



Ein Käfer sprengt die Abwehr

In jeder Kohlpflanze tickt eine Bombe, eine Senfölbombe. Für viele Insekten ist die Pflanze deshalb ungenießbar. **Franziska Beran** vom **Max-Planck-Institut für chemische Ökologie** in Jena weiß inzwischen jedoch, wie Insekten diese Gefahr entschärfen können: Kohlerdföhe zum Beispiel überlisten die Verteidigungswaffe der Pflanzen und setzen sie sogar zum eigenen Schutz ein.





Kohlerdföhe sind gefürchtete Schädlinge. Wenn sie von Duftstoffen ihrer Artgenossen in Massen zu Rapsfeldern gelockt werden, können sie die Blätter der Pflanzen regelrecht durchsieben.

» Für ihre Senfölbombe setzen die Käfer einerseits selbst produzierte Komponenten ein, aber auch Substanzen ihrer Futterpflanzen.

TEXT KLAUS WILHELM

Zum ersten Mal hat Franziska Beran von der Senfölbombe während ihres Biologiestudiums an der Berliner Humboldt-Universität gehört. „Es ist ein hocheffektives Abwehrsystem, das die Pflanzen erst aktivieren, wenn sie angefressen werden – eine wirklich geniale Erfindung der Natur“, sagt Beran, die in Jena die Forschungsgruppe „Sequestrierung und Detoxifizierung in Insekten“ leitet. Mit dieser chemischen Abwehr sind nur Pflanzen aus der Familie der Kreuzblütler ausgestattet, darunter wichtige Gemüse-, Gewürz- und Öllieferanten wie Weißkohl, Broccoli, Blumenkohl, Rosenkohl, Kohlrabi, Senf, Raps, Radieschen oder Kresse.

Die Senfölbombe ist als Zweikomponentensystem konzipiert. Komponente 1: sogenannte Senfölglycoside (Glucosinolate), die vollkommen harmlos sind. Komponente 2: das Enzym Myrosinase. Wird eine Pflanze beispielsweise von einem Käfer angeknabbert, baut das Enzym die Senfölglycoside zu übel schmeckenden und giftigen Stoffen ab. Im unversehrten Zustand speichert die Pflanze beide Komponenten fein säuberlich getrennt, damit sie bloß nicht miteinander in Kontakt kommen – und die Bombe nicht versehentlich hoch-

geht. Diese Ordnung gerät bei einer Verletzung durcheinander, sodass die Senfölbombe zündet.

Zu den gebildeten Stoffen gehören die Senföle oder Isothiocyanate, welche Senf seinen charakteristisch scharfen Geschmack verleihen. Isothiocyanate stören aber auch die Verdauung der Insekten, sodass die Senfölbombe giftig wirken kann. „Das schreckt die meisten Fressfeinde der Kreuzblütler ab“, erklärt Beran. Dazu zählen vor allem Insekten – aber Isothiocyanate können die Pflanze auch vor krank machenden Pilzen und Bakterien schützen.

Allerdings wirkt die Senfölbombe nicht gegen sämtliche Fressfeinde – einige Insekten haben im Laufe der Evolution Strategien entwickelt, um die Bombe zu entschärfen. So reichern beispielsweise die gefräßigen Raupen des Kohlweißlings ein Protein in ihrem Darm an, das den Abbau der Senfölglycoside zwar nicht verhindern kann, jedoch die Bildung von deutlich weniger giftigen Nitrilen anstelle der Senföle bewirkt.

Eine andere Gruppe von Insekten, die sich ebenfalls nicht von der Senfölbombe beeindrucken lässt, sind die Kohlerdföhe: Käfer, die springen wie Flöhe, was ihnen den ebenso treffen-

den wie irreführenden Namen eingebracht hat, denn mit Flöhe sind die Winzlinge nicht näher verwandt. Kohlerdföhe sind in manchen Gegenden der Erde gefürchtete Schädlinge von Nutzpflanzen und führen zu großen Ernteeinbußen. In Kanada beispielsweise befallen sie in Massen Rapsfelder und hinterlassen Pflanzen mit durchsiebten Blättern.

SCHÄDLING IN ASIEN

Vor allem in Südostasien hat der Befall von Nutzpflanzen mit diesen Schädlingen in den vergangenen Jahren stark zugenommen. In Taiwan hat die Max-Planck-Forscherin während eines Praktikums am World Vegetable Center selbst erlebt, wie massiv sich Kohlerdföhe dort über wichtige Kohlpflanzen hermachen. Am schlimmsten treibt es der Gestreifte Kohlerdfloh *Phyllotreta striolata*. „Wenn wir am Freitag Kohlgewächse wie Pak Choi oder Rettich gepflanzt haben, waren die Setzlinge bereits montags aufgefressen.“

Betrachtet man die Käfer genauer, erscheint das hintere der drei Beinpaare der Kohlerdföhe auffällig verdickt. Im Inneren befindet sich eine Art Sprungfeder, mit der sich die Käfer in



Theresa Sporer sammelt die Käfer einmal wöchentlich von Senfpflanzen ab und versorgt sie mit frischen Pflanzen (oben). Da die Käfer exzellent springen können und daher kaum zu greifen sind, verwendet Sporer einen kleinen elektrischen Handstaubsauger, mit dem sie die Tiere einsaugt (unten).

die Luft katapultieren und so vor Feinden in Sicherheit bringen können. Wenn Berans Mitarbeiterin Theresa Sporer die heimischen Meerretticherdflöhe (*Phyllotreta armoraciae*) im Keller des Max-Planck-Instituts pflegt, bekommt sie manchmal sportliche Höchstleistungen geboten: Sprünge von einem halben Meter schaffen die etwa drei Millimeter großen Winzlinge spielend. Einmal ist ein Käfer aus dem Zuchttraum trotz umfangreicher Sicherheitsmaßnahmen ausgebüxt und hat sich im Gewächshaus des Instituts an den Versuchspflanzen anderer Mitarbeiter satt gefressen. „Darüber waren die Kollegen

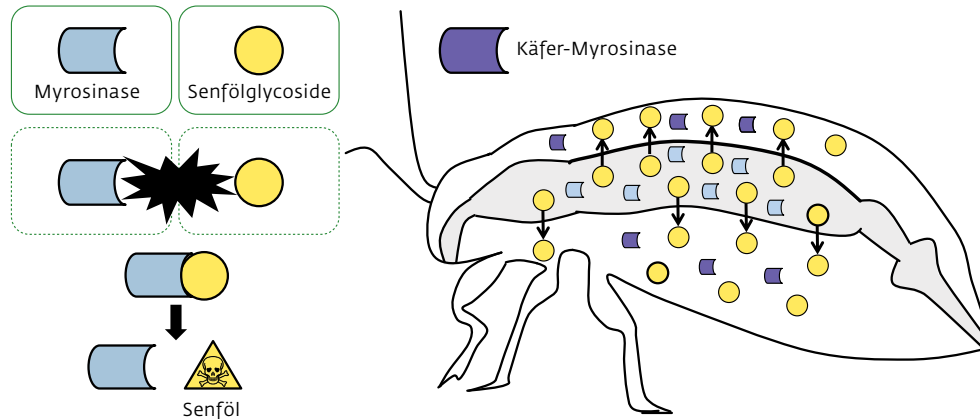
verständlicherweise nicht sehr erfreut“, erzählt Sporer. Die Vorkehrungen gegen solche Ausbruchsversuche wurden seitdem nochmals verschärft.

KOMFORTABLES LEBEN IM LABOR

Aber warum sollten die kleinen Käfer auch das Weite suchen? Schließlich leben sie in ihrem Keller ganz vorzüglich: Sie haben es warm und hell und können so viel Blattsenf fressen, wie sie wollen. Wenige Wochen nach dem Schlupf legen sie Eier, aus denen sich Larven entwickeln. Diese fressen in den Blattstielen und verpuppen sich

schließlich im Boden. Dank der Käferzucht im Labor stehen täglich „frische“ Käfer für die Forschung zur Verfügung. In freier Wildbahn vermehrt sich der Meerretticherdflöhe dagegen nur einmal pro Jahr. Der Gestreifte Kohlerdfloh schafft es dank des tropischen Klimas in Asien bis zu neunmal in einem Jahr.

Vor ihrer Forschung zu der Senfölbombe hat Franziska Beran untersucht, wie sich der Gestreifte Kohlerdfloh urplötzlich in Massen auf den Kohlpflanzen zum gemeinsamen Mahl versammelt. Und das, obwohl zunächst nur wenige Käfer die Futterquelle ausfindig



Das Prinzip der Senfölbombe: Solange das Enzym Myrosinase und die Senfölglycoside in unterschiedlichen Zellen gespeichert werden, sind die Substanzen unschädlich. Erst wenn sie miteinander in Kontakt kommen, zum Beispiel wenn die Zellen verletzt werden, entstehen die giftigen Senföle. Erdflohkäfer setzen für ihre Senfölbombe Komponenten unterschiedlicher Herkunft ein: Die Senfölglycoside stammen von den Futterpflanzen. Sie werden über den Darm aufgenommen und im Körper angereichert. Die in der Nahrung enthaltene Myrosinase bleibt dagegen ungenutzt und wird von den Käfern selbst hergestellt.

gemacht haben. Für die verzögert auf die Attacke einsetzende Abwehrreaktion der Pflanze kommt der Überfall zu massiv und schnell: Die Käfer fressen sie praktisch auf, bevor sie sich wehren kann.

Den Weg zum Festschmaus finden die Kohlerdföhe dank eines Pheromons, wie die gebürtige Berlinerin herausgefunden hat. Hat ein Käfer eine neue Futterquelle entdeckt, lockt er seine Artgenossen mit einem solchen Signalstoff an, den diese selbst aus großer Entfernung riechen können. „Aggregationspheromone funktionieren ähnlich wie Sexualpheromone, sie werden aber in diesem Fall von den Männchen abgegeben und locken beide Geschlechter an“, erklärt Beran.

Auf den ersten Blick erscheint es widersinnig, dass ein Kohlerdfloh seine Artgenossen informiert, wenn er Nahrung entdeckt hat. Durch den scheinbar selbstlosen Akt lockt er schließlich Konkurrenz herbei. Trotzdem lohnt es sich für den Käfer, das Signal an die anderen weiterzugeben, denn gemeinsam schaffen sie es schneller, die harte Außenschicht eines Blattes zu durchdringen. Erst unter der wachsartigen Oberfläche vieler Kohl-

gewächse liegen die Blattschichten, die den Käfern so gut schmecken. Studien haben gezeigt, dass jeder einzelne Käfer größere Mengen Pflanzennahrung aufnehmen kann, wenn viele Tiere zusammen fressen.

EINLADUNG ZUM FESTMAHL

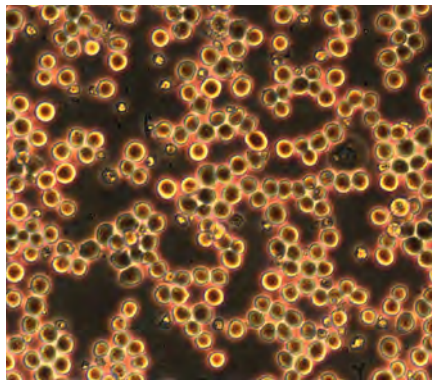
Die männlichen Käfer senden das Pheromonsignal erst aus, wenn sie begonnen haben, die Pflanze anzuknabbern. Die Artgenossen können mit ihren Antennen bereits ein millionstel Gramm wahrnehmen und der Duftspur bis zu ihrem Ursprung folgen.

Chemisch handelt es sich bei diesen Pheromonen um sogenannte Terpene, genauer gesagt: um Sesquiterpene. Diese Moleküle sind eine weitverbreitete Gruppe sogenannter sekundärer Stoffwechselprodukte in Pilzen, Bakterien und Pflanzen. Sie verleihen beispielsweise dem Harz von Nadelbäumen seinen typischen Geruch. Die Biologin hat nachgewiesen, dass die männlichen *Phyllotreta striolata*-Käfer ein Terpengemisch produzieren, das aus acht strukturell miteinander verwandten bicyklischen Sesquiterpenen besteht.

Bislang hat Franziska Beran noch nicht die anlockende Wirkung der kompletten Mixtur testen können, da noch nicht sämtliche Komponenten zur Verfügung stehen. „Das war aber auch gar nicht notwendig, denn bereits ein Gemisch aus zwei Terpenen lockt die Käfer zuverlässig an.“

Die meisten Insekten können keine Terpene produzieren. Ganz anders *Phyllotreta striolata*: Er verfügt den Studien Berans zufolge über spezielle Enzyme, sogenannte Terpensynthasen. Die Forscherin hat die Gene mit den Bauanleitungen für die Enzyme analysiert und entdeckt, dass sich die Enzyme der Käfer von denen aus Bakterien und Pflanzen unterscheiden. Die Käfer haben die Herstellung der Terpene für sich sozusagen neu erfunden und nutzen zur Kommunikation also weder die Terpene ihrer Futterpflanzen, noch ziehen sie dafür Symbiosebakterien heran, sondern sie bilden die Substanzen ausschließlich selbst.

Diese Ergebnisse werfen natürlich die Frage auf, ob sich die Terpene auch zum Nachteil der Kohlerdföhe einsetzen ließen, beispielsweise in Form von Pheromonfallen, mit denen die Käfer



Unter dem Mikroskop betrachtet Franziska Beran in Kultur gehaltene Zellen von Insekten. Die Zellen sind genetisch so verändert, dass sie die Myrosinase des Kohlerdflohs *Phyllotreta striolata* bilden (unten). Beran löst das Enzym aus den Zellen heraus, um seine Eigenschaften zu untersuchen.

gezielt angelockt werden können. Für Beran ist dies jedoch Zukunftsmusik. „Noch wissen wir zu wenig darüber, wie die Käfer mit ihren Botenstoffen kommunizieren“, sagt sie. Sie hat synthetisch im Labor hergestellte Pheromone in einem Feldversuch auf ihre Wirksamkeit überprüft und festgestellt, dass die künstlichen Duftstoffe die Käfer zwar anlocken, aber bei Weitem nicht so effektiv sind wie die Originale. So lassen sich die Käfer noch nicht wirksam genug von ihren Futterpflanzen abhalten. „Entweder sind doch alle acht Terpene notwendig, oder es spie-

len noch andere, bislang unbekannte Substanzen für die Massenansammlung der Insekten eine Rolle.“

Doch zurück zur Senfölbombe. Dank der Erkenntnisse der Forscher aus Jena wissen wir heute, dass Kohlerdföhe bestimmte Senfölglycoside aus ihren Nahrungspflanzen aufnehmen und im Körper anreichern können. Und das nicht zu knapp: Fast zwei Prozent des Körpergewichts der Käfer sind Senfölglycoside. Die Forscher wollen nun wissen, wie die Käfer verhindern, dass die Senfölbombe während des Fressens an der Pflanze zündet. Schließlich müsste

die Verletzung der Pflanze doch dazu führen, dass die Myrosinase die Senfölglycoside zu giftigen Senfölen abbaut.

Tatsächlich scheinen die Käfer nicht vollständig immun gegenüber der Senfölbombe der Kreuzblütler zu sein. Pflanzen mit sehr hoher Myrosinase-Aktivität und entsprechend hohem Gehalt an Isothiocyanaten sind besser vor den Schädlingen geschützt. „Die Käfer können das Abwehrsystem der Pflanzen also nicht ganz ausschalten“, sagt Beran.

Was aber machen die Käfer mit den gespeicherten Senfölglycosiden? Besitzen sie vielleicht gar ihre eigene Senfö-

Unten Klebefalle in einem Kohlfeld in Taiwan. Die Falle ist mit einem künstlich hergestellten Pheromon der Käfer bestückt. Der Wind verteilt den Duftstoff in der Umgebung und lockt die Schädlinge an, sodass sie in der Falle kleben bleiben.

Rechts Franziska Beran hat während eines Praktikums selbst erlebt, welchen Schaden Kohlerdflöhe an wirtschaftlich bedeutenden Kohlarten in Asien verursachen können. Ihre Forschung konnte seitdem schon einige Geheimnisse der winzigen Käfer lüften. So will sie dazu beitragen, dass Landwirte die Schädlinge in Zukunft möglichst zielgenau und umweltschonend abwehren können.



bombe? Dafür müsste aber auch das dazugehörige Enzym vorhanden sein. Und tatsächlich: Eine Analyse des Erbguts der Kohlerdflöhe hat ergeben, dass sie in ihren Genen die Bauanleitung für eine Myrosinase besitzen. „Die Käfer haben unabhängig von den Pflanzen ihr eigenes Enzym entwickelt, das die Senfölglycoside zu Isothiocyanaten abbaut. Die Senfölbombe der Kohlerdflöhe beruht folglich auf selbst produzierter Myrosinase und Senfölglycosiden von den Futterpflanzen“, erklärt Beran.

Womöglich sind es weniger andere Tiere, die ihnen gefährlich werden – schließlich können sie dank ihrer Beine schnell wegspringen –, sondern Krankheitserreger wie Bakterien und Pilze. Oder aber die Senfölbombe schützt die Käferlarven, die im Boden leben und an den Wurzeln fressen. Dort sind sie einer Reihe von Feinden ausgesetzt, unter anderem auch hier wieder Bakterien.

Die Kohlerdflöhe haben also nicht nur gelernt, die Abwehrwaffe ihrer Futterpflanzen unschädlich zu machen, sie zweckentfremden diese auch noch. Die Wissenschaftler können deshalb von den Winzlingen mit dem großen

Sprungvermögen eine Menge über die Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Insekten lernen – ein Wissen,

das sich vielleicht eines Tages zum Schutz landwirtschaftlicher Nutzpflanzen einsetzen lässt. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Kreuzblütler wandeln Senfölglycoside mithilfe des Enzyms Myrosinase in giftige Isothiocyanate um. Erst wenn die Pflanzen angefressen werden, kommt das Enzym mit den Glycosiden in Kontakt, und das Gift entsteht.
- Kohlerdflöhe können den Abbau der Senfölglycoside durch die Myrosinase zumindest teilweise verhindern und so das Abwehrsystem der Pflanzen umgehen. Einen Teil der Senfölglycoside lagern sie in ihrem Körper ein und nutzen ihn zusammen mit selbst produzierter Myrosinase zur eigenen Verteidigung.
- Kohlerdflöhe senden ein Gemisch aus Terpenen aus, mit dem sie Artgenossen zu Futterpflanzen locken. Zusammen können die Käfer die harten Pflanzenblätter besser durchdringen.

GLOSSAR

Kohlerdflöhe: Die etwa eineinhalb bis drei Millimeter großen Käfer erscheinen dunkelblau bis schwarz oder sind gelb gestreift. Sie überwintern im Boden, die Weibchen legen im Frühjahr ihre Eier an frischen Pflanzen ab. Die unscheinbaren weißen Larven der Kohlerdflöhe ernähren sich von Pflanzenwurzeln oder minieren in den Blattstielen, dabei richten sie keine wirtschaftlich bedeutsamen Schäden an. Im Sommer erscheinen die Jungkäfer. Diese ernähren sich von den Blättern, in die sie kreisrunde Löcher fressen. Kohlerdflöhe können Erreger von Pflanzenkrankheiten wie etwa das Rettichmosaikvirus übertragen. Insektenschutznetze mit entsprechend kleiner Maschenweite können verhindern, dass die Käfer zu ihren Futterpflanzen gelangen.