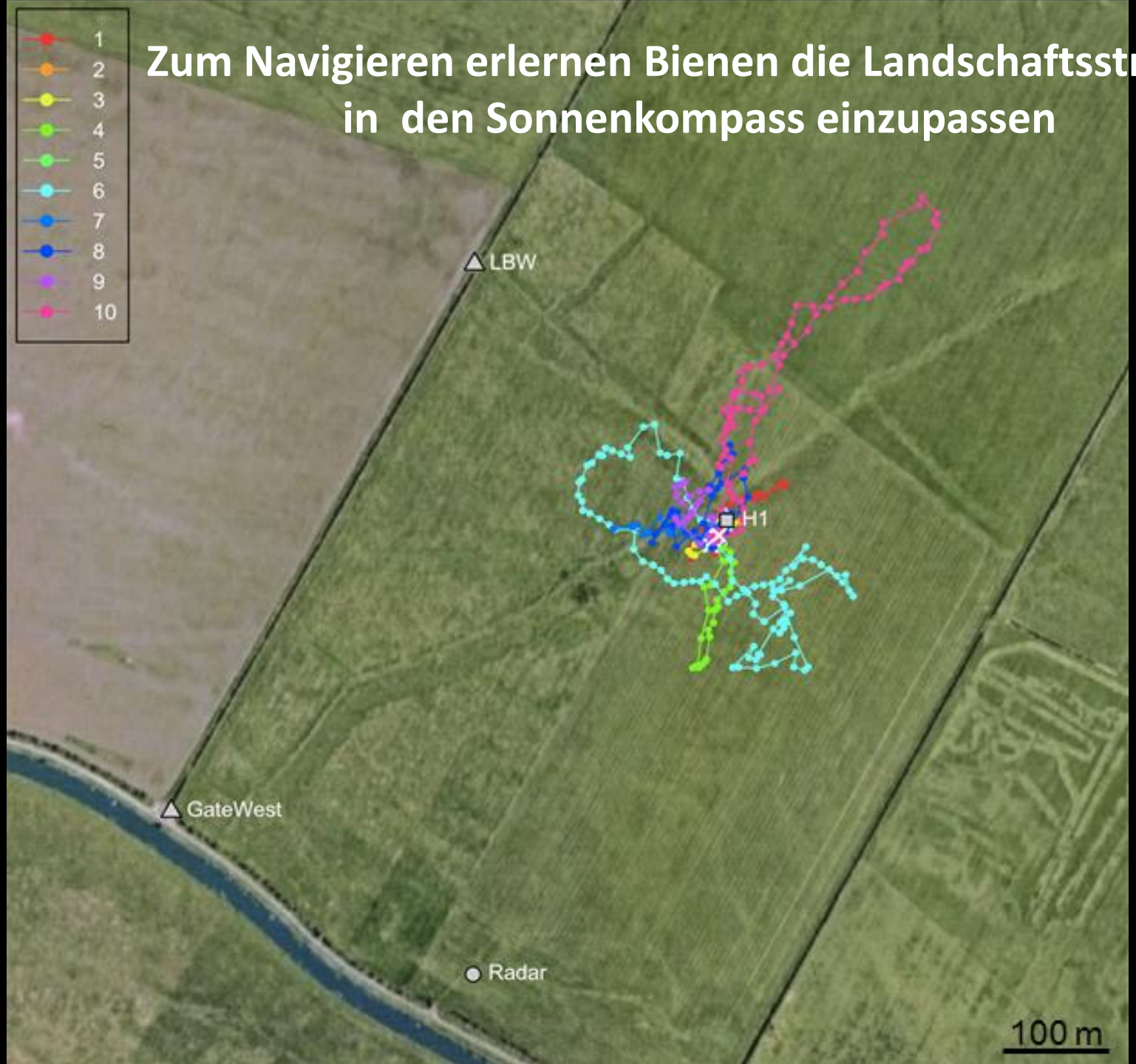
Wie Neonicotinoide das Verhalten von bestäubenden Insekten ändern

Randolf Menzel
Freie Universität Berlin
www.neurobiologie.fu-berlin.de

Zukunftsforum Naturschutz
LNV Stuttgart
Nov. 2017

Der komplexe Blumenmarkt

Zum Navigieren erlernen Bienen die Landschaftsstruktur in den Sonnenkompass einzupassen



Tanzkommunikation im Schwarm

Neonicotinoide

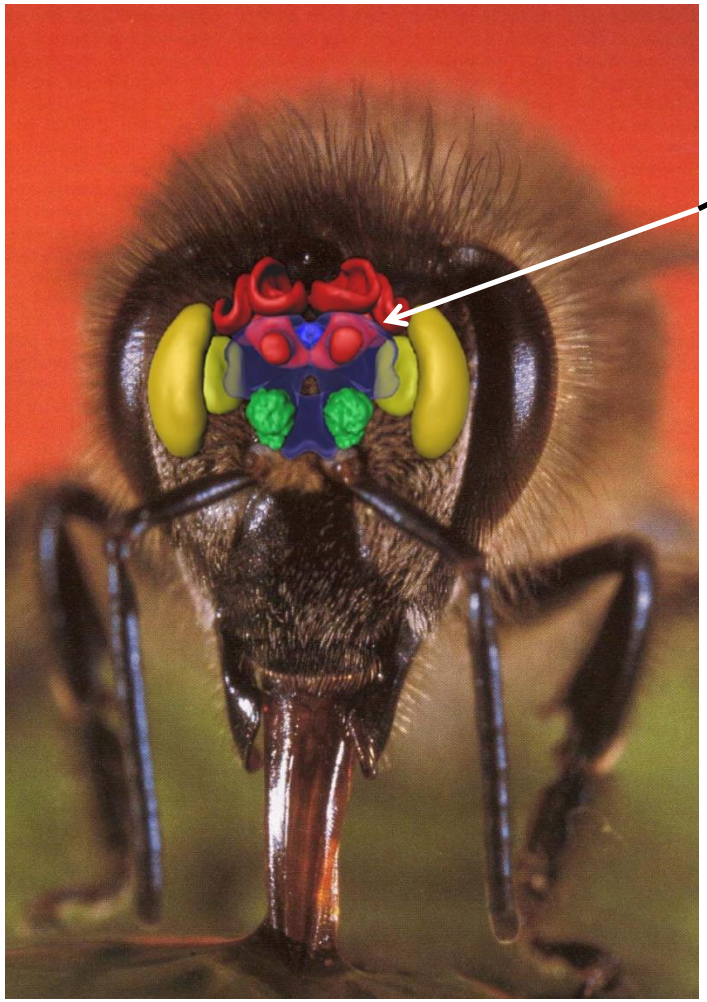
sind Insektizide (Pestizide), die als Kontakt- und Fraßgifte wirken.

Sie werden über die Wurzeln (gebeizter Samen) oder durch Spritzen aufgenommen aufgebracht. So gelangen sie in alle Teile der Pflanzen (Pollen, Nektar, Gutationssaft, Staub vom Acker, Ackerpfützen).

13 bekannte Wirkstoffe: **Acetamiprid**, **Clothianidin**, **Imidacloprid**, Nitenpyram, **Thiacloprid**, Thiamethoxam, Dinotefuran, Cycloxaprid, Imidaclothiz, Paichongding, Sulfoxaflor, Giadipyr, Flupyradifurone.
Zur Zeit wird vor allem **Thiacloprid** (Calypso, Biscaya) und **Acetamiprid** (Mospilan) verwendet, wobei sich die Anwendungsvorschriften ständig ändern (z.B. kein Spritzen in die Blüte, kein Beizen von Samen bestimmter Pflanzen, z.B. Raps aber nicht Erbse).
Gegen Rapsglanzkäfer, Kartoffelkäfer, Blattläuse, weiße Fliege

EFSA (European Food Safety Authority):
Für 3 Wirkstoffe ist die Anwendung noch gesperrt: z.B. Clothianidin, Imidacloprid, Thiamethoxam (dagegen strengt die erzeugende Industrie ein Gerichtsverfahren am Europäischen Gerichtshof an)

Wo die Neonicotinoide im Insektengehirn wirken



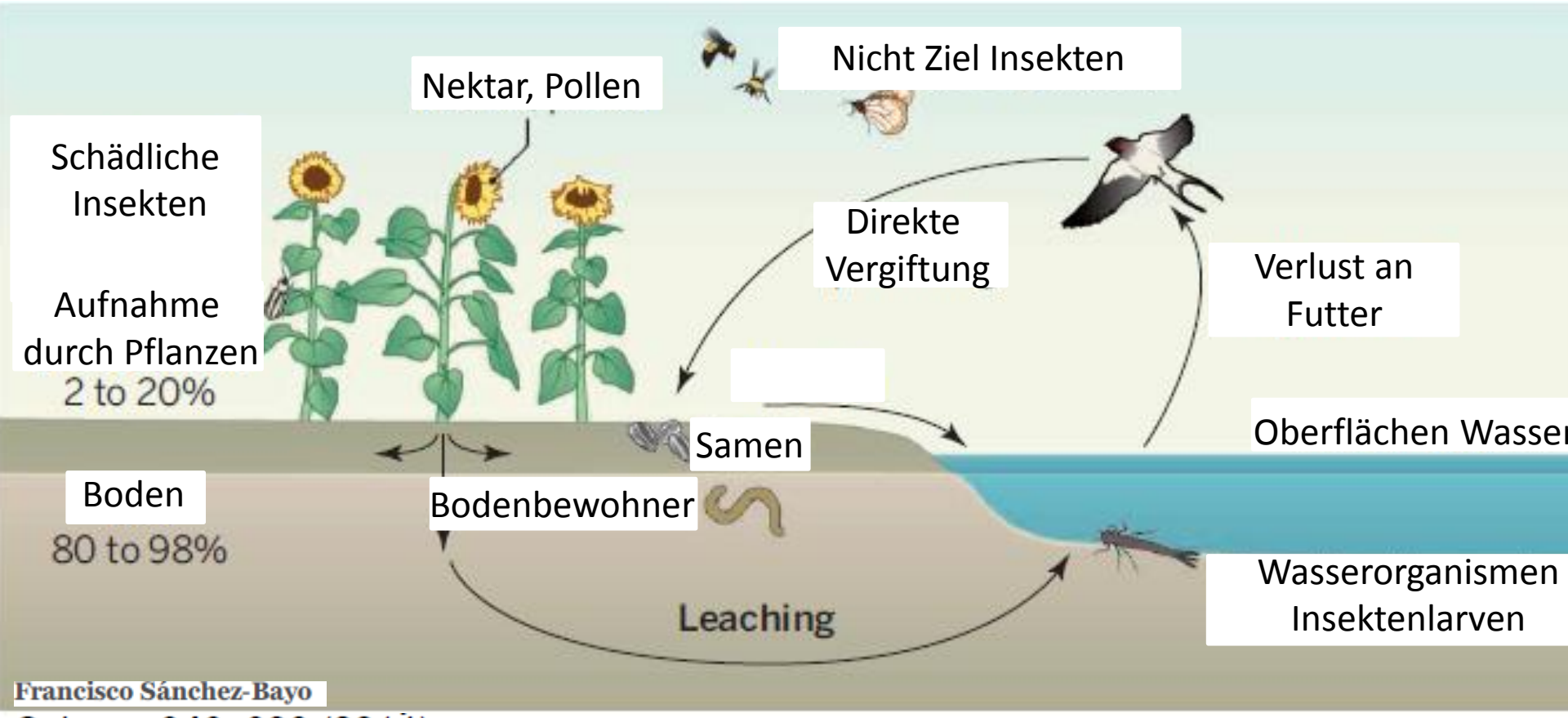
Die komplexesten Verhaltenssteuerungen im Insektengehirn finden in den Pilzkörpern statt.
Die Eingänge von den Sinnesorganen und von den vorverarbeitenden Regionen im Gehirn sowie die Verarbeitung innerhalb des Pilzkörpers erfolgt über nikotinische Acetylcholin Rezeptoren.

Neonicotinoide wirken auf diese Gehirnprozesse (ACh-Rezeptor).
Bei höheren Dosen ist dies tödlich, bei sehr niedrigen Dosen stört dies die Gehirnprozesse:

Wahrnehmen, Lernen, Erinnern, Orientieren, Navigieren, Kommunizieren

Daneben wirken Neonics auch auf ein anderes Gehirnmolekül, GABA Rezeptor, sowie auf das Immunsystem der Insekten, auf die Entwicklung von Larven, auf den Energiestoffwechsel und auf das Expressionsmuster von Genen.

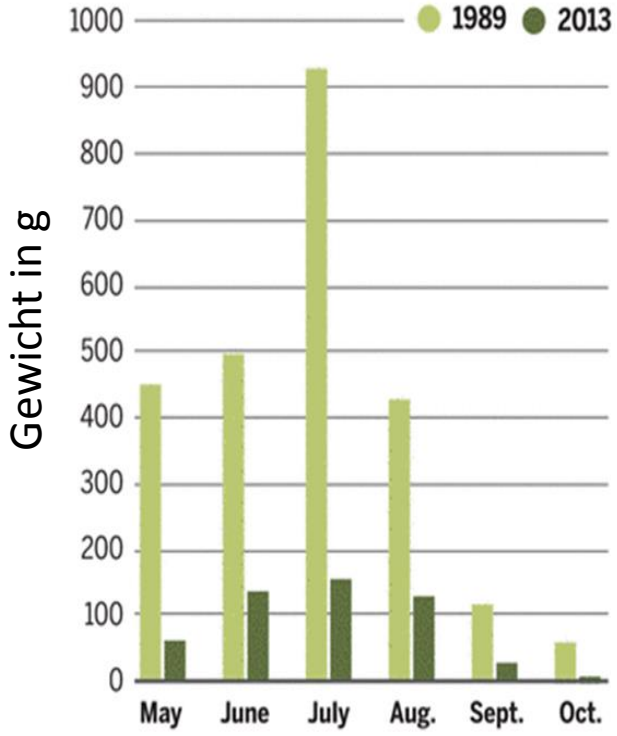
Das Problem mit den Neonikotinoiden

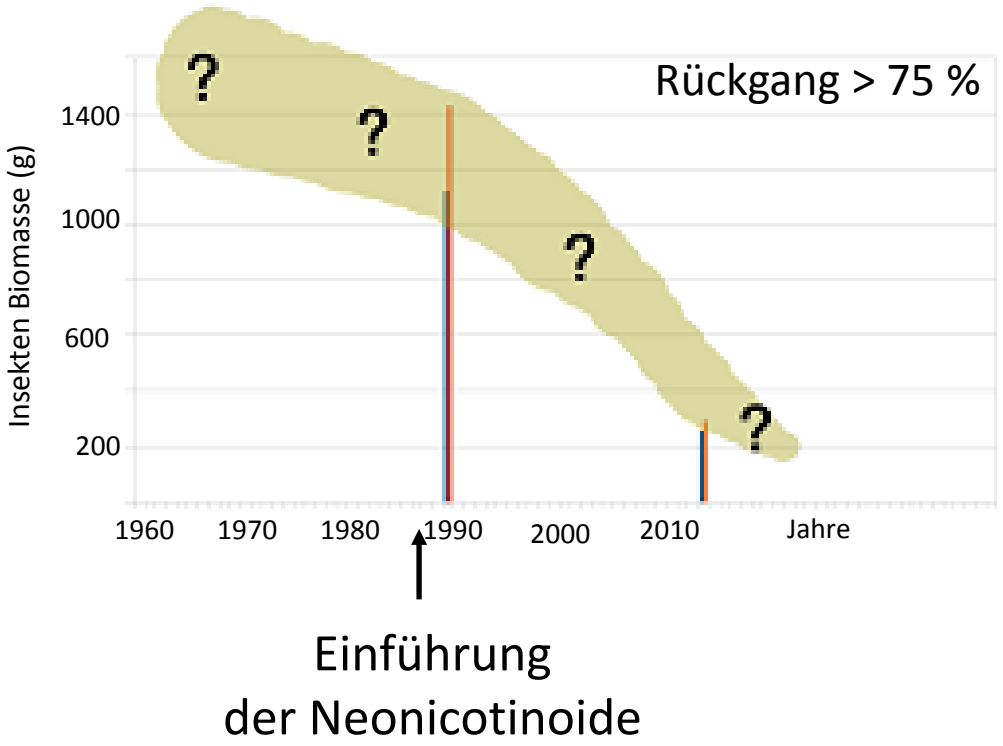


Science **346**, 806 (2014)

Beizen von Samen: 1 – 17 mg Neonicotinoide pro kg.
Im Pflanzensaft sind dann 5 – 10 µg pro Liter (= ppb)

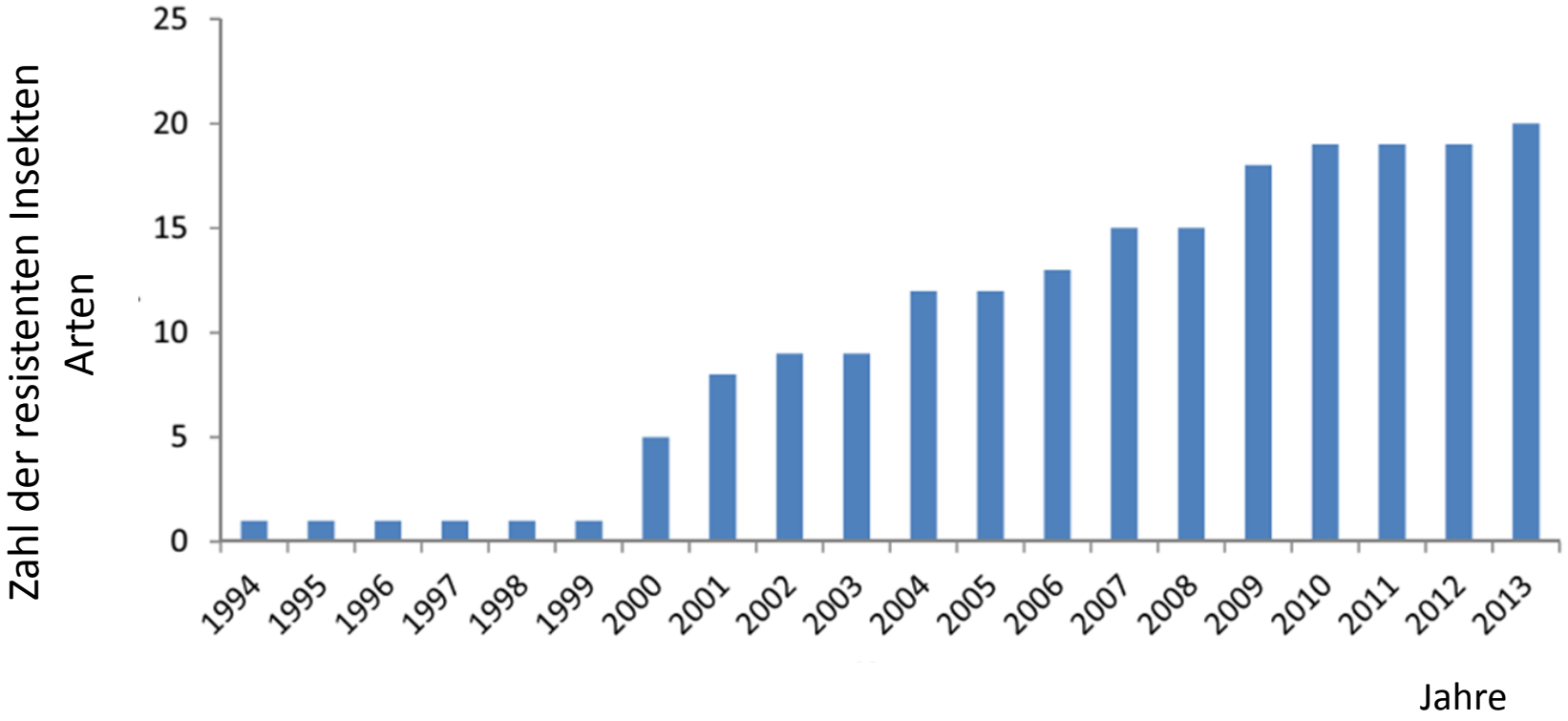
Abnahme der Biomasse flugfähiger Insekten
Ein Vergleich zwischen 1989 und 2013 im Ruhrgebiet





Sorg et al. 2013

Die große Gefahr:
Zunahme der Resistenz von Insekten Arten seit Einführung der Neonicotinoide



Bass et al. 2015

Konzentrationen, Mengen und Dosen

Konzentration: **ppb**: part per billion= Anteil in 1 Milliarde, also $1:10^9$
in 10^9 g ist 1 g Substanz bzw in 1 g ist 10^{-9} g Substanz
1 ppb bedeutet also: 1 ng/g (oder µg/kg) (=1 g in 1000 m^3)

Konzentrationen von Neonicotinoiden in Pflanzen

1 – 10 ng/g (ppb) Thiamethoxam in Pollen und Nektar
0.5 – 36 ng/g (ppb) Imidacloprid in Sonnenblumen Pollen
bis 90 ng/g Thiacloprid im Pollen von Obstblüten

Innerhalb der Kolonie, die Rapsblüten aus gebeiztem Samen ausgesetzt waren:
6.6 - 23 ng/g (ppb) Imidacloprid in **Pollen oder Honig**
10 – 14 ng/g (ppb) Clothianidin in Pollen oder Honig
> 150 ng/g (ppb) Thiacloprid im Bienenbrot

Neonicotinoide im Bienenbrot in Deutschland (Bienen Monitoring Programm der Bienen Institute 2011, 2012, 2013)

Thiacloprid in 61% (2011), 61% (2012), 56% (2013)
mit 130 ng/g (2011), 498 ng/g (2012), 240 ng/g (2013)

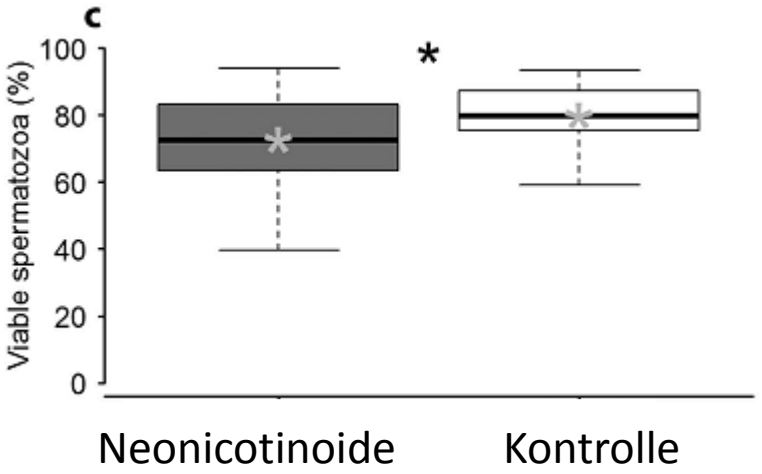
Clotianidin dreimal < 3 ng/g (2011, 2012,), 20 mal < 0,3 – 1,1 ng/g (2013)

Imidacloprid einmal < 3 ng/g (2012, 2013)

Sind diese winzigen Konzentrationen für Bienen gefährlich?

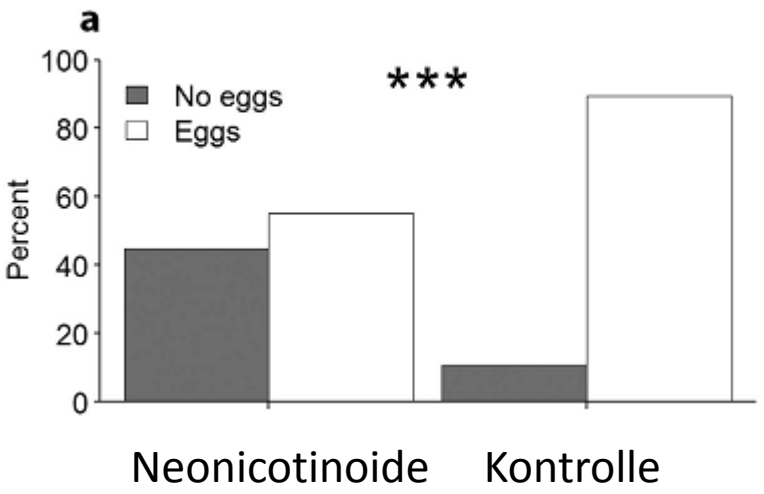
Honigbienen
Neonikotinoide in Raps Pollen: Königin

reduziert die lebenden Spermien in der Königin



Weniger Spermien in der Spermatheka

Die Königin legt weniger Arbeiterinnen Eier

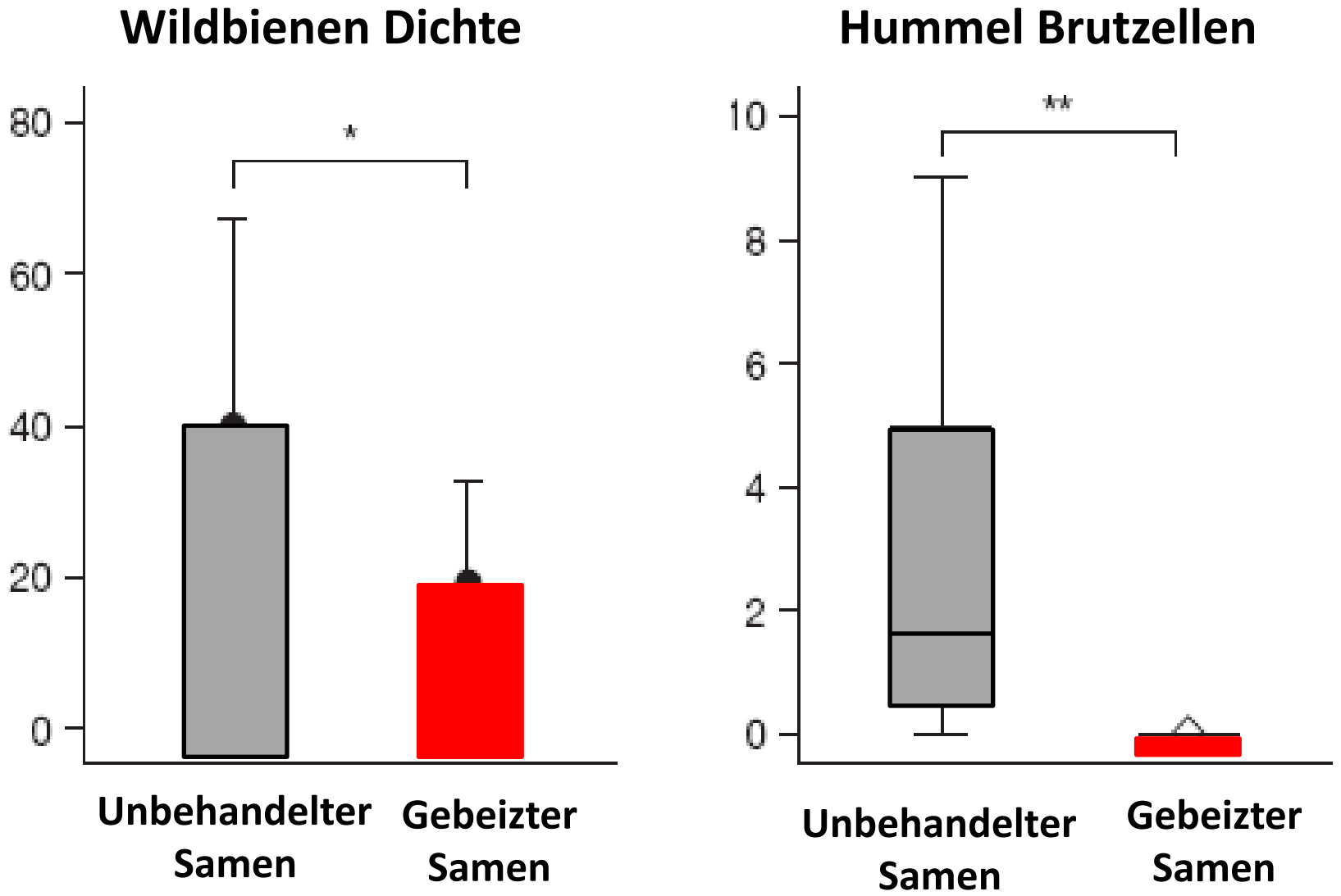


Weniger Arbeiterinnen Eier gelegt

Bern (Schweiz) Pollen behandelt mit 4ppb Thiamethoxam und 1 ppb Clothianidin
(vergleichbar mit dem Gehalt an Neonicotinoiden in Raps Pollen)

Williams et al. 2015 Neonicotinoid pesticides severely affect honeybee queens. Scientific Reports 5:14621

Wildbienen und Hummeln sind mehr gefährdet als Honigbienen



Rundlöff et a. 2015 Nature

Laborexperimente:
Lernen von Düften durch Belohnung

belohnter Duft

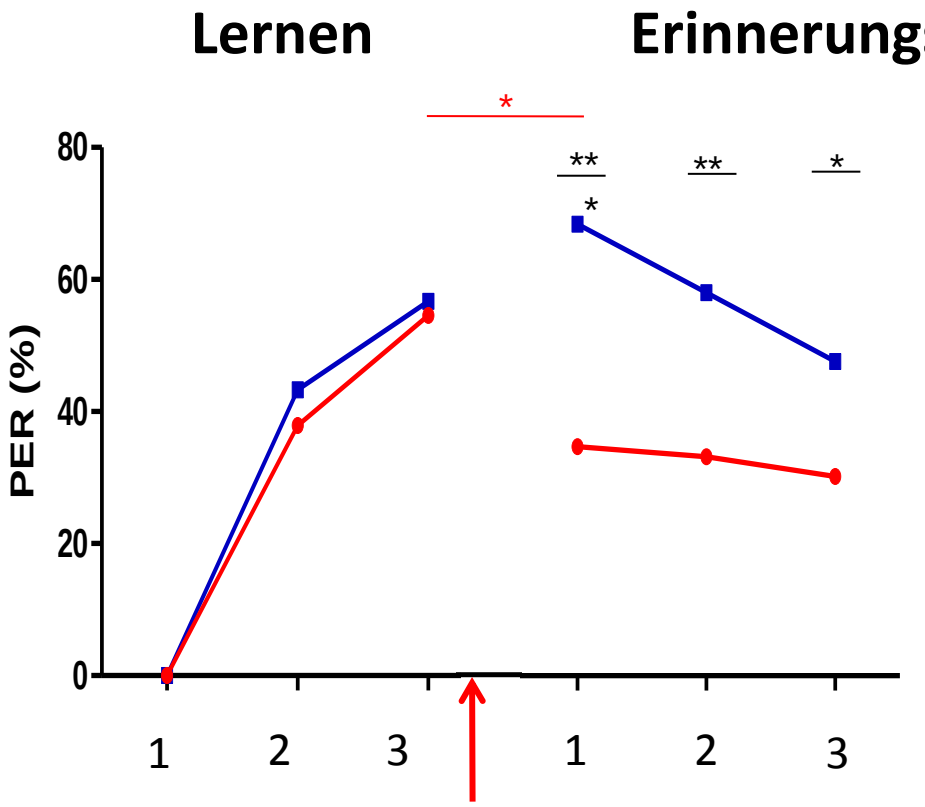
Dressur

belohnter Duft

Gedächtnis

Gedächtnisbildung

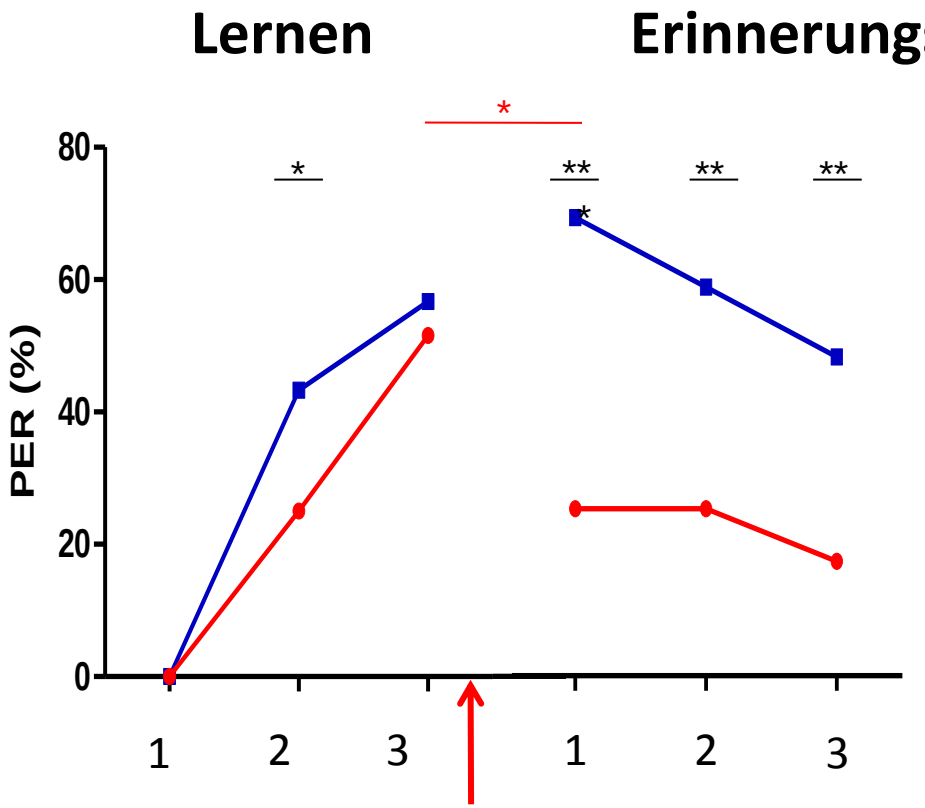
Clothianidin stört die Bildung des Gedächtnisses



Clothianidin 0,33 ng/bee
6 Std nach Lernen

Tison et al. (2017), J. exp. Biol.
doi:10.1242/jeb.154518

Thiacloprid stört die Bildung des Gedächtnisses



Tison et al. (2017), J. exp. Biol.
doi:10.1242/jeb.154518

Im Laborexperiment zeigt sich, dass Clothianidin und Thiacloprid die Gedächtnisbildung und den Gedächtnisabruf massiv stören.

Dosis: 0,33 ng /Biene Clothianidin; 64 ng/ Biene Thiacloprid

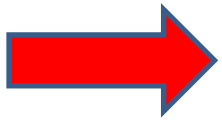
Die dabei verwendeten Dosen liegen im Bereich was Bienen z.B. von gebeiztem Raps aufnehmen können

Clothianidin: 10ng/ml Nektar, Biene sammelt 50 µl, dann nimmt also ca 0,5 ng auf

Thiacloprid >100 ng im Nektar/Biene (z.B. Calypso).

Tödliche Dosen (LD50 Werte): 18ng/Bienen bei Imidacloprid;
22ng/Biene bei Clothianidin;
Thiacloprid etwa 150 fache Dosis.

Wirken sich solche Dosen auch auf das natürliche Verhalten von Bienen aus?

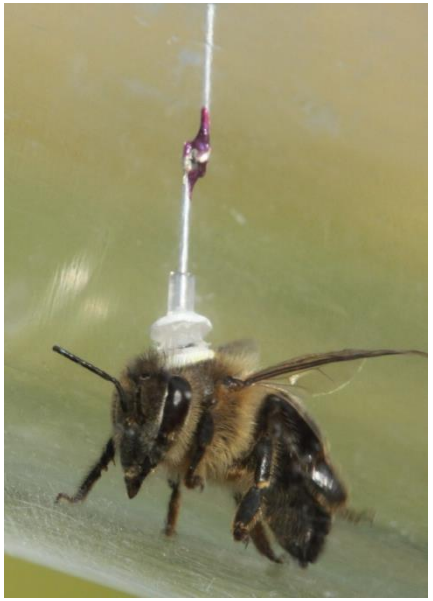


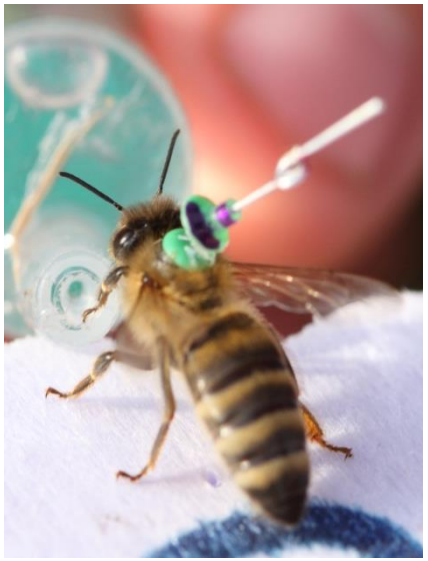
Navigation (Heimfindevermögen), Kommunikation (Schwänzeltanz)

Wenn man die Navigation der Bienen verstehen will, muss man wissen, wo sie herumfliegt

Verfolgen der Bienen mit einem speziellen Radargerät

Harmonisches Radar

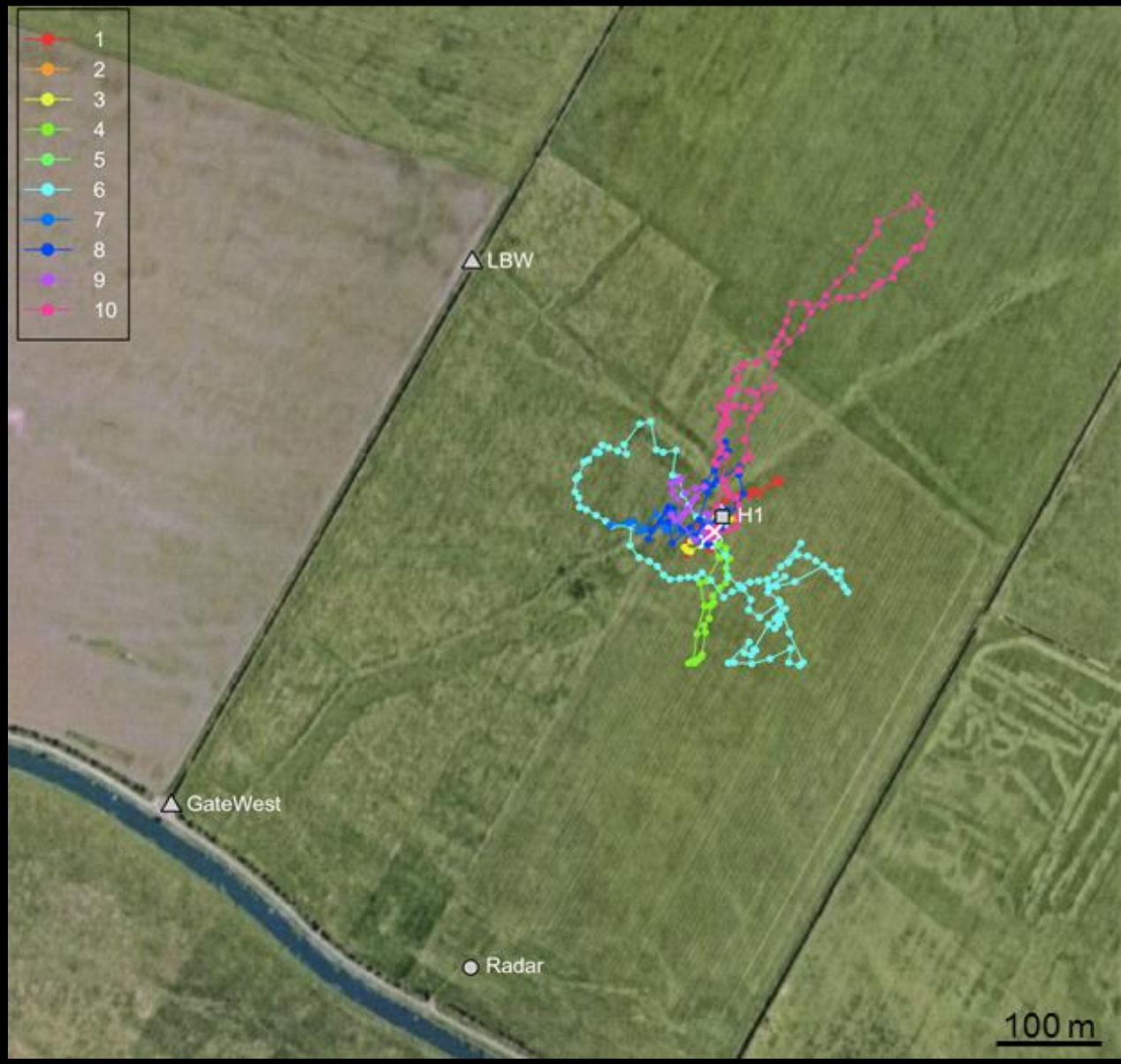




Aus dem Film “More than Honey”

Wie Bienen ihr Landschaftsgedächtnis erlernen und in den Sonnenkompass einpassen

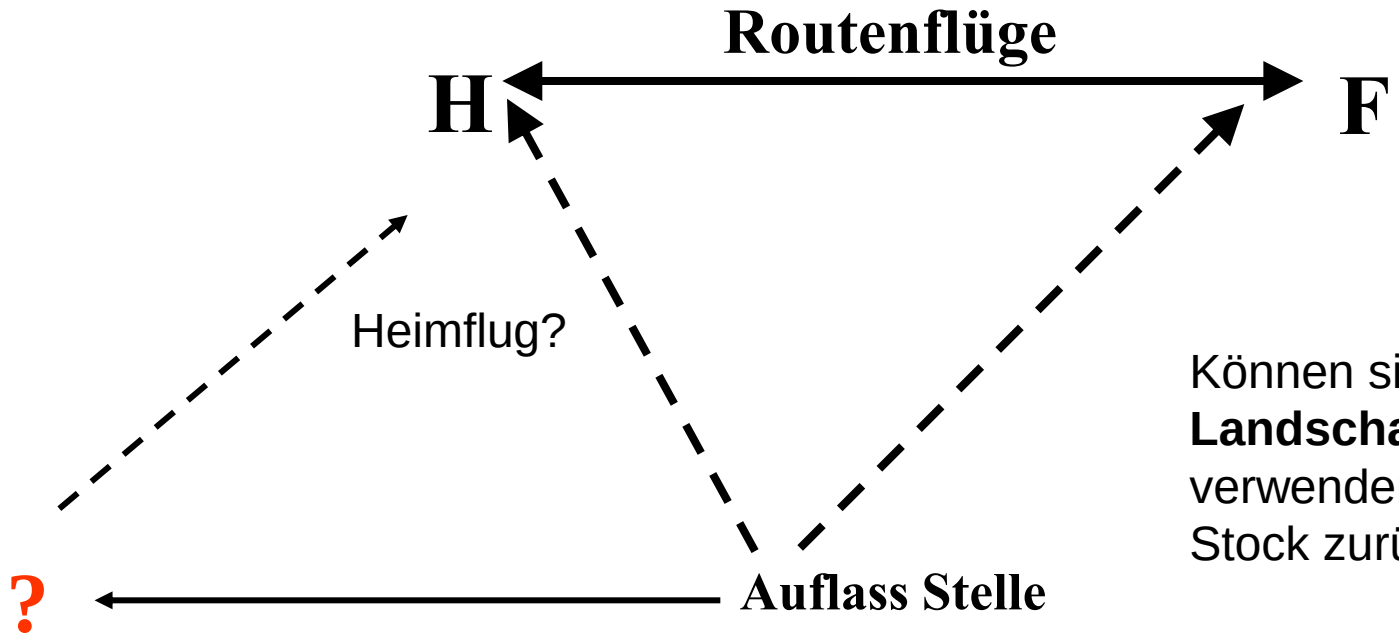
zweite Orientierungsflüge
10 verschiedenen Bienen



Jacqueline Degen u.a. 2015

Wie wir das Landschaftsgedächtnis testen:

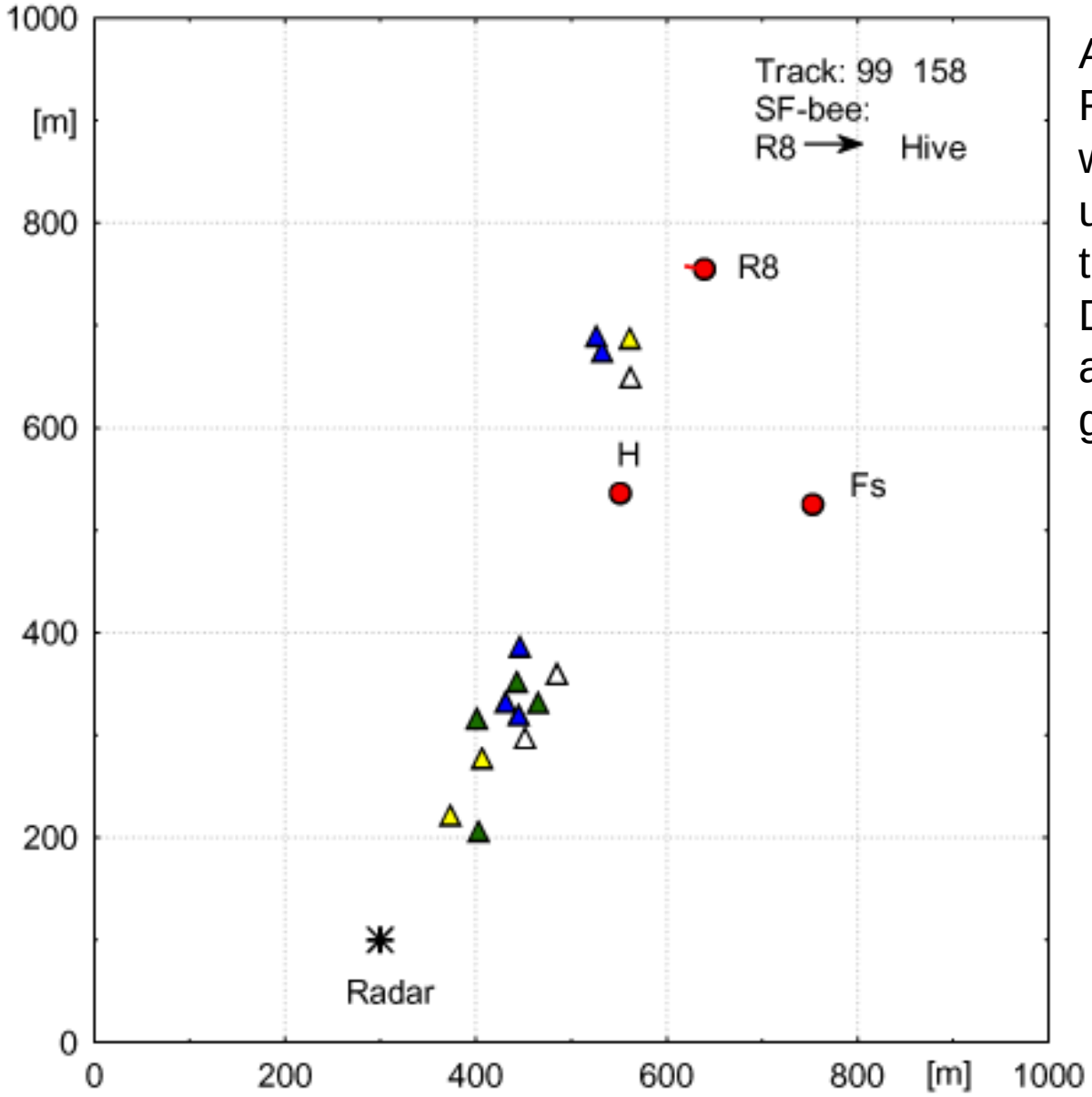
Dressieren, Einsammeln, Transportieren und Freilassen



Routengedächtnis (Vektorflug)

Können sie auch ihr **Landschaftsgedächtnis** verwenden um zum Stock zurück zu kehren?

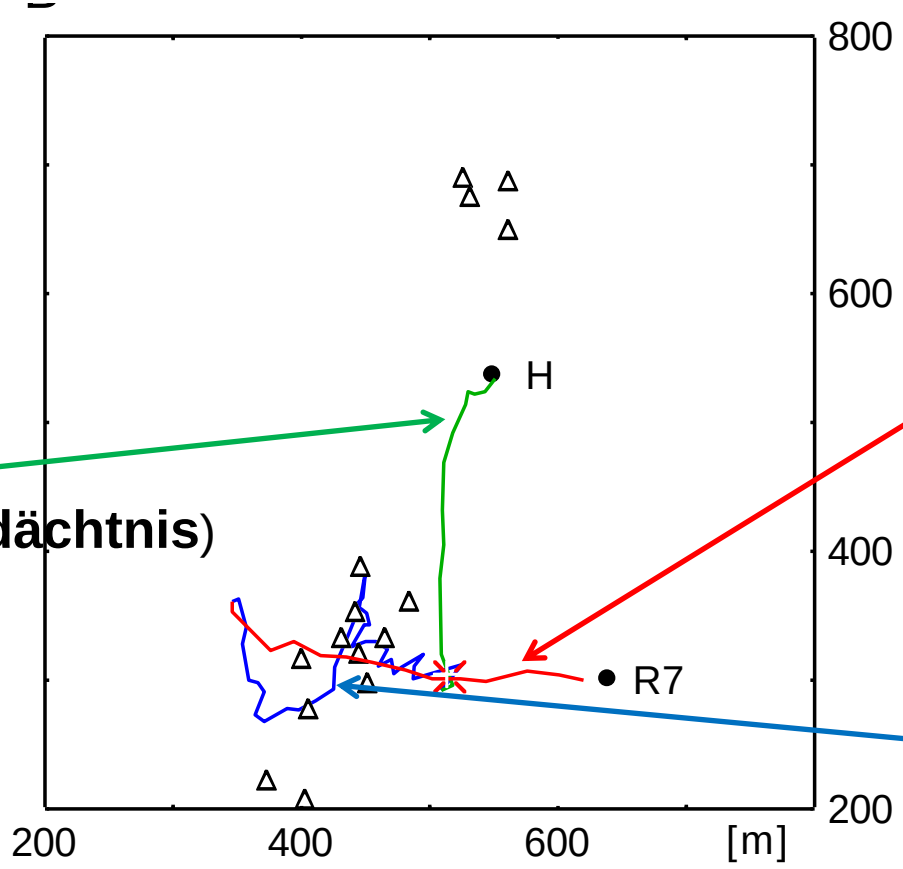
Die Biene war vom Stock (H) über 200 m nach Osten zur Futterstelle (Fs) dressiert



Als sie an Fs nach dem Füttern abfliegen wollte, wurde sie eingefangen und zur Stelle R8 transportiert.
Dort mit einem Transponder ausgestattet und fliegen gelassen.

Es lassen sich drei Phasen der Heimkehrflüge unterscheiden:

- **Vektorflug** (Routengedächtnis)
- **Suchflug**
- **Heimflug** (bestehend aus Suchflug und Rückflug)



Rückflug (**Landschaftsdächtnis**)

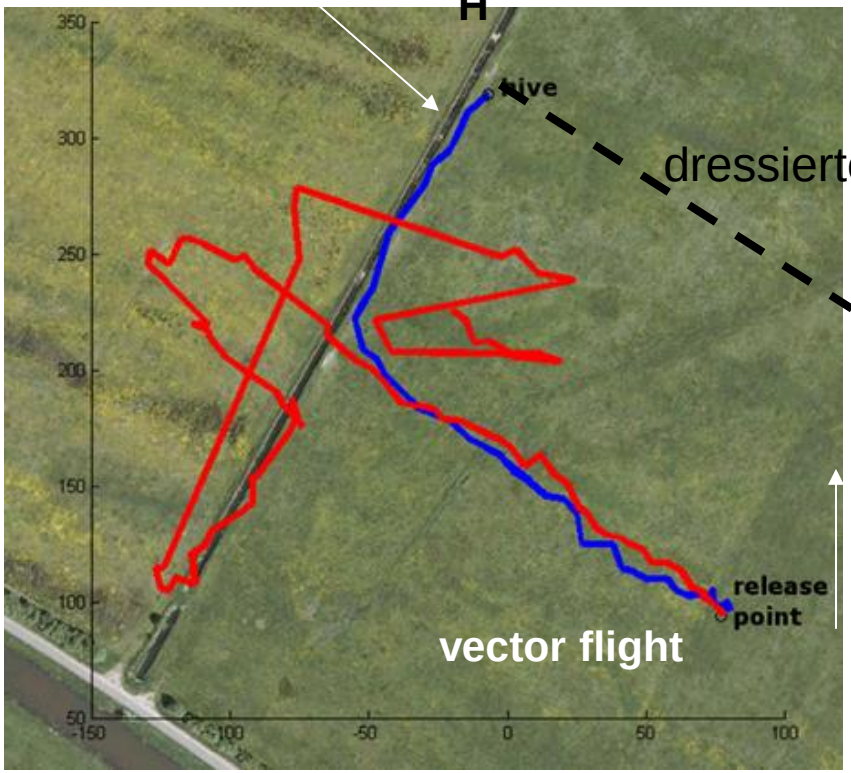
Vektorflug (**Routen-gedächtnis**)

Suchflug

Die akute Wirkung von 3 verschiedenen Neonikotinoiden auf die Navigation

Clothianidin: 1.3 ng/Tier
Imidacloprid: 3.7 ng bzw. 5.5 ng/Tier
Thiacloprid : 0.75 µg (= 750 ng/Tier)

Entwässerungskanal



dressierte Route

Futter-stelle

Kontroll-Biene

Thiacloprid behandelte Biene

Behandelte Bienen kommen seltener zum Stock zurück als nicht behandelte Bienen

Übergang vom Vektorflug zum Heimflug ist gestört

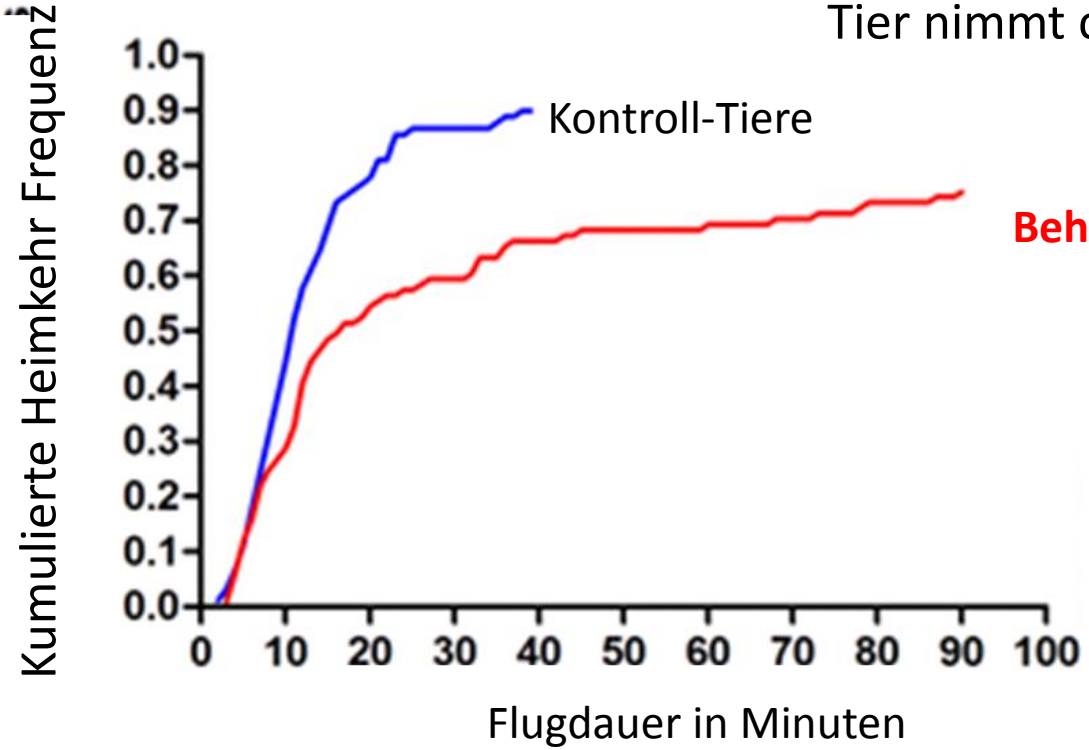
Die Länge des Heimfluges ist signifikant länger bei der Clothianidin Gruppe

Die Zeit für den Heimflug ist signifikant länger bei der Clothianidin und der Thiacloprid Gruppe

Fischer et al. (2014) Plos One *9*, e91364.

Die chronische Wirkung sehr geringer Thiacloprid Dosen auf die Navigation

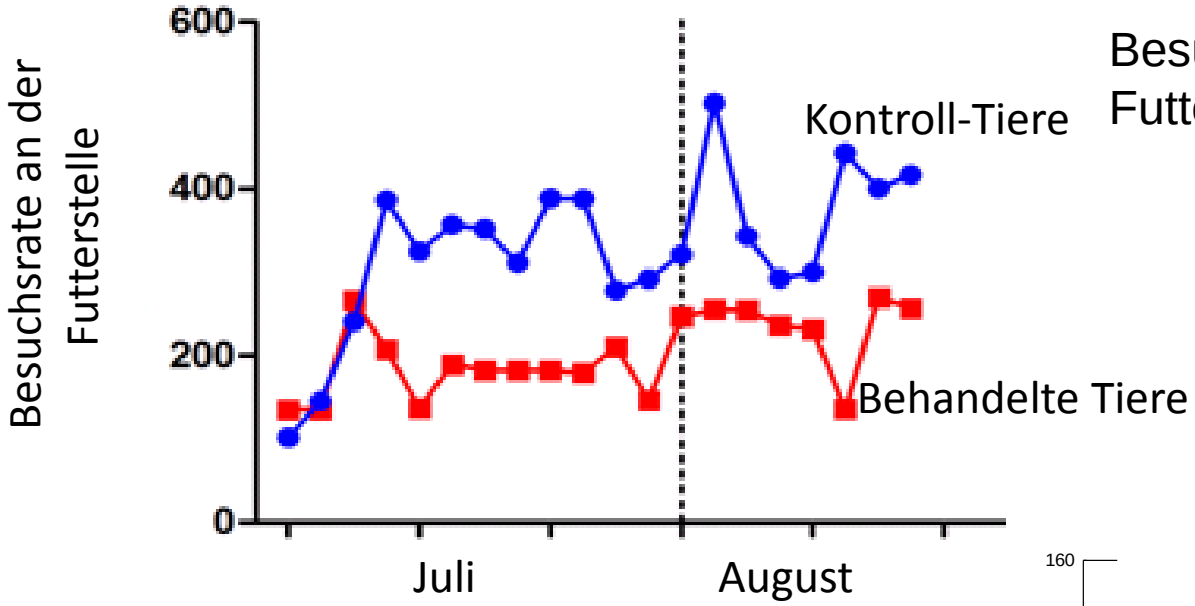
Thiacloprid Konzentration: 0,02 mM
entspricht: 5,4 ng/µl,
entspricht 170 ng/Tier pro Sammelflug
Tier nimmt ca **2 ng pro Flug** auf (pro Tag
bis zu 30 ng/g



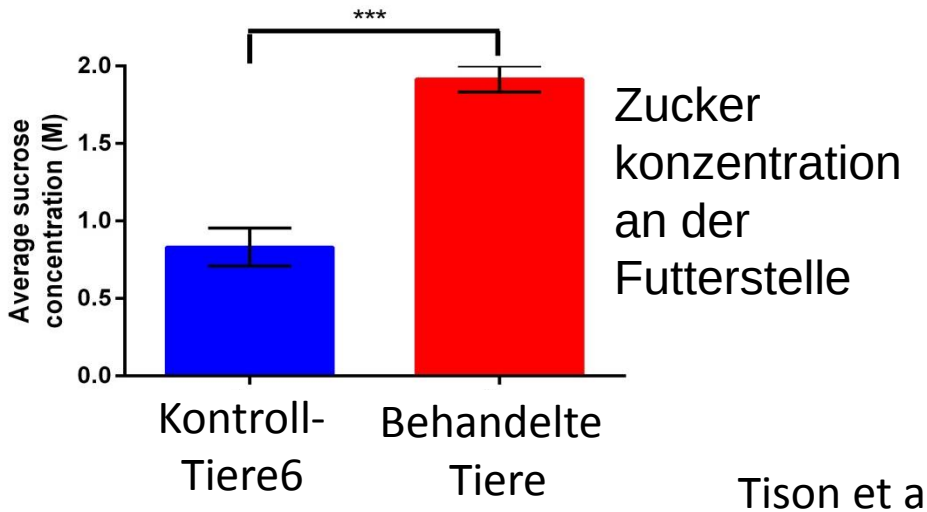
Außerdem tanzen diese behandelten Tiere weniger und benötigen eine sehr viel höhere Zuckerkonzentration um ihre Sammeltätigkeit aufrecht zu erhalten.

Tison et al. 2016 Environmental science & technology.

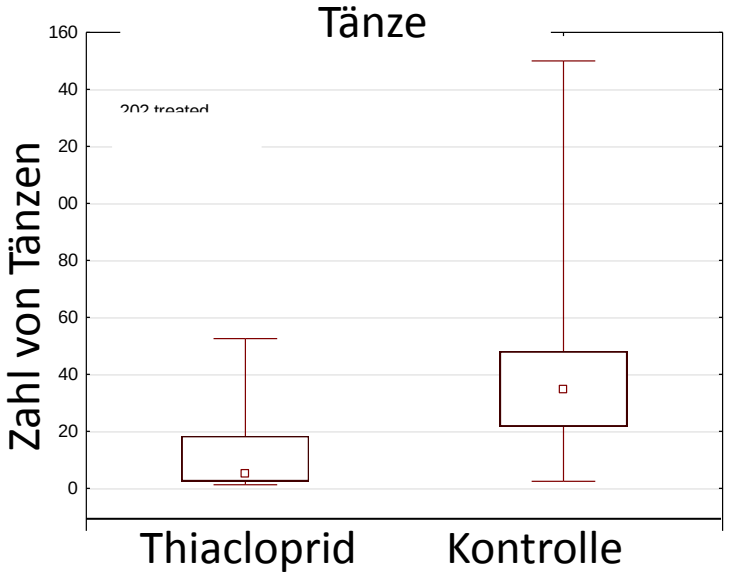
Die Besuchsrate nimmt ab, eine höhere Zuckerkonzentration ist nötig und die Tänze werden eingestellt



Besuchsrate an der Futterstelle



Zucker konzentration an der Futterstelle



Tison et al. 2016 Environmental science & technology.

7g **Thiacloprid** verdünnt auf 50 l ergibt 140 ng/µl
Wenn die Biene 30 µl auf gespritzten Blüten sammelt nimmt sie auf einem Sammelflug **420 ng** Thiacloprid auf.

Wir fanden drastische Effekte bei **170 ng/Sammelflug = 2ng/Flug** (chronisch); und bei **64 ng/Tier** (akut) auf Gedächtnisabruf

B4

Neonicotinoide stören die Gedächtnisbildung in Laborexperimenten und die Navigation und Kommunikation massiv

- Akute subletale Dosen, die Sehen und Fliegen nicht stören, beeinträchtigen massiv Gehirnfunktionen, die dem Lernen und der Navigation zugrunde liegen.

- Wenn Tiere chronisch sehr geringe Dosen aufnehmen und in den Stock transportieren, dann reichert sich das Pestizid im Tier (und auch im Stock) an und beeinträchtigt die Navigation. Außerdem benötigen sie sehr viel höhere Zuckerkonzentration um ihr Sammelverhalten aufrecht zu erhalten. Der Schwänzeltanz wird nahezu ganz eingestellt.

- Die wirksamen Dosen liegen in dem Bereich denen die Bienen in der Landwirtschaft ausgesetzt sind. Mischungen von Pestiziden potenzieren ihre Wirkung.

- Die Zahl der gelegten Arbeiterinnen Eier nimmt ab; die Immunreaktion ist eingeschränkt, die Larvenentwicklung gestört.

Warum scheint es als ob Bienenvölker nicht (oder massiv: Kolaps) auf Pestizidbelastung reagieren?

Das Bienenvolk ist ein „Superorganismus“, ein vielfältig und hoch geregeltes System. Solche Systeme sind **robust.**

- Systemtheorie: synergistisch und antagonistisch geregeltes Wirkungsgefüge
- Komplexe und verborgene Kompensationsvorgänge gegen störende Eingriffe
- Nichtlinearität und Chaos: plötzliches Zusammenbrechen bei scheinbar geringen Störungen.

Imker kümmern sich um diesen „Superorganismus“

Da die Wahrscheinlichkeit nach Aufnahme von Neonicotinoiden in den Stock zurück zu kehren geringer ist reichern sich die Pestizide dort nur im geringen Umfang an und die akut schädlichen Einflüsse werden nicht erfasst, weil die Bienen im Stock nicht gemessen werden.

Außerdem: Manche Studien (bevorzugt solche, die von der Industrie finanziert werden, überzeugen nicht in ihrem experimentell Design und in der Durchführung.

Dr. Bonmatin (Centre National de la Recherche Scientifique , Frankreich):

"Die heutigen Erkenntnisse bestätigen die Notwendigkeit, den massiven Einsatz von systemischen Pestiziden zu beenden, einschließlich der dringendsten vorbeugenden Verwendung bei der Saatgutbehandlung. Die Verwendung dieser Pestizide steht im Gegensatz zu umweltverträglichen landwirtschaftlichen Praktiken. Es bietet keinen wirklichen Nutzen für die Landwirte, verringert die Bodenqualität, schadet der Biodiversität und verunreinigt Wasser, Luft und Nahrung. Es gibt keinen Grund mehr, diesen Weg der Zerstörung fortzusetzen. "

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit