

FORSCHEN FÜR DIE UMWELT / 4. AUSGABE
PFLANZEN ZWISCHEN INSEKTEN UND MIKROBEN

Harald Auge

PFLANZEN ZWISCHEN INSEKTEN UND MIKROBEN

Harald Auge

Insekten stellen mit weltweit rund einer Million beschriebenen Arten und einem Vielfachen an unbeschriebenen Arten die bei weitem größte Tierklasse auf der Erde dar. Von fünf Tierarten sind vier den Insekten zuzuordnen. Die Hälfte von ihnen sind Pflanzenfresser – so genannte Herbivore.

Auf den ersten Blick präsentieren sie sich häufig als gefräßige Schädlinge von Nutzpflanzen – sie sind aber auch ein wichtiges Glied in der Nahrungskette. Welchen Einfluss haben sie beispielsweise auf die Pflanzenvielfalt in naturnahen Ökosystemen, auf deren Produktivität oder auf andere Ökosystemfunktionen? Was passiert, wenn im komplexen Nahrungsnetz herbivore Insekten durch menschlichen Einfluss verschwinden?

Das sind ebenso wichtige wie ungeklärte Fragen, deren Beantwortung nicht nur unserem grundsätzlichen Verständnis von Nahrungsnetzen dient. Sie haben eine große praktische Relevanz, denn in unseren Kulturlandschaften nimmt durch Umweltchemikalien und Lebensraumzerstörung die Vielfalt der Insektenarten stetig ab.

Autor:

Harald Auge, Dr. rer. nat., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sektion Biozönoseforschung des UFZ.

Koautoren:

Dr. rer. nat. Bärbel Kiesel und Dipl.-Biochem. Andreas Lieber

(UFZ, Sektion Umweltmikrobiologie);

Prof. Dr. rer. nat. Roland Brandl und

Dr. rer. nat. Martin Schädler (Phillips-Universität

Marburg, AG Allgemeine Ökologie und Tierökologie);

Prof. Dr. habil. Stefan Scheu und Dipl.-Biol. Kerstin Endlweber

(Technische Universität Darmstadt, Institut für Zoologie) sowie

Dr. rer. nat. Jörn Alpheï (Georg-August-Universität Göttingen,

Institut für Zoologie und Anthropologie).



Bild 1: Brachflächen sind ein wichtiges Element in unserer Agrarlandschaft. Die Pflanzen, die solche Brachen besiedeln, bieten die Nahrungsgrundlage für eine Vielzahl von Insektenarten. (Quelle: Dr. Martin Schädler, Universität Marburg)

Die weltweite Abnahme der biologischen Vielfalt – der Biodiversität – ist eines der großen Umweltprobleme unserer Zeit. Das gegenwärtige, durch den Menschen verursachte Aussterben der Arten ist in seiner Geschwindigkeit etwa 1000 mal so groß wie das natürliche Artensterben. Die biologische Vielfalt zu schützen, ist deshalb eine aktuelle Herausforderung – nicht nur aufgrund ethischer Überlegungen, sondern auch weil die lebenden Organismen eine wichtige Grundlage für unsere Existenz darstellen, zum Beispiel als Nahrungs- und Rohstoffquelle oder als Lieferant von Arzneistoffen. Nur wenig weiß man darüber, welche Prozesse die Biodiversität beeinflussen und welche funktionelle Bedeutung die Biodiversität ihrerseits für die Ökosysteme hat. Doch diese Kenntnisse sind die wichtigste Grundlage dafür, wenn Biodiversität geschützt und erhalten werden soll.

Zwischen den Arten, die gemeinsam in einem bestimmten Ökosystem leben, existiert ein komplexes Beziehungsgefüge: das Nahrungsnetz. Nach ihrer Funktion im Nahrungsnetz kann man die Arten verschiedenen trophischen Ebenen zuordnen: Die grünen Pflanzen sind die Produzenten organischer Substanz, die Pflanzenfresser oder Herbivoren unter den Tieren sind Konsumenten dieser Biomasse. Diese dienen ihrerseits den Konsumenten höherer Ordnung, den Fleischfressern oder Karnivoren, als Nahrung. Viele Bakterien, Pilze und niedere Tiere sind Destruenten: sie verwandeln organische Substanz wieder in Mineralstoffe zurück. Darüber

hinaus spielen auch noch andere Beziehungen zwischen den Arten eine wichtige Rolle, zum Beispiel die Konkurrenz um Ressourcen. Diese Komplexität der Beziehungen ist – da sind sich die Wissenschaftler sicher – eine ganz wichtige Quelle der Artenvielfalt und entscheidend für das Funktionieren des Ökosystems. Doch welche Bedeutung in diesem Gefüge haben die herbivoren Insekten?

Das Experiment

Um die Frage nach der Bedeutung herbivorer Insekten in naturnahen Ökosystemen zu beantworten, sind großflächig und langfristig angelegte ökologische Feldexperimente nötig. Vor allem lässt sich nur durch die enge Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher Teilgebiete Licht in die komplexen Zusammenhänge der Nahrungsnetze bringen. Deshalb haben Botaniker, Zoologen, Bodenökologen und Mikrobiologen des UFZ und verschiedener Universitäten im Jahr 1998 in der Feldversuchsstation des UFZ in Bad Lauchstädt mit einem so genannten Langzeit-Experiment begonnen, das, wenn es nach den Wünschen der Wissenschaftler geht, mindestens 10 Jahre andauern soll. Kern des Versuches ist eine zirka 0,25 Hektar große Brachfläche. Ackerbrachen sind aufgrund umfangreicher Flächenstilllegungen ein wichtiges Element in der mitteleuropäischen Kulturlandschaft.

Die Versuchsfläche ist in 96 Parzellen unterteilt, von denen eine



Bild 1a: Brachfläche, besiedelt mit einer Vielzahl von Ackerkratzdisteln (*Cirsium arvense*). (Quelle: Mathias Scholz, UFZ)

bestimmte Anzahl nach einer ausgeklügelten Methode von Insekten freigehalten wird. Konkret sieht das folgendermaßen aus: Es gibt vier Behandlungsvarianten; neben den Kontrollparzellen, zu denen Insekten »freien Zugang« haben, werden von den anderen Versuchspartellen entweder oberirdische Insekten, Bodeninsekten oder beide Insektengruppen fern gehalten. Dabei kommen Insektizide zum Einsatz, die üblicherweise in der Landwirtschaft verwendet werden.

Welche Wirkungen die unterschiedlichen Behandlungsmethoden der Parzellen haben, prüfen die Wissenschaftler, in dem sie die Entwicklung der Vegetation, die Populationsdynamik verschiedener Pflanzenarten und wirbelloser Bodentiere oder die Dichte und Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen jährlich analysieren. Außerdem erfassen sie verschiedene Ökosystemfunktionen, zum Beispiel den Streu-Abbau sowie den Nährstoff- und Wasserhaushalt im Boden.

Der Vergleich von behandelten und unbehandelten Parzellen bringt die Wirkung Pflanzen fressender Insekten auf die konkrete Brachfläche ans Tageslicht und lässt bei entsprechender Versuchsdauer Aussagen hinsichtlich ihrer Bedeutung im Nahrungsnetz zu.

Werden die Pflanzenvielfalt und die Vegetationsentwicklung beeinflusst?

Die wenigen Arbeiten, die bisher weltweit zu diesem Thema publiziert worden sind, zeigen ein widersprüchliches Bild. Aus diesem Grund war es für das Wissenschaftlerteam überraschend, dass sich in ihrem Experiment Insektenherbivorie bereits während der ersten Jahre dramatisch auf die Pflanzengemeinschaft auswirkte. Nicht beeinflusst waren sowohl die Anzahl der Pflanzenarten als auch die gesamte Vegetationsdichte. Vermutlich führte die sehr gute Nährstoffversorgung auf dem Versuchsstandort dazu, dass die Pflanzengemeinschaft die durch Herbivorie verursachten Verluste kompensieren konnte. Ein ganz anderes Bild zeigt sich, wenn man die Artenzusammensetzung der Pflanzengemeinschaft betrachtet. Insbesondere bei Ausschluss Boden bewohnender Insekten kam es zu einer starken Veränderung in den Dominanzverhältnissen der Pflanzenarten (Bild 2). In den Parzellen, auf denen nur ein oberirdischer oder gar kein Insekten-Ausschluss stattfand, entwickelte sich das Vierkantige Weidenröschen (*Epilobium adnatum*) zur wichtigsten Pflanzenart. Wenn Bodeninsekten ausgeschlossen wurden, begann jedoch die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) die Parzellen zu dominieren und das Weiden-

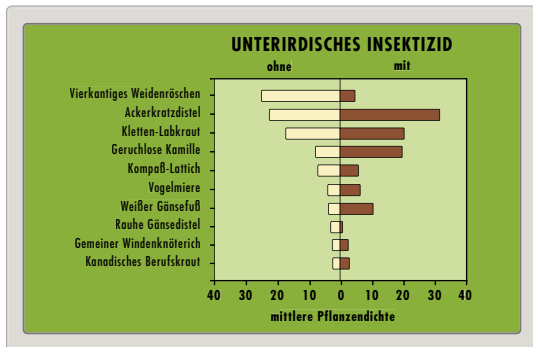


Bild 2: Wie beeinflusst ein Insektizid (im Beispiel ein unterirdisch appliziertes) die Pflanzengemeinschaft? Es ist deutlich zu sehen, dass der Wegfall von Insekten bereits nach kurzer Zeit dramatische Wirkungen auf die Vegetation der Brachfläche hat: Konkurrenzstarke Pfläner (zum Beispiel die Ackerkratzdistel) gewinnen die Oberhand, während konkurrenzschwächere Arten (zum Beispiel das Weidenröschen) vom Vorhandensein Pfläner fressender Insekten profitieren.

röschen wurde unterdrückt (Bild 3). Bodeninsekten haben offenbar deshalb eine besonders starke Wirkung auf die Disteln, weil sich diese in erster Linie vegetativ über Wurzelsprosse vermehren. Da die Ackerkratzdistel im Untersuchungsgebiet ein weit verbreitetes Unkraut ist und auch schon vorher auf der Fläche wuchs, können spezialisierte Insekten vom Beginn der Sukzession an die Populationsdynamik dieser Pflanze beeinflussen. Unter Sukzession

versteht man dabei die Veränderung der Lebensgemeinschaften auf einer bestimmten Fläche im Laufe der Zeit.

Neben diesem direkten Effekt wirkt sich Insektenherbivorie aber vor allem indirekt auf die Vegetationsentwicklung aus, und zwar über die Veränderung der Konkurrenzverhältnisse in der Pflanzengemeinschaft. Laborversuche zeigen, dass die Reaktion der einzelnen Pflanzenarten auf der Brachfläche nicht mit ihrer Fressbarkeit durch Insekten korreliert (Bild 4). Die genannten Struk-

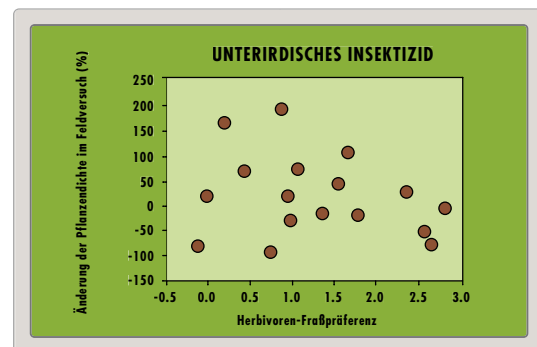


Bild 4: Die Annahme, dass sich die im Labor ermittelten »Fraßpräferenzen« der Insekten auf die Zusammensetzung der Vegetation auswirken, wurde im Feldversuch widerlegt. Es stellte sich heraus, dass Insektenherbivorie vor allem indirekt, nämlich durch die Veränderung der Konkurrenzverhältnisse zwischen den Pflanzenarten, die Vegetation beeinflusst.



Bild 3: Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) mit silbrigen Perlmutterfalter (*Issoria lathonia*) (Quelle: Mathias Scholz, UFZ)

turveränderungen in der Pflanzengemeinschaft werden also nicht durch selektiven Fraß besonders »schmackhafter« Pflanzenarten verursacht. Vielmehr weist das Beispiel der Ackerkratzdistel darauf hin, dass vor allem dominante Pflanzenarten durch Insektenherbivorie negativ beeinflusst und dadurch Etablierungsmöglichkeiten für konkurrenzschwächere Arten geschaffen werden. Außerdem wird der »Platzhalter-Effekt« der bereits etablierten Vegetation aufgebrochen, was die Einwanderung anderer Pflanzenarten fördert und die Sukzession beschleunigt. Dies wird darin deutlich, dass durch Insektizidapplikation insbesondere jene Pflanzenarten behindert werden, die sich später im Sukzessionsverlauf ansiedeln. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die im Boden ablaufenden ökologischen Prozesse wahrscheinlich eine entscheidende Rolle für die Dynamik der Brachflächen spielen. Bodenökologische Untersuchungen können deshalb wesentlich zu dem Verständnis der diesem Phänomen zugrunde liegenden Mechanismen beitragen. Interessant für die Wissenschaftler ist dabei beispielsweise die Frage, ob außer Insekten auch andere Bodenorganismen durch die Insektizidbehandlung direkt beeinflusst werden, und welche Rolle indirekte Effekte im Nahrungsnetz spielen.

Was passiert mit der Bodenfauna?

Die Bodenmikro- und mesofauna (kleine Bodentiere) schließt neben Insekten auch andere wirbellose Tiergruppen ein, die unterschiedlichen trophischen Ebenen angehören: Unter ihnen gibt es Arten, die lebende Pflanzenteile fressen, andere ernähren sich von toter organischer Substanz, von Pilzen oder von Bakterien und wieder andere leben räuberisch. Deshalb sind im Gefüge der Bodenfauna sehr komplexe Wirkungen des Insektenausschlusses zu erwarten.

Zu den nicht-herbivoren Bodeninsekten, die durch die Insektizidbehandlung deutlich dezimiert wurden, gehören die Springschwänze (Collembola) und die Kurzflügler (Staphylinidae). Collembolen fressen vorwiegend totes Pflanzenmaterial, Bakterien und Bodenpilze; dadurch beeinflussen sie den Streuabbau, den Nährstoffzyklus und die Bodenmikrostruktur (Bild 6). Da sie darüber hinaus auch an Mykorrhizapilzen (Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzenwurzeln) fressen, die für die Mineralstoffversorgung vieler Pflanzen wichtig sind, dürften sie für die Vegetationsentwicklung eine wichtige Rolle spielen. Dagegen sind die Kurzflügler ebenso wie die nicht zu den Insekten zählenden Hundert-



Bild 5 Fadenwürmer (Nematoden) ernähren sich auf ganz unterschiedliche Weise: Einige leben von Bakterien und Pilzen, andere sind Pflanzenparasiten, aber auch Räuber gibt es unter ihnen. Da sie außerordentlich hohe Individuendichten erreichen, kann man sich leicht vorstellen, wie wichtig sie für die im Boden stattfindenden ökologischen Prozesse und das Pflanzenwachstum sind. Auch sie können durch Insektizide direkt oder indirekt beeinflusst werden. (Quelle: Dr. Jörn Alpeh, Universität Göttingen)



Bild 6: Springschwänze (Collembolen) sind kleine Boden bewohnende Insekten. Sie ernähren sich vor allem von Bakterien und Pilzen, aber auch von abgestorbenen Pflanzenteilen, die auf den Boden gelangen. Wenn sie durch Insektizide abgetötet werden, kann sich dies negativ auf das Funktionieren des Ökosystems auswirken. (Quelle: Dr. Jörn Alpeji, Universität Göttingen)

füßer (Chilopoda) Räuber. Als Konsumenten höherer Ordnung kontrollieren sie nicht nur die Populationen der herbivoren Bodeninsekten, sondern auch die der Destruenten. Ihre Beeinflussung durch die Insektizide wirkt sich folglich auf den Stoffumsatz im Boden aus und könnte so indirekt die Vegetationsdynamik verändern. Auch die räuberisch lebenden Boden bewohnenden Spinnen (Araneidae) wurden negativ vom Bodeninsektizid beeinflusst; hierfür war aber offenbar die verringerte Dichte ihrer Beutetiere, zum Beispiel der Collembolen, verantwortlich.

Die individuenreichste Gruppe der Bodenfauna sind die Fadenwürmer (Nematoden), die in Wasserfilmen oder Wasser gefüllten Porenräumen leben (Bild 5). Auf der Versuchsfläche erreichten sie Dichten von 500.000 Individuen je Quadratmeter. Fadenwürmer ernähren sich entweder von Bakterien, Pilzen und Algen oder von Wurzelzellen höherer Pflanzen; andere leben räuberisch oder sind Parasiten von Gliedertieren, Schnecken und Regenwürmern. Ein Vergleich der Nematodendichten vor und nach Insektizidbehandlung lässt vermuten, dass das Bodeninsektizid auch auf diese Tiergruppe toxisch wirkt. Gleichzeitig war jedoch zu beobachten, dass der Anteil der parasitisch an Pflanzenwurzeln lebenden Nematoden im Verhältnis zu den Kontrollparzellen deutlich anstieg. Die als Destruenten wichtigen Regenwürmer (Lumbricidae), Enchyträen (Enchytraeidae) und Doppelfüßer (Diplopoda) reagierten unterschiedlich auf die Insektizidapplikation: Die Regenwürmer zeigten kaum eine Reaktion, die Dichte der Enchyträen verringerte sich, während die der Doppelfüßer anstieg. Der Anteil dieser

Gruppen am Stoffumsatz in terrestrischen Ökosystemen ist sehr groß, so dass dem langfristigen Einfluss ihrer veränderten Dichten eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Die bis dato im Laufe des Experiments gesammelten Daten machen im Hinblick auf die Bodenfauna Folgendes deutlich: das »Ausschalten« herbivorer Insekten zieht einerseits zahlreiche indirekte Folgen für andere, ökologisch wichtige Bodentiere nach sich (Bild 7), andererseits können Insektizide offenbar auch unerwünschte direkte Wirkungen auf andere Organismen als auf ihre eigentliche »Zielgruppe« ausüben.

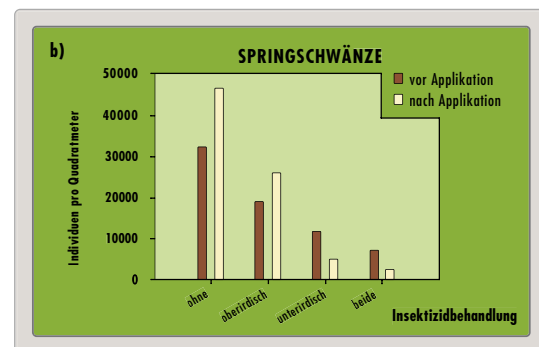
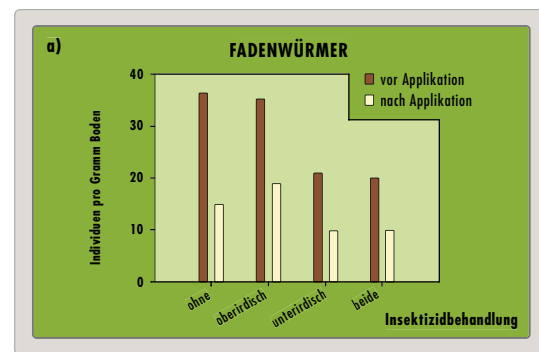


Bild 7: Diese beiden Abbildungen illustrieren, wie komplex die Insektizid-Wirkungen auf zwei unterschiedliche Gruppen von Bodentieren sind.

7a) Betrachtet man die Individuendichte der Fadenwürmer vor der ersten Ausbringung der Insektizide im Frühjahr, so wird deutlich, dass die Applikation des Bodeninsektizids vom Vorjahr immer noch nachwirkt. Da zu diesem Zeitpunkt aber gar kein Insektizid mehr im Boden nachweisbar ist, spielen hier möglicherweise indirekte Effekte eine Rolle. Im Verlauf des Jahres nimmt die Individuenzahl der Nematoden generell ab und die Unterschiede zwischen behandelten und Kontrollparzellen werden kleiner.

7b) Bei den Springschwänzen zeigt sich ein anderes Bild: Zwar gibt es ebenfalls die genannten Nachwirkungen der vorjährigen Insektizidapplikation, doch vergrößern sich die Unterschiede zwischen den Versuchsparzellen unmittelbar nach der Insektizid-anwendung deutlich.

Werden auch die Bodenmikroben beeinflusst?

Viele der im Boden lebenden Mikroorganismen – Bakterien und Pilze – sind als Destruenten für den Abbau von Biomasse und damit für Stoffkreisläufe verantwortlich, wichtige Nährstoffe werden dadurch frei. Mikroorganismen gehen Symbiosen mit Pflanzen ein (Mykorrhizapilze), fixieren Stickstoff (Bakterien), vorwiegend in Symbiose mit Pflanzen und setzen diesen auch wieder frei; einige unter ihnen sind aber auch Parasiten oder Krankheitserreger. Alle diese Wechselwirkungen machen sie auch für die Wissenschaft so interessant.

Insektenherbivorie ändert das zeitliche Muster und die Zusammensetzung der organischen Substanz, die vielen Mikroorganismen als Nahrungsquelle dient: Durch Kot und Körperreste von Insekten und das Absterben von Pflanzenteilen gerät zum Beispiel jedes Jahr mehr gebundener Stickstoff in den Boden als durch den herbstlichen Laubfall, durch Insektenfraß werden energiereiche Pflanzeninhaltsstoffe freigesetzt, aber auch die Artenzusammensetzung der Vegetation kann sich, wie bereits beschrieben, verändern. All das hat – so vermuteten die Wissenschaftler – wiederum Konsequenzen für die Lebensgemeinschaft der Bodenmikroben und den Nährstoffzyklus im Ökosystem.

Untersuchungen dazu sind schwierig, da sich Bakterien durch ihre geringe Größe von 0,5-10 Mikrometern nicht wie Pflanzen und Tiere messen, wiegen und beschreiben lassen, was eine Unterscheidung und taxonomische Zuordnung erheblich aufwändiger macht. Hinzu kommt, dass über 90 Prozent der Bakterien unbekannt sind und somit herkömmliche Erfassungsmethoden, die auf einer Kultivierung beruhen, versagen. Abhilfe schaffen molekularbiologische Techniken, mit denen potenziell alle Bodenmikroben erfasst werden können. Diese genetischen Fingerabdrücke beruhen auf der Tatsache, dass alle Bakterien in ihrer DNA über Abschnitte verfügen, auf deren Grundlage ihre Artzugehörigkeit bestimmt werden kann.

Im vorliegenden Fall untersuchten die Wissenschaftler zunächst, welche Bakterien im Boden der Untersuchungsfläche ohne den Ausschluss von Insekten leben (Bild 8). Dabei zeigte sich, dass es sich beim Kontrollboden um einen typischen Ackerboden mit einer komplexen Bakteriengemeinschaft aus bekannten sowie aus noch nicht bekannten Bakterien handelt. Verschiedene Methoden genetischer Fingerabdrücke machten es nun möglich, die durch Insektenausschluss hervorgerufene Veränderung in der Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft zu analysieren.

Da der im Experiment untersuchte Standort besonders reich an Bakterienarten ist, zerlegte man die Bakteriengemeinschaft in Teilmengen. Bild 9 zeigt das Ergebnis der Analyse einer solchen Teilmenge – der *Klebsiella/Serratia*-Gruppe, einer Bakterien-

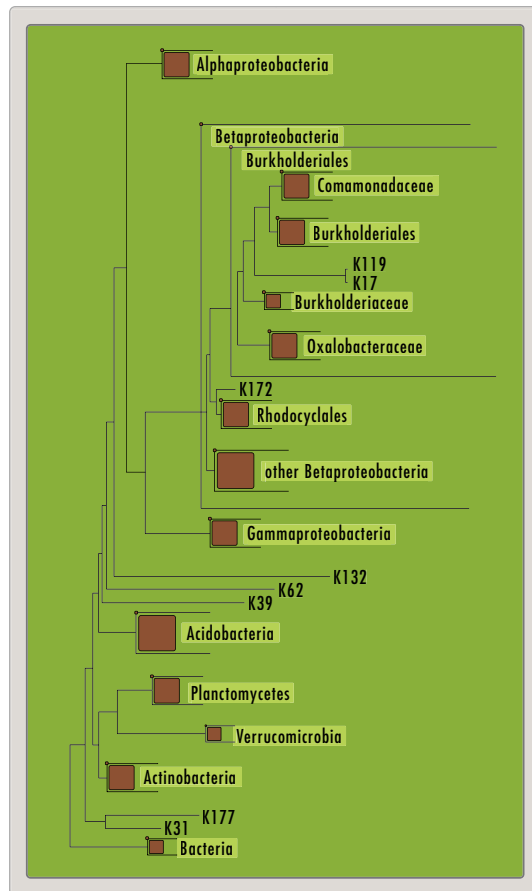
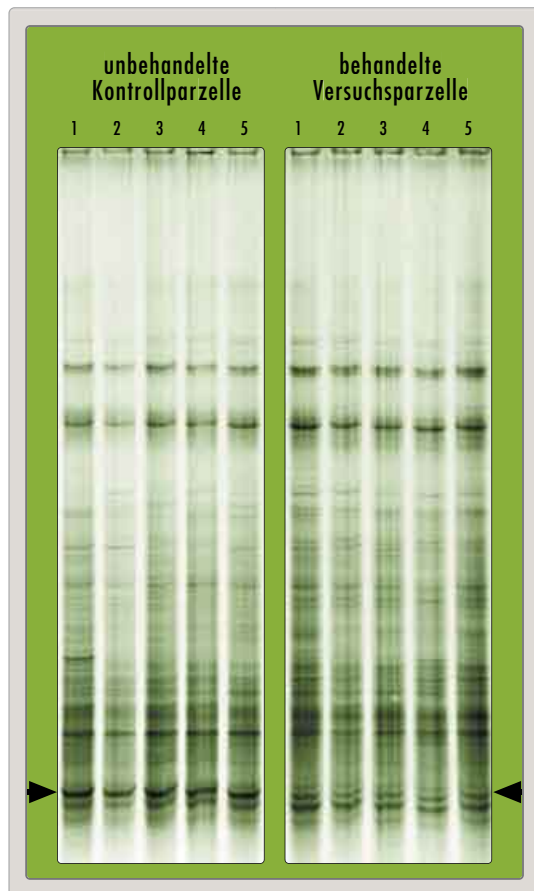


Bild 8: Eine Vielzahl von Bakteriengattungen und -arten leben im unbehandelten Boden des Bad Lauchstädter Experiments. Diese Übersicht erfasst längst nicht vollständig alle wirklich vorhandenen Bakterien, gibt den Wissenschaftlern jedoch Hinweise, auf welche in den weiteren Untersuchungen geachtet werden sollte.

gruppe, die zu den häufigsten Bodenbewohnern zählt. Sie ist beteiligt an der Stickstofffixierung im Boden (*Klebsiella*) und zersetzt Chitin (*Serratia*). Außerdem ist bekannt, dass diese Gruppe einen fördernden Einfluss auf das Wachstum von Pflanzen ausübt. Der genetische Fingerabdruck zeigt, dass durch den Insektenausschluss nicht nur die Pflanzengemeinschaft verändert wird, sondern ist auch ein erster Hinweis für Einflüsse auf die Bakterien. Allerdings kann die Frage, ob Verschiebungen in der Pflanzengemeinschaft durch Ausschluss von Herbivoren zu Veränderungen in der Bakteriengemeinschaft führen, gegenwärtig noch nicht abschließend beantwortet werden, weitere Bakteriengruppen sind zu untersuchen. Nicht zuletzt der Einsatz neuer molekularbiologischer Technik wird die Wissenschaftler in der nächsten Zeit entscheidende Schritte voran bringen.



*Bild 9: Analyse der Bakterienbesiedlung (Klebsiella/Serratia-Gruppe) auf einer un-
behandelten Kontrollparzelle (links) und einer mit Insektizid behandelten Versuchs-
parzelle (rechts) – in fünffacher Wiederholung. Neben Banden, die in beiden Spuren
in Lage und Stärke gleich sind, gibt es eine Bande (mit Pfeil markiert) deren Stärke
in den Proben der Versuchspartzen schwächer ist als in denen der Kontrollparzelle
– ein erster Hinweis, dass es nach Insektizidgaben in der Klebsiella/Serratia-Gruppe
zu Veränderungen gekommen ist.*

Fazit

Die Ergebnisse verdeutlichen, welche tief greifenden Konsequenzen es für die biologische Vielfalt und das Funktionieren eines Ökosystems hat, wenn die überaus komplexen Wechselbeziehungen im Nahrungsnetz an irgend einer Stelle gestört werden. Herbivore Insekten spielen als Konsumenten pflanzlicher Biomasse eine ganz wichtige Rolle im Nahrungsnetz, obwohl das wegen ihrer geringen Größe und der oft versteckten Lebensweise nicht gleich offensichtlich ist.

Wenn Arten- und Individuenzahl der Insekten durch Umweltgifte oder Lebensraumzerstörung drastisch vermindert werden, wirkt sich das nicht nur auf die Vegetation aus, sondern auch auf die im Boden lebenden Organismen und auf wichtige ökologische Prozesse wie zum Beispiel den Nährstoffkreislauf.

In weiterführenden Untersuchungen will das Wissenschaftler-team nun klären, ob sich diese Auswirkungen auf die lange Sicht verstärken und in welchem Umfang sich die experimentellen Ergebnisse verallgemeinern lassen.