Duftspur
durchs Ameisenland

Dass das GPS der Wüstenameise neben Sonnenkompass, Wegintegrator und optischen Landmarken auch den Geruchssinn zum Auffinden des Nestes nutzt, ist neu. Noch erstaunlicher aber ist, dass die Tiere dabei die Verteilung verschiedener Düfte in der Nestumgebung lernen und wie eine Landkarte einsetzen. **Markus Knaden** und sein Team vom **Max-Planck-Institut für chemische Ökologie** in Jena haben sich auf Spurensuche im Ameisenland begeben.

Eine Wüstenameise läuft im Versuchskanal zur Futterstelle. Die Kanalwände verhindern den Blick auf die Umgebung. Die Ameise kann sich unter diesen Versuchsbedingungen nur mittels ihres Geruchssinnes orientieren.

TEXT **MARCUS ANHÄUSER**

Kathrin Steck sieht ein bisschen müde aus – kein Wunder, sie hat die Nacht durchgemacht. Die Biologin ist seit zwei Uhr früh unterwegs. Erst zwei Stunden mit einem tunesischen Taxi durch die Dunkelheit von Mahares nach Monastir, dann mit dem Flieger zurück nach Deutschland. Am Flughafen Leipzig ist sie umgestiegen in den Zug nach Jena und schließlich mit dem Taxi nicht nach Hause, sondern umgehend ins Labor am Max-Planck-Institut für chemische Ökologie gefahren.

Der Grund für die Eile steckt in den kleinen Gläschen in ihrem Rucksack, befüllt mit einer durchsichtigen Flüssigkeit. Darin sind unsichtbar Düfte gelöst, abgesaugt von den Nesteingängen einer Wüstenameise. „Die müssen möglichst gut gekühlt und dann schnell verarbeitet werden“, sagt die 34-jährige Postdoktorandin aus der Abteilung von Bill Hansson, einem Experten für den Geruchssinn.

Kathrin Steck und ihre Kollegen Cornelia Bühlmann und Markus Knaden wollen wissen, welche Substanzen den Nestgeruch bei Wüstenameisen ausmachen. Hat jedes Nest einen eigenen Duft? Oder riechen alle Nester gleich? Welcher Duft entströmt dem Eingang, einem etwa zwei Zentimeter großen Loch im krustigen Boden eines ausgetrockneten Salzsees? Das ist der typische Lebensraum ihres Forschungsobjekts, der quirligen, schwarz glänzenden Ameise *Cataglyphis fortis*.

EIN GERUCHSPFAD FÜR DIE ARTGENOSSEN

Zwei Wochen stand Steck Tag für Tag von morgens bis abends in der gleißenden Sonne bei Temperaturen bis zu 50 Grad. Bühlmann saugte die Düfte am Nesteingang ab, während Steck die hochbeinigen Ameisen auf ihren Pfaden über den salzigen Wüstenboden verfolgte.

Dass sich Ameisen geruchlich orientieren, weiß man schon lange – auch wenn es nicht für jeden offensichtlich ist. Sie nehmen den Geruch des Futters wahr und erkennen Freund und Feind im Ameisenland: „Wenn sie sich treffen oder zum Nest kommen, berühren sie sich ausgiebig mit ihren Antennen“, sagt Knaden. Findet eine Ameise eine Futterquelle, informiert sie ihre Nestgenossinnen mittels eines Lockstoffs, einer Pheromonspur am Boden. Diesem Geruchspfad folgen die Ameisen bis zur Futterquelle, um das Futter dann ins Nest zu tragen. Je mehr Tiere den Pfad benutzen, desto intensiver wird die Spur. Ergebnis sind die bekannten Ameisenstraßen, auf denen es von Tieren nur so wimmelt.

Doch solche Ameisenstraßen gibt es bei der Gattung *Cataglyphis* gar nicht. „Das sind Einzelkämpfer, wenn es ums Futter geht“, sagt der Verhaltensökologe. Auf dem Salzsee sieht man immer nur einzelne Ameisen umherflitzen, mal im

Foto: MPI für chemische Ökologie

» In der Welt der Ameisenforschung nimmt *Cataglyphis* eine ganz besondere Stellung ein. Sie wird schon mal als „Navigationsgenie“ bezeichnet.

Zickzack suchend, mal schnurstracks in Richtung Nestloch. „Eine Pheromonspur würde sich auf dem fast 60 Grad heißen Salzboden schnell verflüchtigen“, sagt Knaden. Es gebe zwar Ameisenarten, die auch auf solch einem Boden Duftspuren legen, „aber die sind abend- oder nachtaktiv“. Das heißt, sie suchen nach Futter, wenn es kühler geworden ist.

WÜSTENAMEISEN MIT EINGEBAUTEM GPS

Darüber hinaus ist das Legen einer Duftspur nur sinnvoll, wenn es ergiebige Futterquellen auszubeuten gilt, also für Ameisen etwa, die jene Samen eintragen, die um einen Busch herum am Boden liegen. *Cataglyphis fortis* hat aber vor allem tote Insekten auf dem Speiseplan. Und die trägt sie in einem Stück ins Nest.

Seit 14 Jahren forscht Markus Knaden an *Cataglyphis*, einer Gattung mit rund 60 Arten, von denen sechs in der Sahara vorkommen, dem eigentlichen Hauptverbreitungsgebiet. In der Welt der Ameisenforschung nimmt *Cataglyphis* eine ganz besondere Stellung ein. Sie wird schon mal als „Navigationsgenie“ bezeichnet. Das ist wahrscheinlich ein wenig übertrieben, gibt es doch viele andere Tierarten mit vergleichbaren Orientierungsleistungen. Aber nur wenige sind so gut erforscht wie *Cataglyphis*.

Schon seit Ende der 1960er-Jahre untersuchen Wissenschaftler, wie sich die Ameise in der Wüste zurechtfindet. Damals hatte der Vater der *Cataglyphis*-Forschung, der Neurophysiologe Rüdiger Wehner von der Universität Zürich, seine Zelte im tunesischen Maharès aufgeschlagen und damit begonnen, das Navigationsvermögen dieser hochbeinigen, eleganten Wüstenrenner – sie sind etwa so groß wie unsere heimische Waldameise – unter die Lupe zu nehmen.

Im Laufe der Jahrzehnte entdeckten die Forscher, dass das Insekt tatsächlich mehrere Techniken einsetzt, um die Salzebenen auf der Suche nach fetter Beute zu durchqueren und dann auf geradem Wege zum Nest zurückzukehren. „Sie nutzen einen Sonnenkompass, einen Wegintegrator – sozusagen ein Schrittzähler – und Landmarken, um den Nesteingang zu finden“, fasst Knaden das Repertoire zusammen. Ihre Facettenaugen sind daher größer als bei vielen anderen Ameisen. Sie besitzen auch sehr große, bewegliche Antennen.

Trotzdem: Den Geruchssinn für die Orientierung auf den heißen, lebensfeindlichen Salzplatten hatte bisher kaum jemand auf der Rechnung. Auch Knaden nicht. Erst als er im Jahr 2006 in Bill Hanssons Abteilung kam, rückte die Formiciden-Nase als Werkzeug für die Nach-Hause-Navigation in seinen Fokus. „Ich hatte die Hoffnung, dass die Ameisen nicht nur visuelle Landmarken lernen, sondern möglicherweise auch Duftmarken“, sagt der Max-Planck-Wissenschaftler.

Und so begannen Knaden und Steck zunächst ganz systematisch zu ergründen, welche Substanzen die Ameisen überhaupt riechen und welche nicht. In einem Speziallabor wie dem von Bill Hansson stehen ihnen alle Werkzeuge zur Verfügung, um den Geruch systematisch zu untersuchen. Steck testete unterschiedlichste Substanzen aus den Duftbibliotheken und wies mittels sogenannter Elektroantennogramme die Reaktion der Geruchsnerven in den Antennen auf die Düfte nach.

Danach konzentrierten sich die beiden Forscher auf vier Düfte, auf die sie die Ameisen für ihre Experimente trainierten: Methylsalicylat, Decanal, Nonanal und Indol. „Wir haben Umge-

bungsdüfte genommen, die nicht mit dem Futter in Verbindung stehen, sondern beispielsweise von Pflanzen produziert werden und die bei hohen Temperaturen schwer flüchtig sind“, sagt Knaden. Futterdüfte wären zu attraktiv gewesen. Schließlich sollen die Ameisen nicht von dem Duft angezogen werden – sie sollen ihn nur erkennen und sich merken.

FORSCHUNG AUF TROCKENEM GELÄNDE

Die Duftforscher wollten nun herausfinden, ob die Tiere in der Lage sind, diese Düfte als Orientierungsmarken im Bereich des Nesteingangs zu nutzen. Etwa so, wie sie auch visuelle Landmarken – zum Beispiel einen Busch oder Stein – nutzen, um das kleine Eingangsloch zielgenau anzusteuern. Das Untersuchungsgebiet ist ein

oben: Während viele Nester nur ein unscheinbares daumennagelgroßes Loch im Boden als Nesteingang haben, legen andere Ameisen derselben Art auffällige Nesthügel an. Ein möglicher Grund könnte sein, dass heimkehrende Tiere den Nesthügel als Landmarke nutzen und dadurch schneller ins sichere Nest zurückfinden.

unten: Kathrin Steck beim individuellen Markieren der Ameisen. Anhand von Strichlisten können die Forscher verfolgen, wie oft die einzelnen Tiere das jeweilige Training schon absolviert haben.

Fotos: MPI für chemische Ökologie (2)

oben: Das Versuchsgelände mit der Salzpfanne im Hintergrund. Mehrere solcher Salzpfannen existieren in Tunesien. Diese hier hat eine Ausdehnung von etwa drei mal sechs Kilometern.

unten: Bei Temperaturen bis zu 50 Grad Celsius steht Kathrin Steck in der gleißenden Sonne und verfolgt den Ameisensuchlauf im Kanal.

im Sommer ausgetrockneter Salzsee in Tunesien, sechs Kilometer lang, drei Kilometer breit, etwa eine Stunde vom Meer und den Unterkünften der Wissenschaftler in Maharès entfernt. Das Mekka der *Cataglyphis*-Forschung. Den Küstenort hatte Rüdiger Wehner 1968 als Basisstation entdeckt und eingerichtet. Auch Markus Knaden, der bei Wehner promovierte und Postdoc war, hat dort über die Wüstenameise zu arbeiten begonnen.

Als er 2006 zu Bill Hansson nach Jena wechselte, hatte er zunächst Pech: Seine Ameisenpopulation in Maharès war nahezu zusammengebrochen. „Wir

Fotos: MPI für chemische Ökologie (2)

Große, auf den Boden gemalte Testfelder erlauben es, auch weiträumige Suchläufe der Ameisen zu protokollieren. Diese Methode wurde von Rüdiger Wehner, dem Vater der *Cataglyphis*-Forschung, schon in den späten 1960er-Jahren eingeführt und bewährt sich bis heute.

Foto: MPI für chemische Ökologie

vermuten, dass es mit dem massiven Einsatz von Pestiziden in den nahe gelegenen Olivenbaumplantagen zu tun hatte“, sagt Knaden. So waren er und Steck gezwungen, sich eine neue Population zu suchen – und die fanden sie an besagtem Salzsee, 75 Kilometer entfernt. Den Vorteil ihrer Salzwüste erkannte Knaden gleich beim ersten Besuch: „Dort explodierten die Nester schier vor Ameisen.“ Die Nester waren viel größer als in Maharès, was gut für die Stichprobenzahl und die statistische Auswertung ist.

UMSCHALTEN AUF LANDMARKENORIENTIERUNG

Doch auch wenn die Bedingungen für ihre Forschung dort besser sind, komplett umziehen wollen die Jenaer Wissenschaftler nicht. Ihr Basislager liegt weiterhin in Maharès. „Die Küste ist einfach schöner“, sagt Knaden. Besseres Klima, ein Fischerhafen, ein paar Restaurants. Und die Einheimischen kennen die Forscher schon, die den ganzen Tag in der Sonne schmoren und Ameisen beobachten. „Wir sind die Verrückten, die jedes Jahr mit neuem Equipment und Jeep ankommen“, sagt Knaden lachend.

Auf dem Salzsee, auf dem nur im Winter das Wasser steht, bauten die Wissenschaftler ihre Versuchsanordnungen auf. Für ihre ersten Experimente benötigten sie lediglich eine kreisrunde, fünf Millimeter dünne Platte aus Kunststoff und Aluminium mit einem ein Zentimeter großen Loch in der Mitte, die über den Eingang eines Nests gelegt wurde. Damit konnten Bühlmann und Knaden zunächst einmal zeigen, dass der Geruch tatsächlich eine Rolle beim Wiederfinden des Eingangs spielt: Wenn Sonnenkompass und Wegintegrator die Ameise bis auf einen Meter in die Nähe des Nests gebracht haben, schaltet das Tier um auf Landmarkenorientierung. „Das Loch selbst ist ja aus der Ameisenperspektive nicht zu sehen, deshalb merken sich die Tiere einen Stein oder Busch in der Nähe“, sagt Knaden.

Mit der Platte über dem Nesteingang können die Forscher solche Hinweise im Experiment ausschalten. Jetzt gibt es nichts mehr, was den Ameisen verraten könnte, wo das Loch ist. Trotzdem finden sie es – und zwar, weil es nach dem Nest riecht. Der Beweis: Jedes Mal, wenn die Ameisen auf der Platte in die Windfahne geraten, die vom Eingang her weht, biegen sie ab und laufen schnurstracks zum Loch. Im Windschatten hingegen irren sie suchend umher, selbst wenn sie nur wenige Zentimeter vom eigenen Heim entfernt sind. Ein erstes wichtiges Ergebnis.

FUTTERTRIP IN DER ALUSCHIENE

Für die dann folgenden aufwendigeren Tests brauchten die Feldforscher zwei Meter lange und sieben Zentimeter breite U-förmige, nach oben offene Aluminiumschienen, die auf dem Wüstenboden ausgelegt werden. Über einen Schlauch sind diese Schienen mit einem umgedrehten Eimer verbunden, der über dem Eingangsloch des *Cataglyphis*-Nests steht. Mit diesem Versuchskanal blenden die Wissenschaftler alle optischen Marken und den Horizont aus dem Sichtfeld der Ameisen aus: „Die Tiere krabbeln aus ihrem Nest unter den Eimer. Durch den Schlauch gelangen sie über ein winziges Loch in der Seitenwand in den Alu-

oben: Für die Trainingsläufe bekommt jede Ameise mit einer Stecknadel mehrere Farbtupfer auf den Hinterleib gemalt, sodass alle Tiere unterschieden werden können.

unten: Markus Knaden und Kathrin Steck schauen sich die Versuchsdaten am Computer an.

kanal. Dort suchen sie das Futter, das wir ausgelegt haben, und kommen zurück zu diesem Loch“, beschreibt Markus Knaden das Experiment.

Würden die Ameisen einen Duft, der nicht dem Loch selbst entströmt, sondern in seinem Umfeld entsteht, auch zur Orientierung einsetzen? Als Knaden und Steck dieser Frage in ihrem Kanalversuch nachgingen, machten sie eine aufregende Entdeckung, die erneut verdeutlicht, zu welch komplexen Sinnesleistungen die kleinen Insekten fähig sind. Allerdings musste erst etwas schiefgehen, bevor sie den Fähigkeiten der Ameisen auf die Spur kamen.

Das Loch in der Seitenwand des Alukanals ist so klein, dass die Insekten es ohne Markierung nur mit viel Mühe finden. „Sie brauchen ewig“, sagt Markus Knaden. Immer wieder rennen sie daran vorbei. Sie finden es aber sofort, wenn die Forscher etwa einen schwarzen Fleck auf der dem Loch gegenüberliegenden Wand aufmalen. Sie nutzen den Fleck dann offenbar als Landmarke und verknüpfen ihn mit der Position des Eingangs. Würde das Gleiche auch mit Düften funktionieren?

Weil Knaden und Steck sich nicht sicher waren, ob überhaupt einer, und wenn ja, welcher der vier im Labor identifizierten Düfte – Methylsalicylat, Decanal, Nonanal und Indol – letztlich wichtig sein könnte, träufelten sie die vier Substanzen im Trainingskanal getrennt in einem Geruchsviereck vor dem Eingangsloch aus. Die Ameisen lernten sehr schnell, dass ihr Eingang in diesem Duftfeld zu finden war. Wenn sie nach dem Futtertrip in der Aluschiene zurückkamen, suchten sie nur noch innerhalb des Vierecks nach dem Eingang und fanden ihn auch sofort.

EINE LANDKARTE AUS VERSCHIEDENEN DÜFTEN

Die Kontrollexperimente lieferten leider kein eindeutiges Ergebnis: Erneut boten die Forscher ein Duftfeld an, aber diesmal ohne einen Eingang. Die Ameisen erinnerten sich zwar an den Geruch und suchten das Duftfeld zunächst auch gezielt auf, „aber sie liefen immer wieder über die Grenzen des Vierecks hinaus“, beschreibt Knaden das Verhalten. Und dann fiel dem Forscher ein gravierender Fehler auf: „Wir hatten die Düfte vertauscht. Sie waren im Kontrollkanal im Verhältnis zum vermeintlichen Eingangsloch an den falschen Positionen.“

Fotos: MPI für chemische Ökologie (2)

In der tunesischen Küstenstadt Maharès haben die Jenaer Geruchsspezialisten ihr Lager aufgeschlagen. Es ist das Mekka der *Cataglyphis*-Forschung, seit 1968 der Schweizer Zoologe Rüdiger Wehner erstmals den Ort als Basisstation für seine Feldforschung entdeckte.

Tiere im Nest atmen, da wird Futter verdaut, all das lässt den CO_2-Gehalt steigen“, sagt Knaden. Das könnte den Nestduft ausmachen. Sicher ist er sich nicht.

Und um genau das herauszufinden, haben Cornelia Bühlmann und Kathrin Steck die eingangs erwähnten Nestdüfte mit dem Sauger gesammelt. Hier in Jena bringt Steck die Düfte noch in den Kühlschrank, und dann gibt es nur noch eines: ab nach Hause und ins Bett. ◂

Die Ameisen waren dadurch sichtbar verwirrt worden. Als Kathrin Steck die Düfte in derselben Anordnung im Duftviereck verteilte wie im Testkanal vor dem Eingangsloch, war alles wieder in bester Ordnung: Die Ameisen suchten den Nesteingang nur noch innerhalb des Duftfeldes, so wie sie es zuvor gelernt hatten. „Dass die Anordnung der Düfte wichtig ist für die Orientierung, hätten wir nicht vermutet“, sagt Knaden.

Die Tiere orientieren sich offenbar nicht nur an ein oder zwei Düften im Bouquet und verknüpfen diese in ihrer Erinnerung mit dem Eingangsloch, sondern sie merken sich tatsächlich die einzelnen Positionen der Duftpunkte. Oder kurz: *Cataglyphis* riecht in 3-D. Ein völlig überraschendes und zugleich eindeutiges Ergebnis, mit dem keiner nach 40 Jahren Navigationsforschung an *Cataglyphis* gerechnet hatte.

AUF DER SUCHE NACH DEM STALLGERUCH

Um sich in einer solchen Duftlandschaft räumlich orientieren zu können, benötigen die Tiere – wie beim Sehen – zwei getrennte Sinneseingänge, das heißt, sie sind auf ihre beiden Antennen angewiesen. „Ameisen, die nur über eine Antenne verfügten“, so Knaden, „konnten sich nicht mehr orientieren.“ Derartiges Stereoriechen ist bei Tieren schon länger bekannt. Forscher sind sich sicher, dass Ratten und auch der Mensch das können. Dass auch Ameisen über diese Wahrnehmung verfügen, ist neu.

Doch es bleiben nach wie vor Fragen offen: Welche Landmarken sind wichtiger für die Ameisen – die optischen oder die olfaktorischen? Und spielt die Verteilung der Gerüche am Nesteingang in natürlicher Umgebung wirklich eine Rolle? Schließlich handelt es sich bei dem Experiment mit den Aluschienen ja um ein künstliches Arrangement. Möglicherweise nutzen die Ameisen eine solche Duftlandkarte weniger am Nesteingang, sondern vor allem bei der Futtersuche. Zur Ortung des eigenen Heims könnte auch ein typischer Stallgeruch ausreichen.

Aber in dieser Hinsicht ist Markus Knaden nach seinem letzten Feldtrip eher skeptisch: „Es sieht so aus, als ob es generell nach Nest riecht“, sagt er. Steck, Bühlmann und er haben auch schon einen Verdacht, was da riecht – oder sollte man sagen: müffelt? Kohlendioxid, also verbrauchte Luft. „Die

GLOSSAR

Elektroantennogramme (EAG)
Elektrophysiologische Ableitung sogenannter Summenpotenziale (sich überlagernde Aktionspotenziale mehrerer Duftrezeptoren) über die gesamte Antenne nach Applikation eines Duftstoffes.

Wegintegrator
Für die Wegintegration benötigen Wüstenameisen sowohl einen Kompass, um die eingeschlagene Richtung zu bestimmen, als auch einen Entfernungsmesser (Odometer), um die zurückgelegten Distanzen zu messen. Der Kompass bedient sich eines für uns Menschen unsichtbaren Lichtphänomens am Himmel, das sich als Polarisationsmuster großflächig über die ganze Himmelhalbkugel spannt. Die Länge der zurückgelegten Strecke misst *Cataglyphis* über die Integration der Schritte, die sie beim Laufen ausführt. Herausgefunden haben das Rüdiger Wehner und seine Mitarbeiter, indem sie die Beinlänge der Wüstenameisen vor dem Zurücklaufen von einer Futterstelle zum Nest künstlich verlängerten oder verkürzten. Die Folge war, dass die derart manipulierten Tiere die Rücklaufdistanz über- oder unterschätzten – und zwar genau um den Betrag, um den die Tiere aufgrund der Veränderung der Beine ihre Schrittlänge verändert hatten.

Foto: MPI für chemische Ökologie