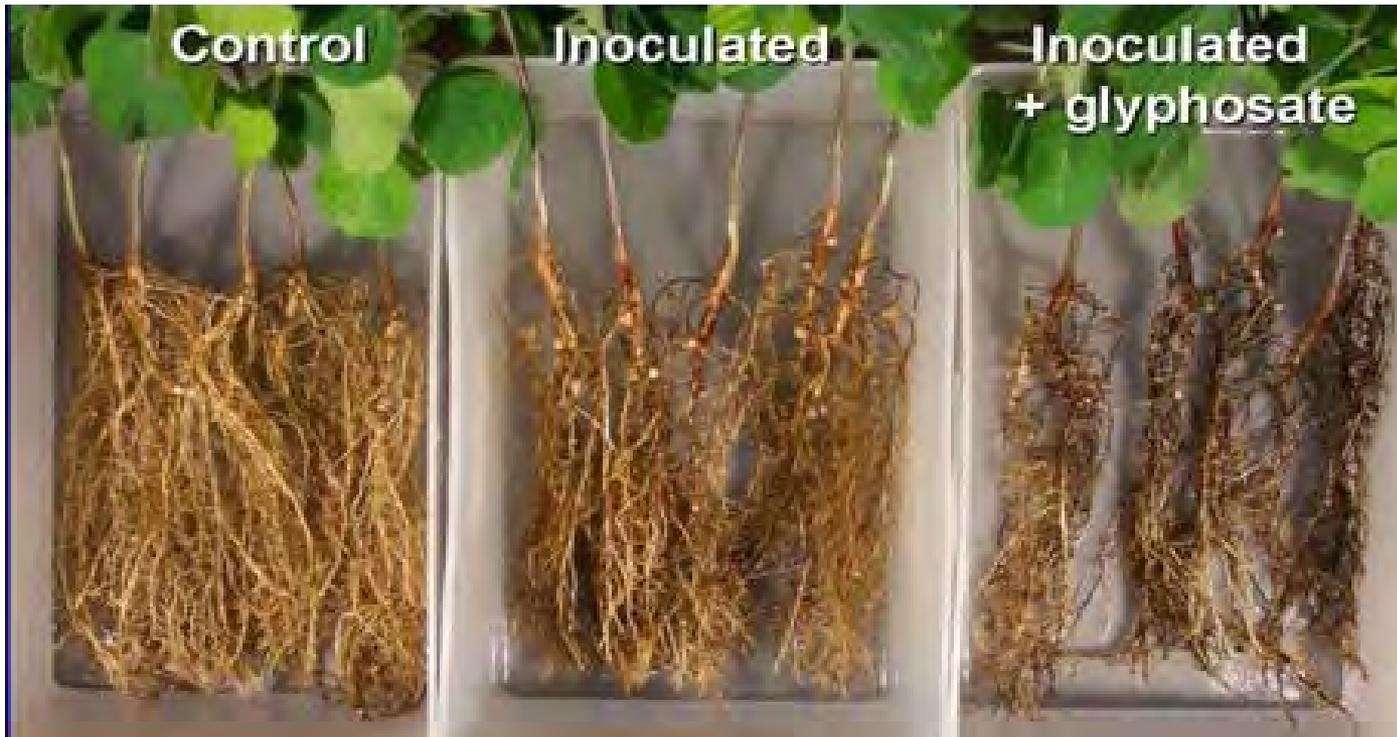
Herbizide Wirkung

- **Nebenwirkung:** Nährstoffe werden weniger verfügbar für Pflanzen: es braucht deutlich mehr Dünger zum Ausgleich.

DROHENFLUG UNI HOHENHEIM
VERWÜSTETE FELDER NACH 11 JAHREN GLYPHOSAT-ANWENDUNG



Corynespora Wurzelfäule in Soya



Huber, 2011

Die Konsequenzen

- ➔ **Erhöhte Anfälligkeit gegenüber Krankheiten (vor allem bodenbürtig)**
- ➔ **Reduzierte Nährstoffverfügbarkeit**
- ➔ **Erhöhter Fungizid und Düngerverbrauch**

Konsequenzen für Tiere?

Hat Spurenelementmangel in Kühen mit Glyphosatrückständen im Futter zu tun? (M. Krüger)

blau: normale Werte

n	Glyph. ng/ml	Mn μmol/l	Co μg/l	Se μg/l	Cu μg/l
15	111 (0)	0,033 (0,36-1,8)	0,36 (21,2-107,2)	68,7 (70 – 100)	112 (82-155) (102 – 203)

Glyphosat: ein Antibiotikum

US patent 7,771, 736 B2 (2010)

As antimicrobials, these compounds may be expected to induce stasis rather than cell lysis or death, allowing the infection to be cleared by the host's immune system. Such an outcome is desirable as it will ame-

Glyphosat und Mikroorganismen

- Kommt auf EPSPS Pathway an: Typ1 = Gly sensitiv
Typ2 = Erhöhte Gly-Resistenz
- Hohe Gly Toleranz bei:
 - *Enterobacterium* spp.
 - *Clostridium. perfringens*
 - *C. acetobutylicum*
 - *Fusobacterium nucleatum*
 - *Pseudomonas vesicularis*
 - *Escherichia coli*
 - *Salmonella Typhimurium*
 - *Bacillus subtilis*
 - *C. tetani*
 - *Ochrobacter/Brucella*
 - *Viele Fusarien*

z.B. Shehata, et al, 2013. Curr. Microbiol. 66, 350-358.

➔ Dies beeinflusst die Gesundheit von Tieren und Pflanzen!

z.B: Ackermann, et al, 2015. Curr. Microbiol. 70, 374–382.



Glyphosat und Antibiotikaresistenz

- **Kreuzresistenzen** Glyphosat und **Antibiotika** nachgewiesen für:
 - Penizillin (**β Lactam Antibiotikum**)
 - Ciprofloxacin (**Fluoroquinolon**)
 - Kanamycin (**Aminoglycosid**)

Shin et al 2016. Crop Prot. 90, 106-116

Kurenbach et al., 2015. mBio 6(2):e00009-15
doi:10.1128/mBio.00009-15

- Salmonellen waren nach Gly-Exposition gegenüber Cip und Kan resistenter

Kurenbach et al., 2015. mBio 6(2):e00009-15
doi:10.1128/mBio.00009-15

NDR 6.2.2018 zu multiresistenten Keimen in Gewässern (www.ndr.de):

....**Gewässer in Niedersachsen** ... unter anderem in Bächen, Flüssen und Badeseen. **Dort fanden sich überall gefährliche, multiresistente Erreger**.... ...Überall **wiesen sie auch Erreger nach, bei denen wichtige Reserve-Antibiotika (die sogenannten Carbapeneme (= β Lactam Antibiotikum, Anm. M.F.) nicht mehr wirken**. Einige Bakterien waren gegen fast alle zur Verfügung stehenden Mittel resistent.

Antibiotikaresistenzen in Bodenmikroflora I

Zitrusplantagen in Florida:

Huanglongbin= Citrus Greening Disease

Bakterielle Krankheit bedroht den Zitrusanbau

Fragestellung:

- Wäre Penizillin eine Option?



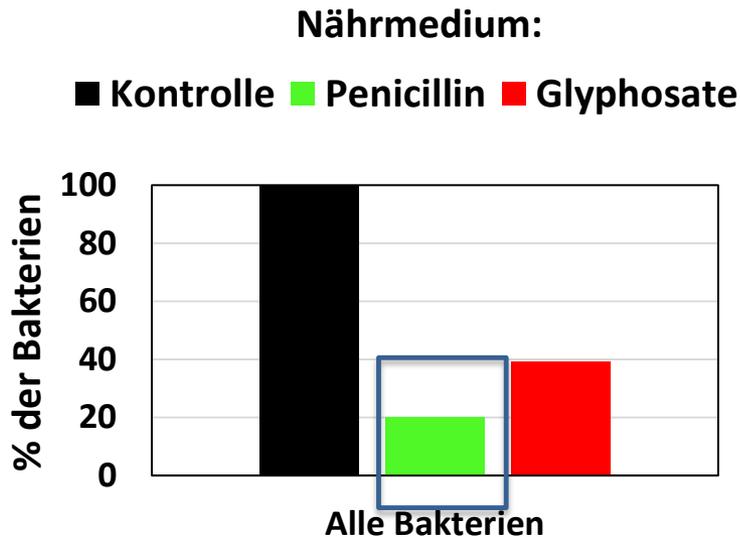
➔ **Geht nur, wenn keine Resistenz vorab vorhanden**



Antibiotikaresistenzen in Bodenmikroflora I

Zitrusplantagen in Florida:

Aus dem Boden isolierte Bakterien wurden auf verschiedenen Nährböden im Labor getestet:



In Zitrusplantagen wird

→ regelmäßig Glyphosat eingesetzt aber

→ KEIN Penizillin

→ Keine tierischen Dünger

Woher kommt die P-Resistenz?

Shin et al 2016. Crop Prot. 90, 106-116

- Bei 40% Gly Resistenz und 20% P Resistenz ist die Erwartung, dass $40\% * 20\%$ beide Resistenzen tragen = 8%
- Gefunden wurden aber 13 %, d.h. 50% mehr als erwartet
- Dies zeigt, dass eine Verbindung zwischen Glyphosatresistenz und Penizillineresistenz (=Kreuzresistenz) vorliegt.
- Somit kann es sein, dass Glyphosat auch für Resistenz gegenüber Penizillin selektiert

Antibiotikaresistenzen in Bodenmikroflora II

- US Studie: Vergleich NPK versus **Mist von Tieren, die nachweislich KEINE Antibiotika** bekommen hatten

Manure Treatment Enriches Taxa That Commonly Carry Resistance to β -Lactam Antibiotics.

Udikovic-Kolic, N., et al. 2014. Proc. Nat. Acad. Sci. 111, 15202-15207.

Offene Fragen

- ➔ Woher kommen diese Resistenzen im Mist?
- ➔ Kann es sein, dass Glyphosatresiduen im Futter und Stroh die Quellen sind?

Antibiotikum Glyphosat und Bienensterben

- Frisch geschlüpfte Bienen sind steril und werden durch ihre Kolleginnen gefüttert und mit lebenswichtigen Darmbakterien inokuliert, die das Immunsystem weitgehend steuern.
- Wie wirkt sich Glyphosat auf die Darmflora von Bienen aus?

Motta, E. V. S., et al. 2018. Proc. Nat. Acad. Sci. **115**: 10305-10310

Experiment 1: Glyphosat in sterilen Bienen

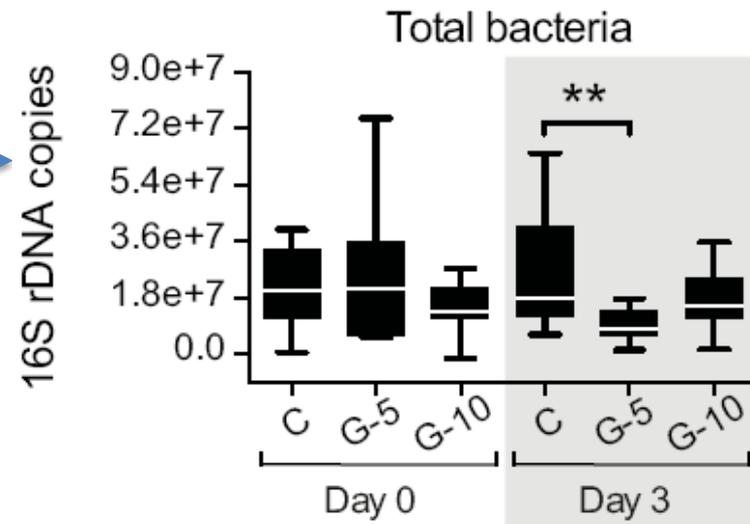


Zurück in Bienenstock,
wo sie von Kolleginnen
gefüttert werden.



Neugeborene Bienen 5
Tage lang füttern:

- Glucose steril
- Glucose steril
plus 5 und 10mg/l Gly



Untersuchung der Darmflora

→ **Bakterienwachstum durch antibiotische
Wirkung von Gly deutlich eingeschränkt**

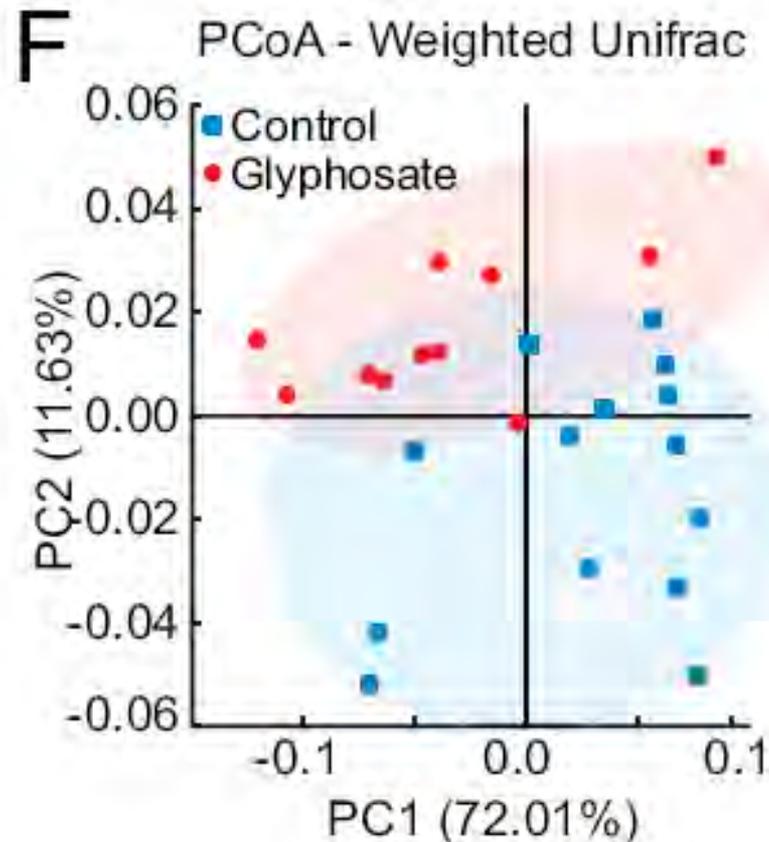
Experiment 2: Glyphosat in nicht sterilen Bienen



Darmflora

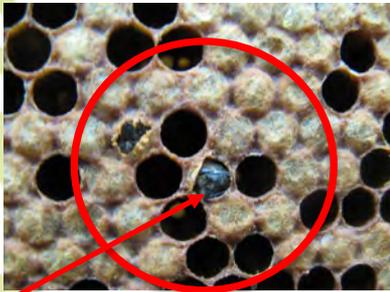
Neugeborene Bienen 5
Tage lang füttern mit:

- Darminhalt von Arbeiterinnen
- +/- Gly in 10% der vorherigen Konzentration



→ **Zusammensetzung der Darmflora
deutlich verändert**

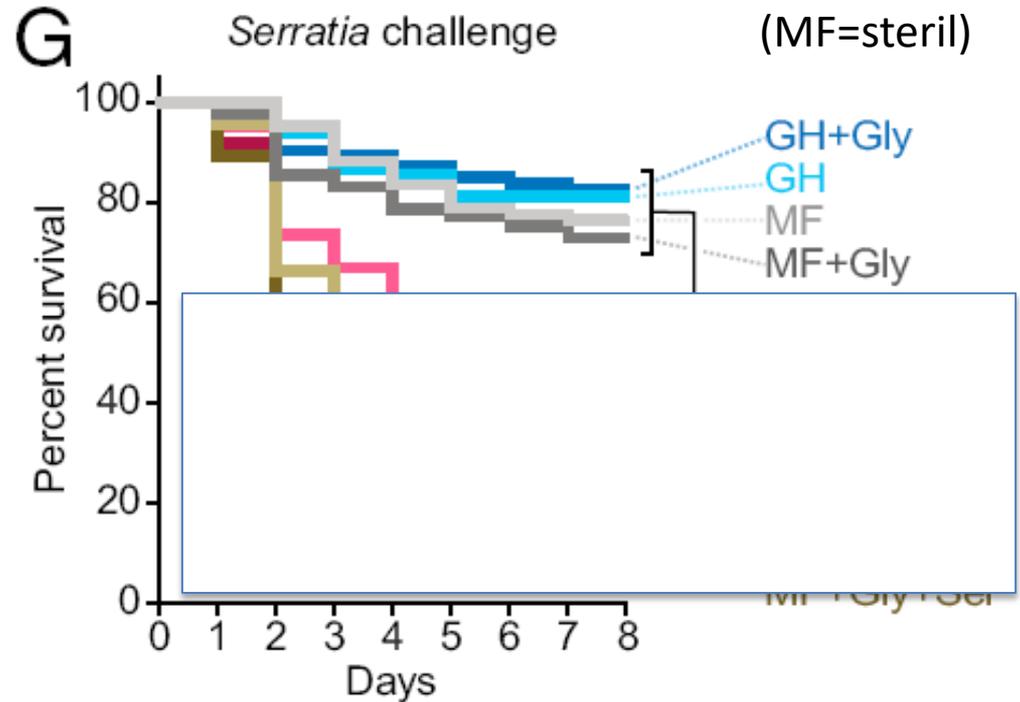
Experiment 3: Anfälligkeit der Bienen gegenüber *Serratia marcescens*



Neugeborene Bienen 5
Tage lang füttern:

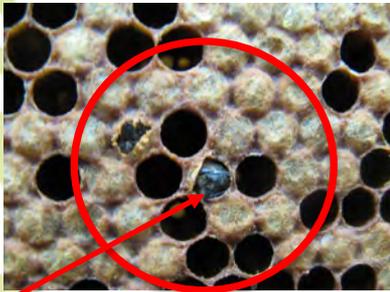
- +/- Darminhalt
von Arbeiterinnen
- +/- Gly in 10% der
vorherigen
Konzentration

Anfälligkeit gegenüber *Serratia*



→ **Überlebensraten aller Behandlungen
OHNE *Serratia* gleich**

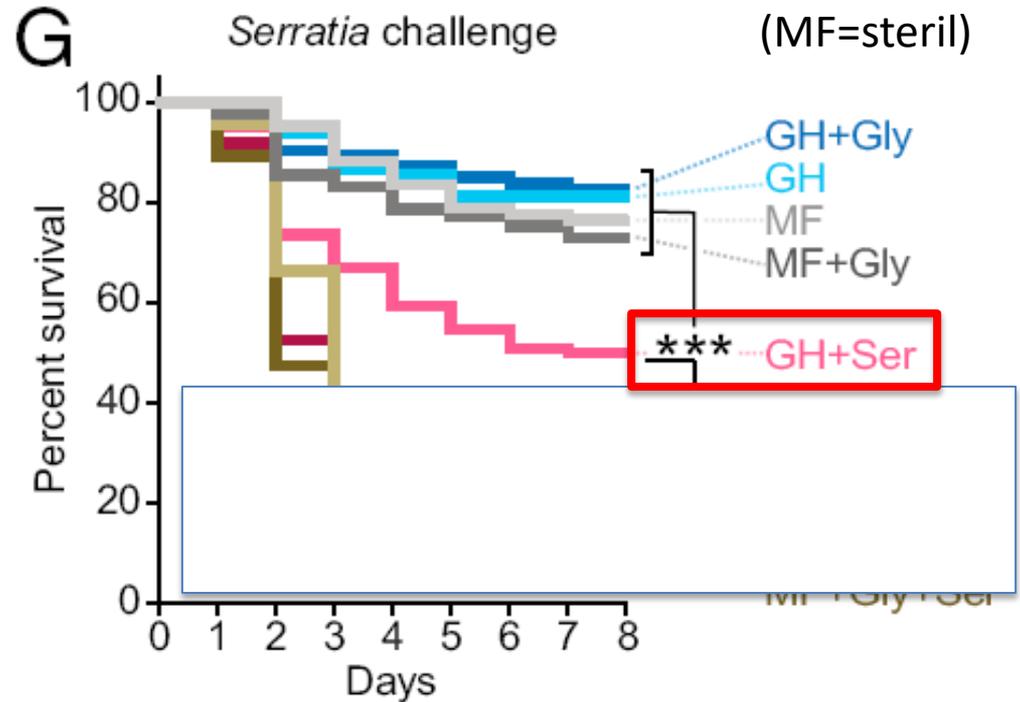
Experiment 3: Anfälligkeit der Bienen gegenüber *Serratia marcescens*



Neugeborene Bienen 5
Tage lang füttern:

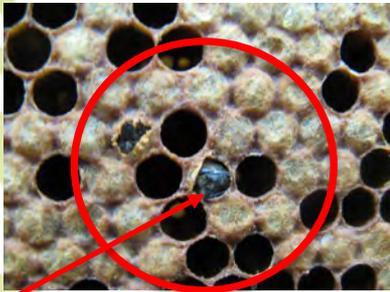
- +/- Darminhalt von Arbeiterinnen
- +/- Gly in 10% der vorherigen Konzentration

Anfälligkeit gegenüber *Serratia*



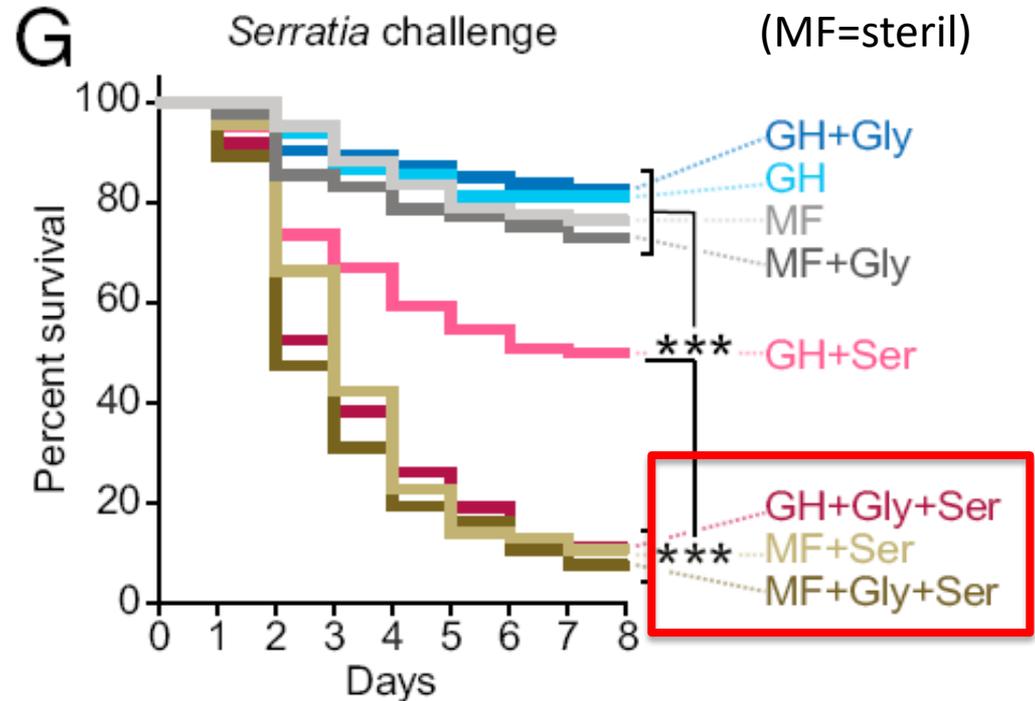
➔ **Mit Darminhalt gefütterte Bienen starben zu ca 45% durch *Serratia***

Experiment 3: Anfälligkeit der Bienen gegenüber *Serratia marcescens*



Neugeborene Bienen 5
Tage lang füttern:

- +/- Darminhalt von Arbeiterinnen
- +/- Gly in 10% der vorherigen Konzentration



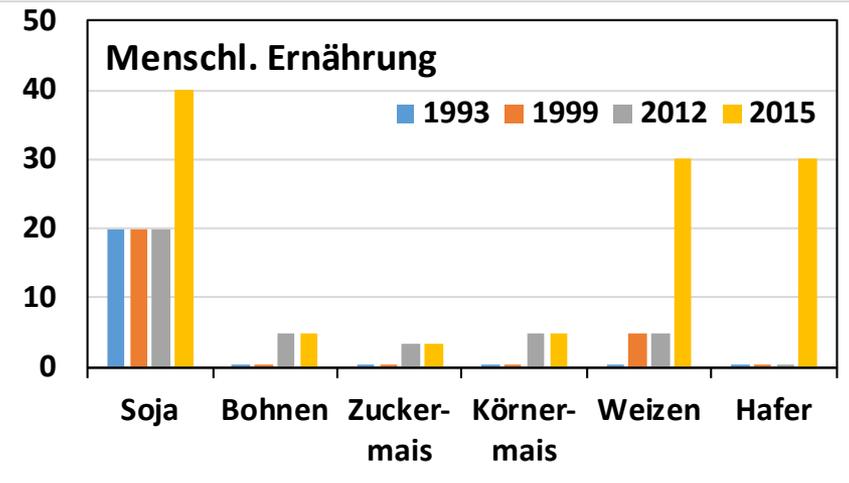
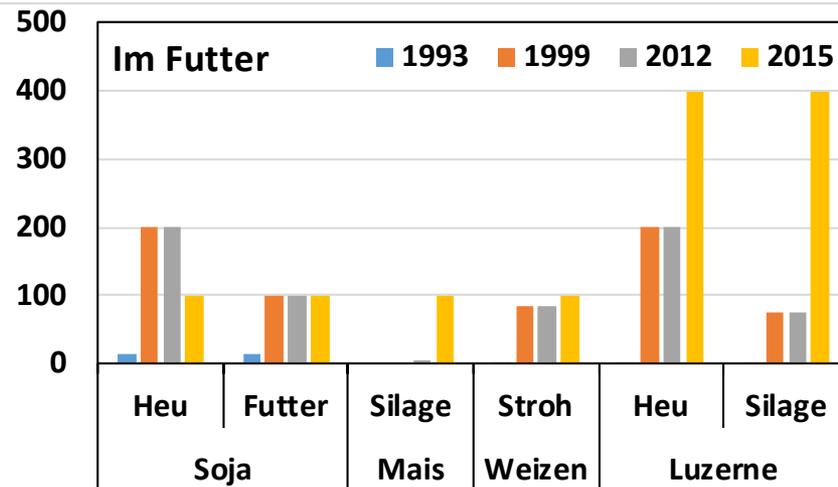
→ **Sobald Gly mit im Futter ist:
fast alle sterben**

→ **Darminhalt schützt, aber Gly hebt
diesen Schutz auf**

Gibet es einen Zusammenhang?

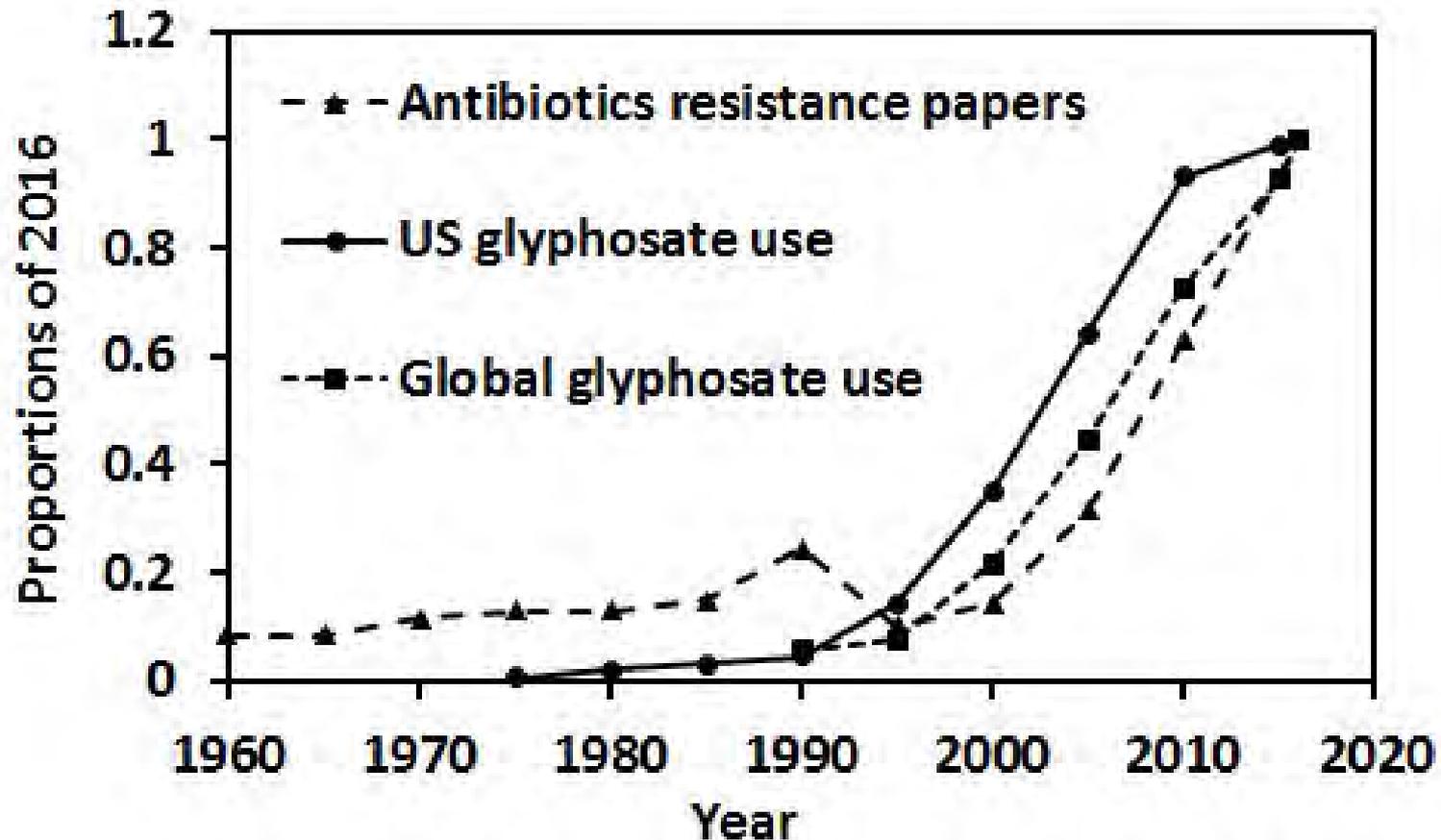
Glyphosat: zugelassene Rückstände

- Zugelassene Höchstmengen (ppm) in den USA:



Benbrook, 2016, Environmental Sciences Europe 28:3

Glyphosat und Antibiotikaresistenz



Van Bruggen, A. H. C., et al. (2018). Science of The Total Environment **616-617**: 255-268.

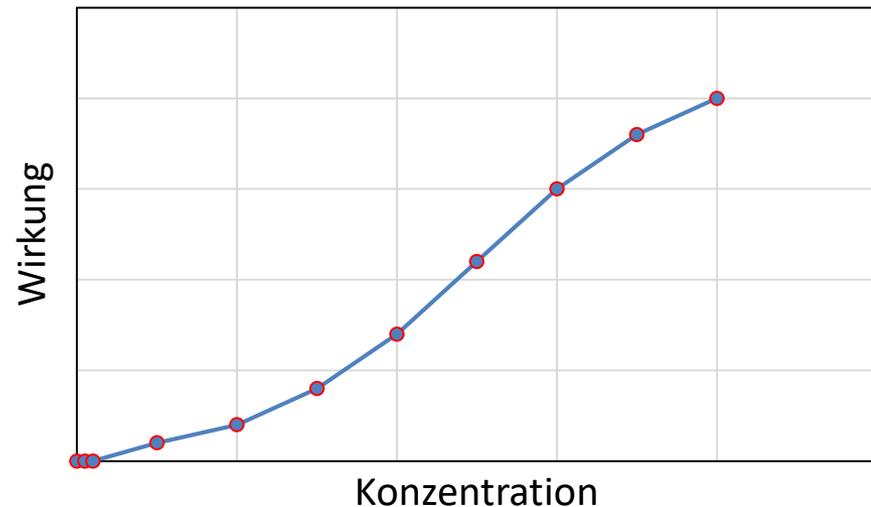
Prof. Dr. Maria R. Finckh
FG Ökologischer Pflanzenschutz

Pseudohormonwirkung

- Eine Substanz, die chemisch nicht mit einem Hormon verwandt ist wirkt im Körper aber wie ein Hormon

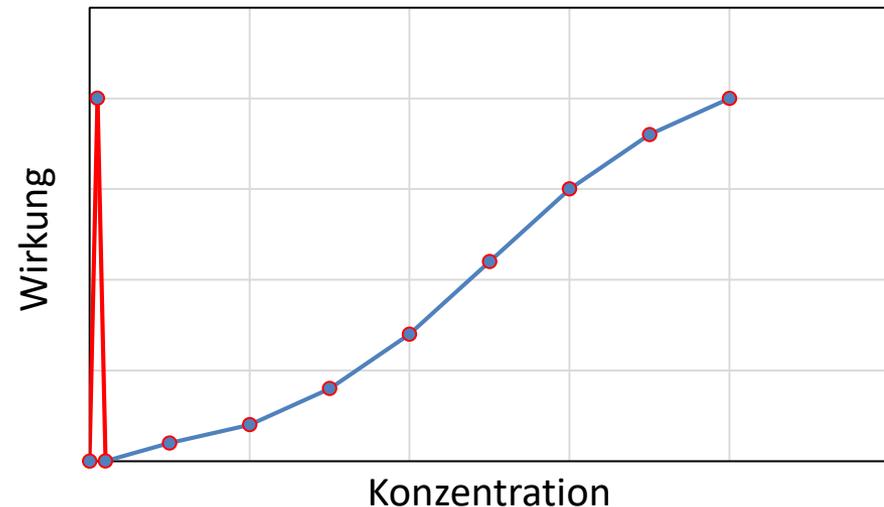
Pseudohormonwirkung

- Eine Substanz, die chemisch nicht mit einem Hormon verwandt ist wirkt im Körper aber wie ein Hormon
- Das gewohnte Bild:
Mit zunehmender Konzentration nimmt die Wirkung auch zu.



Pseudohormonwirkung

- Eine Substanz, die chemisch nicht mit einem Hormon verwandt ist wirkt im Körper aber wie ein Hormon
- Hormone wirken aber in kleinsten Konzentrationen!





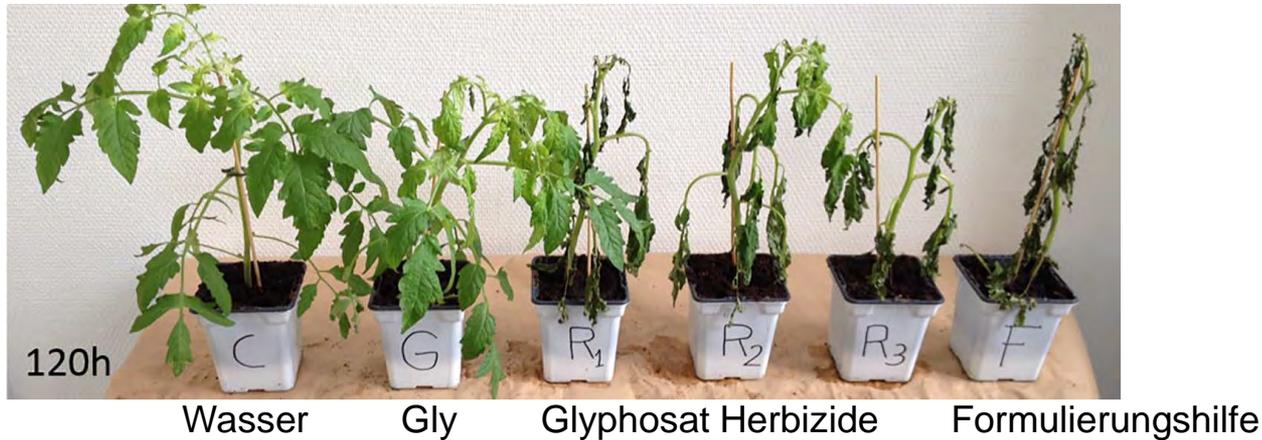
„...A further complication arises specifically for endocrine disrupting chemicals: there are theoretical and empirical findings concluding that **one cannot assume any no-impact exposure threshold for endocrine processes that are already underway because of endogenous hormones**“

Myers, J. P., et al. (2016).
Environmental Health 15:19

Das heißt: Einmal angestoßen kann man die Prozesse kaum mehr stoppen.

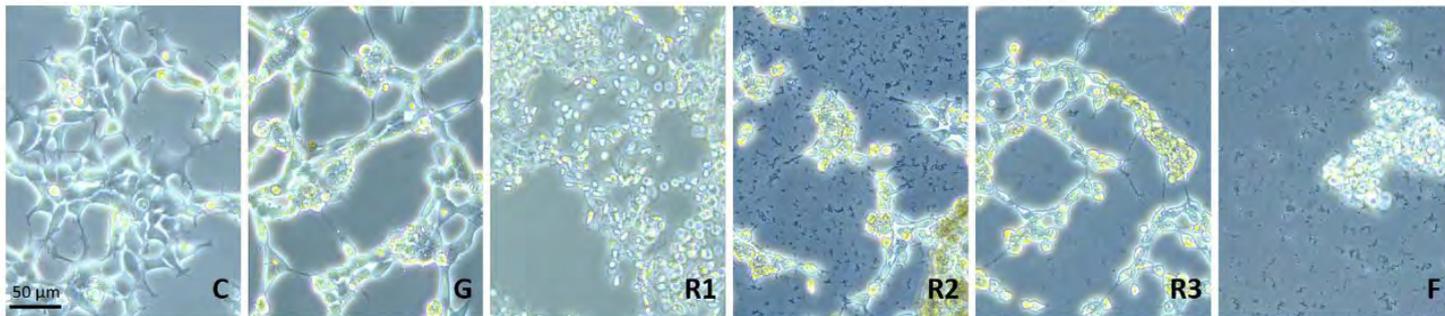
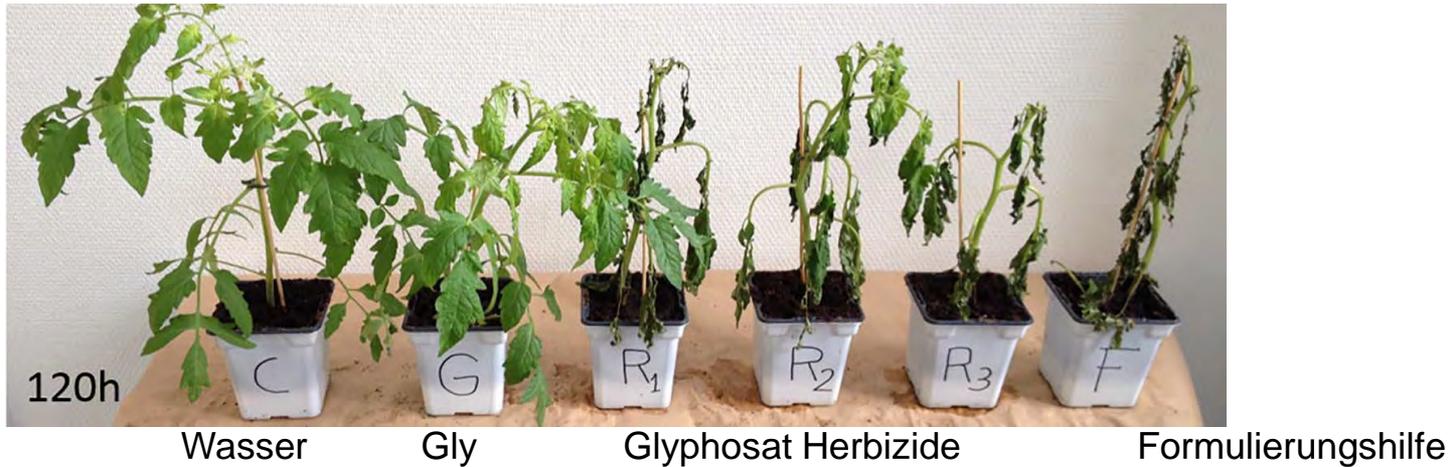
Glyphosat bei Tier und Mensch

- Meist genutztes Adjuvans: polyoxyethylene amine (POEA) in Roundup
 - Erhöht die Toxizität massiv, v.a. für Wasserorganismen



Glyphosat bei Tier und Mensch

- Meist genutztes Adjuvans: polyoxyethylene amine (POEA) in Roundup



Auswirkung von Glyphosatbasierten Herbiziden in der Konzentration, wie sie in der Landwirtschaft angewendet werden auf menschliche Embryozellen

Glyphosat bei Tier und Mensch: Experimentelle Ergebnisse

- Erhöhte reaktive Sauerstoffspezies (ROS)
- Menschliche Leukozyten wurden geschädigt
- Änderungen in der DNA Methylierung:
 - Hypomethylierung: Einfluss auf programmierten Zelltod
 - Hypermethylierung: möglicherweise Unterdrückung von Tumorkontrollgenen

Glyphosat bei Tieren: Experimentelle Ergebnisse

- AMPA und Gly **reduzieren Acetylcholinesteraseaktivität, damit Reduktion der Neurotransmitter: Erklärt Nervenkrankheiten**
- Hohe Dosen stören Entwicklung der Neuralzellen bei Ratten
- Chronische Exposition bei Ratten im Wasser führte zu:
 - **Leber- und Nierenschäden, Änderungen im Leberproteom und Metabolom, Krebs**
 - **Fruchtbarkeitsreduktion**
 - **Endokrindisruption (Pseudohormoneffekte!)**

Glyphosat bei Tieren: Experimentelle Ergebnisse

- AMPA und Gly reduzieren Acetylcholinesteraseaktivität, damit Reduktion der Neurotransmitter: Erklärt Nervenkrankheiten
- Hohe Dosen stören Entwicklung der Neuralzellen bei Ratten
- Chronische Exposition bei Ratten im Wasser führte zu:
 - Leber- und Nierenschäden, Änderungen im Leberproteom und Metabolom, Krebs
 - Fruchtbarkeitsreduktion
 - Endokrindisruption (Pseudohormoneffekte!)
 - **Glutamatergische Toxizität**

Excito-toxizität: Durch Überstimulation ausgelöste Giftwirkung

„Excitotoxicity is the pathological process by which neurons are damaged and killed by the overactivations of **receptors for the excitatory neurotransmitter glutamate, such as the NMDA receptor and AMPA receptor**”

Excitotoxicity may be involved in stroke, traumatic brain injury and neurodegenerative diseases of the central nervous system (CNS) such as **Multiple sclerosis, Alzheimer's disease, Amyotrophic lateral sclerosis (ALS), Fibromyalgia, Parkinson's disease, and Huntington's disease.**

.....

(Wikipedia)

Glyphosat bei Tieren: Experimentelle Ergebnisse

- AMPA und Gly reduzieren Acetylcholinesteraseaktivität, damit Reduktion der Neurotransmitter: Erklärt Nervenkrankheiten
- Hohe Dosen stören Entwicklung der Neuralzellen bei Ratten
- Chronische Exposition bei Ratten im Wasser führte zu:
 - Leber- und Nierenschäden, Änderungen im Leberproteom und Metabolom, Krebs
 - Fruchtbarkeitsreduktion
 - Endokrindisruption (Pseudohormoneffekte!)
 - Glutamataxcito-toxizität
 - **Interaktionen mit Pathogenen:**
 - **Antibiotikakreuzresistenzen**

Ein paar Zusammenhänge:



Journal of
Environmental & Analytical Toxicology

Seneff et al.,
D

Research Article

Is Glyphosate a Key Factor in Mesoamerican Nephropathy?

Stephanie Seneff¹ and Laura F Orlando²

¹Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, MIT, Cambridge MA 02139, USA

²Environmental Health, Boston University School of Public Health, Boston, MA 02118, USA

- Mesoamerican Nephropathy (MeN) oder „Chronic kidney disease of unknown etiology“
- “MeN’s prevalence has exploded among **young male agricultural workers in Nicaragua and El Salvador** in the past decade, with **sugarcane workers** being the most acutely affected.”

Seneff, S. and L. F. Orlando, 2018. J Environ Anal Toxicol **8**(542).

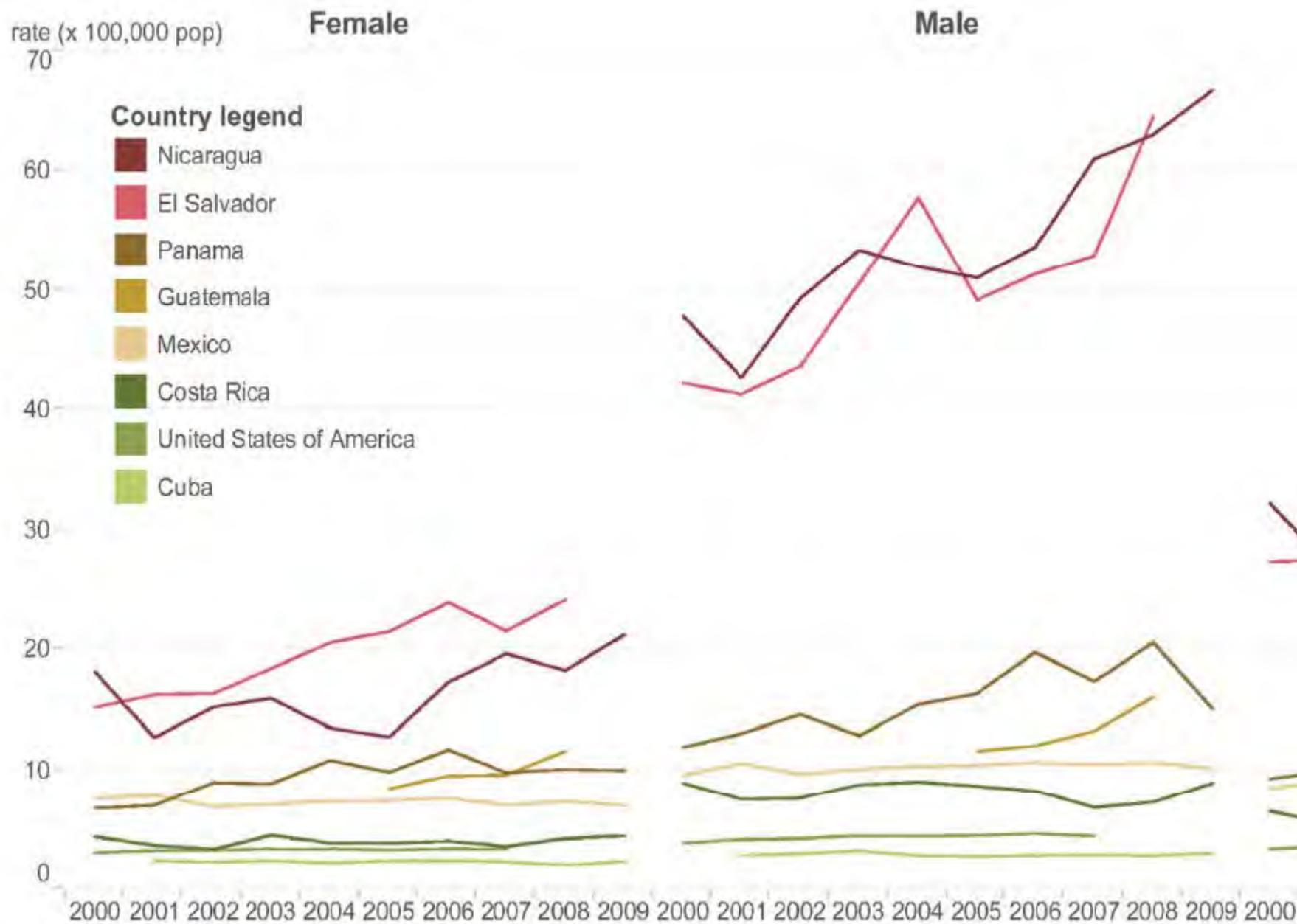


Figure 1: Chronic kidney disease (N18; International Classification of Diseases, tenth revision [ICD-10]) age-standardized rate (ASDR) by sex and country, 2000-2009. Reproduced from Ordunez et al. [2].

Ein paar Zusammenhänge:

- “Glyphosate is ...used to induce the maturation or ripening of cane in order to increase the sugar content at harvest time”
- “increased symptom manifestation is linked to the harvest season, when strenuous labor is involved ...and workers are exposed to smoke from burning cane “
- “No one should be surprised that this chemical compound, the world’s number one herbicide, glyphosate, can be toxic. We regularly add chemicals to our ecosystem only to find out years or decades later that we should have been more diligent in making sure all the effects of these chemicals had been studied. This is the time for all of us to read again Rachel Carson’s “The Silent Spring”

Seneff, S. and L. F. Orlando, 2018. J Environ Anal Toxicol **8**(542).

A.W. Campbell, 2014, Glyphosate: Its effects on Humans. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 20, 3, 9-11.

Ein paar Zusammenhänge aus den USA

N.L. Swanson et al., 2014. Journal of Organic Systems 9, 6-37.

Age Adjusted End Stage Renal Disease Deaths (ICD N18.0 & 585.6)

plotted against %GE corn & soy planted ($R = 0.9578$, $p \leq 4.165e-06$)
and glyphosate applied to corn & soy ($R = 0.9746$, $p \leq 7.244e-09$)

Sources: USDA:NASS; CDC

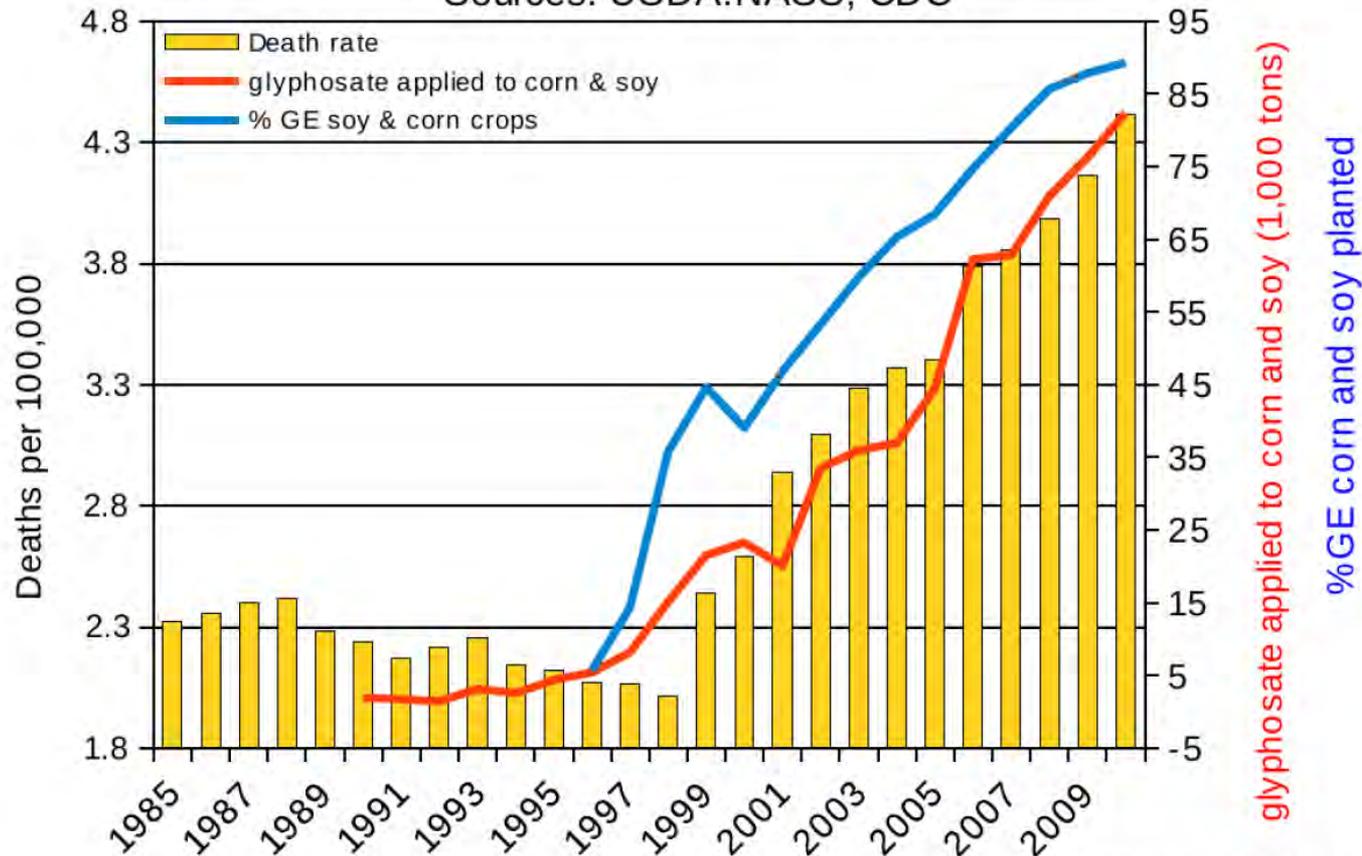
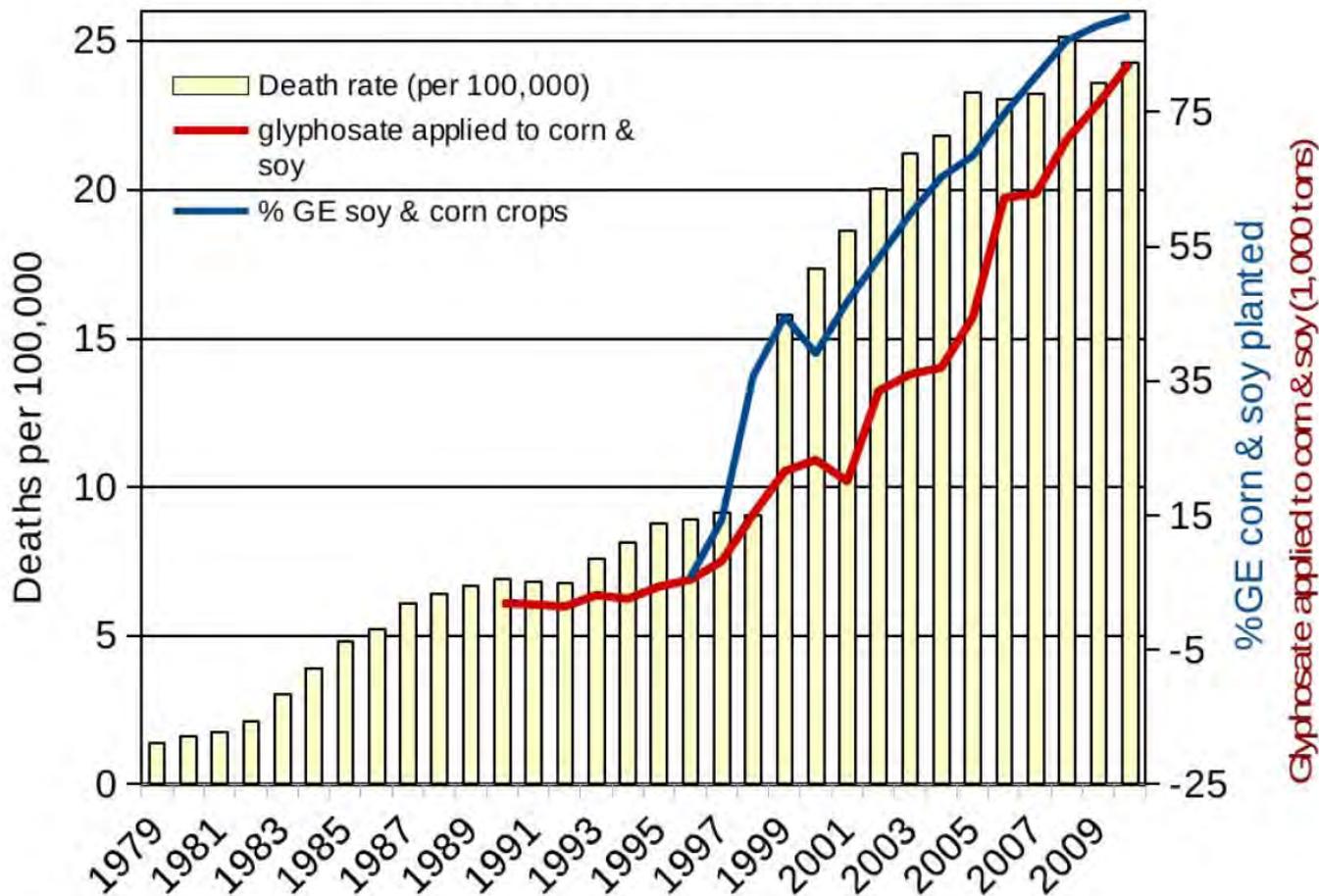


Figure 18. Correlation between age-adjusted End Stage Renal Disease deaths and glyphosate applications and percentage of US corn and soy crops that are GE.

Ein paar Zusammenhänge aus den USA:

Age Adjusted Deaths from Alzheimer's (ICD G30.9 & 331.0)
 Plotted against glyphosate use ($R = 0.917$, $p \leq 2.205e-07$) &
 %GE crops planted ($R = 0.9373$, $p \leq 9.604e-06$)
 sources: USDA:NASS; CDC



Ein paar Zusammenhänge aus den USA

Number of children (6-21yrs) with autism served by IDEA
 plotted against glyphosate use on corn & soy ($R = 0.9893$, $p \leq 3.629e-07$)
 Sources: USDA:NASS; USDE:IDEA

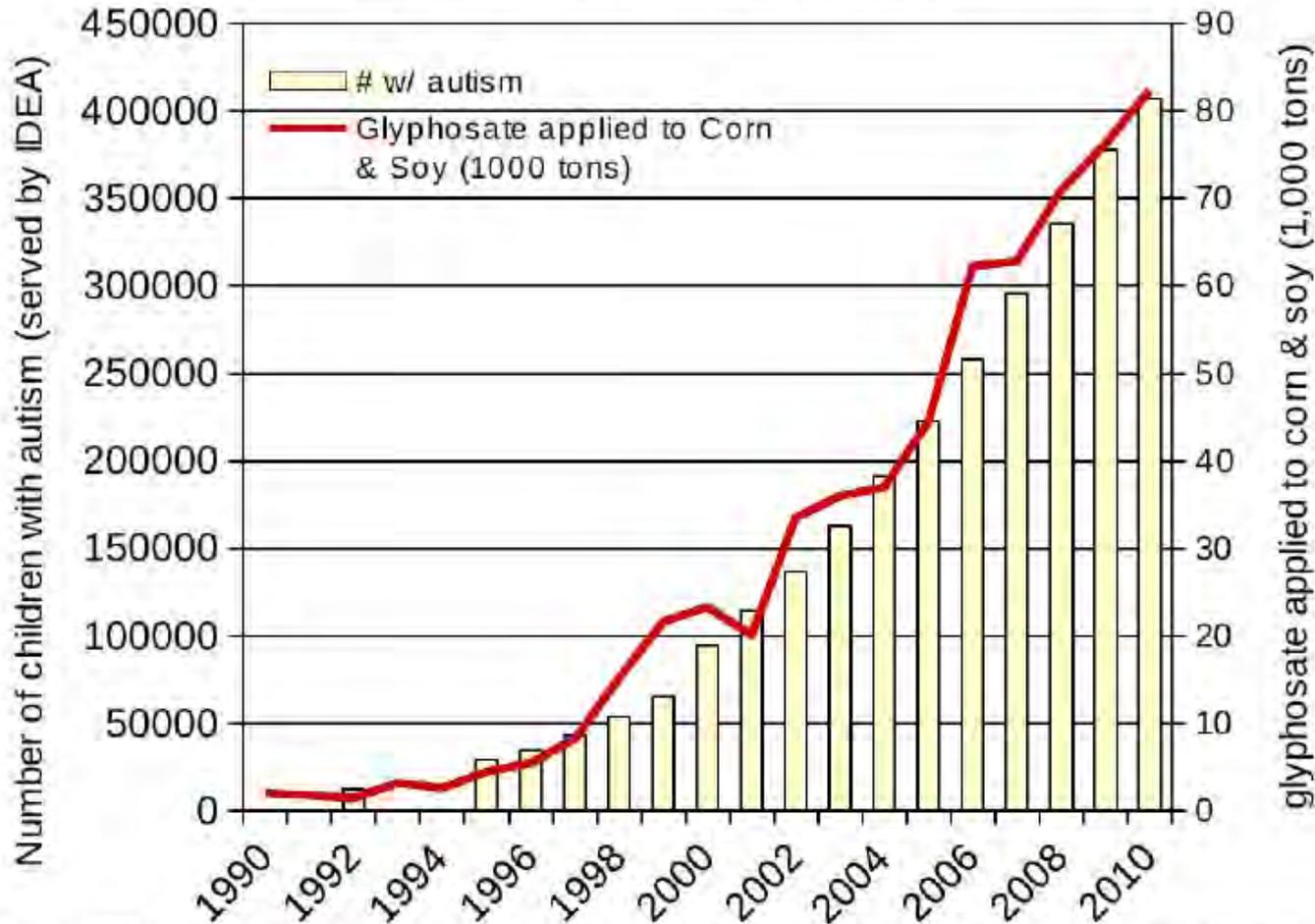


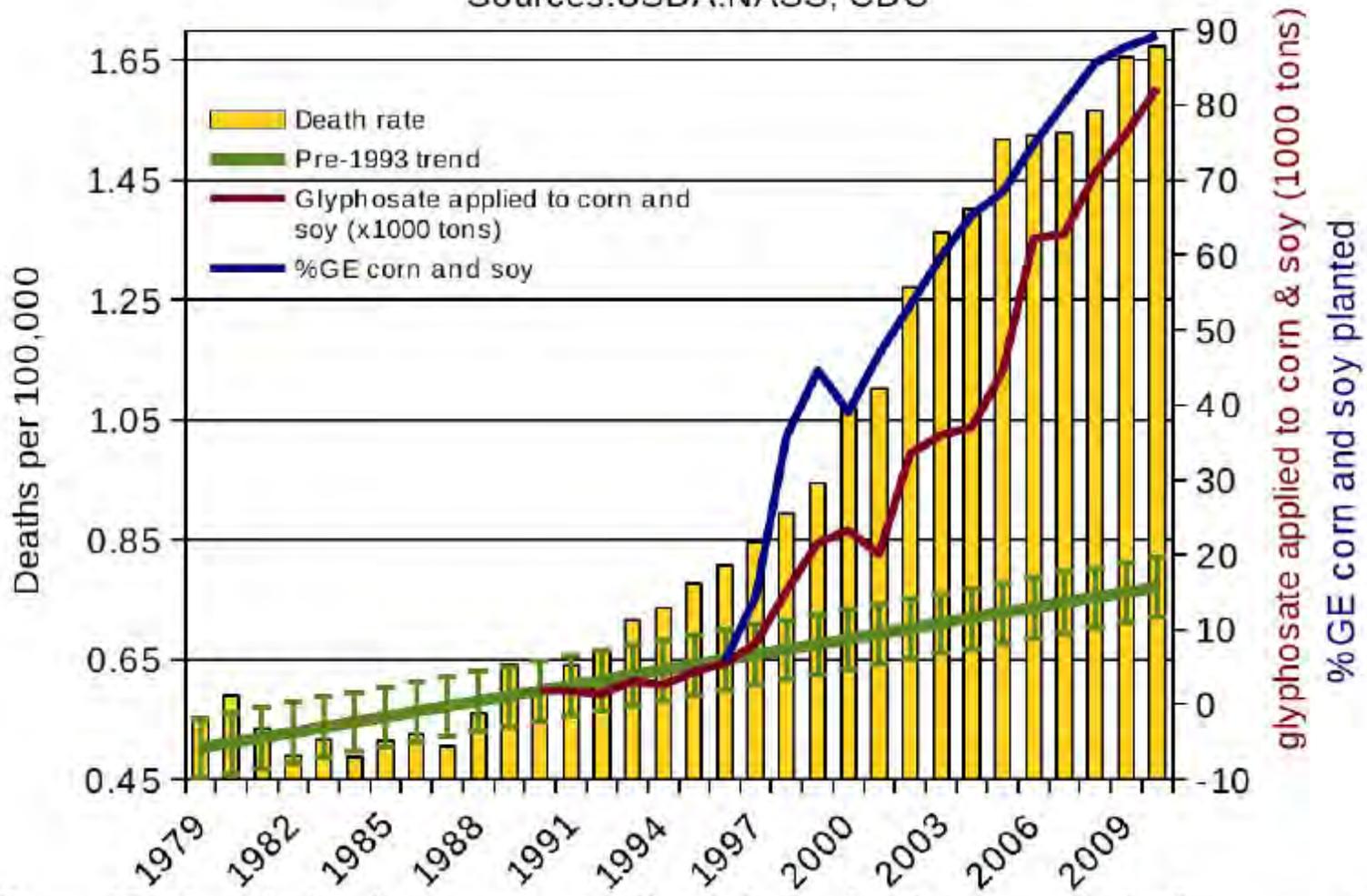
Figure 23. Correlation between children with autism and glyphosate applications.

Ein paar Zusammenhänge aus den USA

Age Adjusted Deaths due to Obesity (ICD E66 & 278)

plotted against %GE corn & soy ($R = 0.9618$, $p \leq 3.504 \times 10^{-6}$)
 and glyphosate applied to corn & soy ($R = 0.9616$, $p \leq 1.695 \times 10^{-8}$)

Sources: USDA:NASS; CDC



Lösungsansätze ohne Glyphosat

Schlüsselfaktoren, Kaskadeneffekte Artensterben, Industrielle Landwirtschaft

Schlüsselfaktor 1 Agrarstruktur

↑ Schlaggrößen, maschinengerecht

↓ Saumbiotope, Ränder, Schlaggrenzen, Flurbereinigung

Schlüsselfaktor 2 N-Input extern, „triggert“ weitere Zukaufsmittel
Dünger (N): Unabhängigkeit von N-Regeneration, Einengung Fruchtfolge



30 Tage nach der Anwendung eines Glyphosat-haltigen Herbizides ist das Feld unkrautfrei und bereit für die Aussaat neuer Feldfrüchte (© Monsanto).
©<http://www.glyphosat.de/nacherntebehandlung-vor-der-anschliessenden-aussaat>

↑ Ährentragende Halme/m²

- Herbizide (N-Profiteure)

↑ Mikroklima, Feuchte

- Fungizide

↑ wüchsiger Bestand,

- Insektizide Blattläuse

↓ Standfestigkeit

- Halmverkürzer

↑ Ertragsbildungsphase verlängert

- Sikkative (gleichmässige „Abreife einleiten“)

“nach der Ernte-vor der Aussaat“ Herbizide

Was tun ohne Glyphosat?

- Fruchtfolgen
- Zwischenfrüchte
- Saatedichte und Muster
- Mechanische Beikrautkontrolle
- Züchtung für Unkrautunterdrückung
- **Mulch**

Energie und mechanische Bekämpfung

- Energiebedarf um Roundup für 1 ha zu produzieren: 225 MJ
- Energiebedarf für eine Ausbringung 1 ha (85 PS): 42 MJ
- Energiebedarf für einmal striegeln 1ha (17m breit 180PS): 124 MJ

Hoepfner et al, 2006, Renew Agric Food Syst, 21, 60-67











Aussaatemuster

- Konkurrenz durch Dichtsaat



Weizen in Reihen
(courtesy Jacob Weiner, Univ. Copenhagen)

Dieselbe Anzahl Pflanzen gleichmäßig verteilt

Mischungen



Erbsen alleine



Hafer alleine



Hafer-Erbsenmischung

Senfsamenbank war im Feld

Züchtung für Beikrautunterdrückung? Weizenpopulationen



Kontrolle: Betriebsorte (Elixer)

**2017 Weizen Composite Crosses im Ökoanbau im
langjährig Minimalbodenbearbeitungssystem
(Praxisbetrieb)**





Was tun ohne Glyphosat?

- Fruchtfolgen
- Zwischenfrüchte
- Saatedichte und Muster
- Mechanische Beikrautkontrolle
- Züchtung für Unkrautunterdrückung
- Mulch

Dies braucht öffentliche Unterstützung und Lenkung, z.B.

- **Bezahlung für Ökosystemdienstleistungen**
- **N-Kontrolle**



Es gibt viel zu tun
Wir müssen es anpacken!