



## ARTIKEL DES QUARTALS

Vorgestellt von Bernhard Ronacher, Institut für Biologie, Abt. Verhaltensphysiologie, Humboldt-Universität zu Berlin

# The ant odometer: stepping on stilts and stumps

Matthias Wittlinger, Rüdiger Wehner und Harald Wolf

Erschienen in *Science* 2006 Jun 30; 312(5782):1965-7

Wüsten sind ausgesprochen unwirtliche Lebensräume, das trifft nicht zuletzt auf die Salzpflanzen und Schotts Nordafrikas zu. Die Landschaft ist flach und eintönig, die Bodenoberfläche bis zu 70°C heiß und die Nahrung rar. Tiere, die diesen Lebensraum bewohnen, mussten besondere Strategien entwickeln, um unter derartig problematischen Bedingungen zu überleben. Zu diesen Organismen gehört die Wüstenameise *Cataglyphis fortis* der erwähnten Schotts. Ihre Nahrung ist dünn gesät – meist dem Hitzetod erlegene Insekten oder gelegentlich Pflanzensaft – weshalb die Tiere einzeln auf Beutesuche gehen und auch auf das Auslegen von Duftspuren verzichten. Die Suche nach Futter kann eine Sammlerin auf mäandrierenden Suchschleifen über eine Stunde vom Nest fernhalten, wobei die zurückgelegte Laufstrecke bis zu 1 km betragen und das Tier sich mehr als 100 m vom Nest entfernen kann. Hitzestress und Prädationsdruck sind auf solchen Ausflügen beträchtlich, und schon deshalb wäre für die Rückkehr zum Nest eine - beispielsweise auf Duftmarken beruhende - Wiederholung des zeitraubenden Auslaufs nicht zweckmäßig. Vielmehr kehrt die Sammlerin auf recht

direktem Weg zum Nesteingang zurück, sobald sie Nahrung erbeutet hat. Der direkte Rücklauf ist nicht an das Vorhandensein von Landmarken gekoppelt, die in vielen Salzpflanzen-Habitaten auch weitgehend fehlen.

Diese bemerkenswerten Orientierungsleistungen haben *Cataglyphis* in den letzten Jahrzehnten zu einem wichtigen Modellorganismus für die Erforschung von Orientierung und Navigation im Tierreich avancieren lassen. Mittlerweile ist gut etabliert, dass *Cataglyphis* ihren gewundenen Suchlauf nach Beute im Sinne einer näherungsweisen Vektoraddition integriert und auf diese Weise stets über Richtung und Entfernung zum Nest informiert ist – was ihr jederzeit den direkten Rücklauf ermöglicht. Für diese Wegintegration sind zwei Messgrößen essentiell, Richtungs- und Entfernungsinformation. Die Richtungsinformation entnimmt die Ameise aus dem Stand der Sonne bzw. aus dem Polarisationsmuster des Sonnenlichts am Himmelszelt (die Verarbeitung der hochkomplexen Polarisationsmuster wurde in grundlegenden sinnesphysiologischen Arbeiten der 1980er Jahre ebenfalls an *Cataglyphis* und an der Honigbiene aufgeklärt). Wie die Tiere die

zweite für eine Wegintegration notwendige Komponente, die zurückgelegte Wegstrecke, messen, blieb dagegen rätselhaft. Bei Honigbienen wurde vor kurzem gezeigt, dass sie den durch die Eigenbewegung verursachten optischen Fluss über ihre Komplexaugen integrieren, um die zurückgelegte Flugstrecke zu bestimmen. Dieser Mechanismus spielt bei Wüstenameisen jedoch, wenn überhaupt, nur eine ganz untergeordnete Rolle.

Die Neuro- und Verhaltensbiologen Matthias Wittlinger, Rüdiger Wehner und Harald Wolf haben nun auf elegante Weise nachgewiesen, dass *Cataglyphis* einen Schrittintegrator benutzt, um Distanzen zu messen – salopp gesprochen einen „Schrittzähler“. Ein solcher Mechanismus erscheint bei einem laufenden Tier für die Wegmessung prädestiniert und geradezu genial einfach – so wie die Experimente der Autoren. Der Nachweis gelang nämlich zunächst durch das schlichte Abschneiden der Fußsegmente, der Tarsen, der Ameisen. Durch diese Operation wurden naturgemäß nicht nur die Beine der Tiere verkürzt, sondern auch ihre Schrittlängen. Entsprechend hatte diese Manipulation eine klare Unterschätzung der Laufdistanz zur Folge – was nahe legt, dass die Tiere Schritte zählen, da mit verkürzten Schritten eine gegebene Schrittzahl eben einer kürzeren Laufdistanz entspricht.

Konkret sah das Experiment wie folgt aus: Die Ameisen wurden in einem langen Kanal zu einer 10 m entfernten Futterstelle dressiert. Dort einzelne Tiere abgefangen, mit Farbe markiert und der experimentellen Manipulation unterzogen. Die Operation beeinträchtigte die Tiere kaum (auch natürlicherweise kommt es bei den Wüstenameisen z.B. durch Austrocknung nicht selten zum Verlust von Fußsegmenten oder sogar ganzen Beinen). Die Milde des Eingriffs zeigte sich daran, dass sie sofort danach wieder begierig Futter annahmen und sich mit diesem in ganz normaler Weise auf den Heimweg machten. Für den Rücklauf wurden die Ameisen allerdings in einen längeren, parallelen Testkanal gesetzt, wo sie nach einer bestimmten Strecke – unbeeinflusst von anderen Tieren – nach ihrem Nest suchen konnten. Die Tiere, denen an der Futterstelle die Beine eingekürzt wurden, liefen in dieser Testsituation nur etwa 6 m, wo sie dann nach dem Nesteingang suchten (unmanipulierte Tiere dagegen suchten in solchen Tests recht genau bei 10 m).

Bei diesem Versuch an Ameisen mit gekürzten Beinen vermutet man natürlich als erstes, dass ihr Laufverhalten aufgrund ihrer Verletzungen generell geändert war und sie deshalb zu kurz liefen. Dagegen spricht allerdings folgende Beobachtung. Wenn so eine



„Stummelfüßlerin“ beim nächsten Auslauf wieder zur Futterstelle kam und erneut für den Rücklauf in den Testkanal gesetzt wurde, so suchte sie nun wieder bei 10 m Distanz – mit gekürzten Beinen musste sie nun ja schon beim Auslauf mehr Schritte zurücklegen, um die Futterstelle zu erreichen. Noch überzeugender war jedoch ein Versuch mit experimenteller Verlängerung der Beine (s. Abb.). Die Durchführbarkeit dieses Vorhabens wurde in der anfänglichen Diskussion mit Kollegen offenbar stark bezweifelt, aber der Doktorand Matthias Wittlinger ließ sich von derartigen Bedenken nicht abschrecken und schaffte es, seine Ameisen tatsächlich auf Stelzen laufen zu lassen. Nun suchten die Ameisen mit angeklebten Stelzen erst bei etwa 15 m Heimlaufdistanz nach dem Nesteingang, sofern sie gleich nach der Manipulation in den Testkanal gesetzt wurden! Nach dem nächsten Auslauf zur Futterstelle stimmten dann aber Rück- und Hinweg-Distanz wieder überein, was zeigt, dass es für die Distanzmessung wirklich auf die Zahl der Schritte ankommt.

Dieses klare Resultat führt nun zu weitergehenden Fragen, die von der Beinkoordination und ihrer sensorischen wie neuronalen Kontrolle bis zur Anwendbarkeit bei der Konstruktion autonomer Laufroboter reichen. Eines der nächstliegenden Projekte ist die Suche nach den sinnesphysiologischen und neuronalen Bausteinen des Distanzmessers. Unser recht gutes Verständnis der neuronalen Grundlagen des Laufens bei Insekten könnte die Antwort auf diese Frage bereits zu einem Teil enthalten. Doch hat bislang noch niemand dieses Wissen in Hinblick auf das Problem der Wegintegration ausgewertet.

### Kurzbiographien

**Rüdiger Wehner:** Studium in Zoologie, Botanik, Chemie und Philosophie an der Universität Frankfurt/M, dort 1966 Staatsexamen und 1967 Promotion bei Martin Lindauer. 1969 Habilitation bei Ernst Hadorn an der Universität Zürich, 1970 Assistenzprofessur. 1973-1974 Research Fellow an der Yale University, USA. Seit 1974 Ordinarius und 1986-2005 Direktor des Zoologischen Instituts der Universität Zürich. 1988-2005 A.D. White Professor at Large der Cornell University; zahlreiche weitere Named Lectureships in den USA. 1990 wurde Rüdiger Wehner zum Non-resident Permanent Fellow des Wissenschaftskollegs zu Berlin gewählt. Er erhielt u.a. den Benoist-Preis, den Karl-Ritter-von-Frisch-Preis der Deutschen Zoologischen Gesellschaft und die Carus-Medaille der Leopoldina sowie Ehrendoktorate der Universitäten Oldenburg, Lund



und der Humboldt-Universität Berlin. Er ist Mitglied mehrerer in- und ausländischer Akademien, u.a. American Academy of Arts and Sciences, American Philosophical Society, Leopoldina. Sein wissenschaftliches Hauptengagement gilt Cataglyphis, deren Navigationsbiologie, Physiologie, Ökologie und Evolutionsbiologie er sich seit mehr als drei Jahrzehnten an dem von ihm begründeten Forschungsplatz Maharès (Tunesien) mit seinen Studierenden widmet.

**Matthias Wittlinger:** 1996-2003 Studium der Biologie an der Universität Ulm; Diplomarbeit in der Neurobiologie bei Harald Wolf über bewegungssensitive Interneuronen in der Lobula der Honigbiene. 2003-2006 Dissertationsarbeit in der Neurobiologie bei Harald Wolf an der Universität Ulm, in enger Kooperation mit Rüdiger Wehner von der Universität Zürich; Promotion über Mechanismen der dreidimensionalen Wegintegration bei der Wüstenameise.



**Harald Wolf:** 1974-1981 Studium der Biologie sowie Biologie und Chemie für das Lehramt an der Technischen Hochschule Darmstadt; Diplomarbeit in der Immunologie. 1981-1984 Dissertationsarbeit in Zoologie bei Otto von Helversen an der Universität Erlangen; Promotion über die Antwortcharakteristik auditorischer Interneurone. 1985-1987 Postdoktorand bei Keir G. Pearson an der University of Alberta in Edmonton, Kanada; Projekte zur Integration sensorischer Rückmeldungen in den Flugmuster-generator der Wanderheuschrecke. 1987-1991 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe von Werner Rathmayer an der Universität Konstanz; Arbeiten zur neuronalen Kontrolle von (Fort-)Bewegung bei Insekten und zur Funktion hemmender Motoneurone bei Arthropoden, z.T. in Kooperation mit Ulrich Bässler und Ansgar Büschges an der Universität Kaiserslautern. 1990 Habilitation im Fach Zoologie an der Universität Konstanz; Akademiepreistäger für Biologie der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. 1991-1997 Heisenberg-



Stipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. 1991/92 Forschungsaufenthalt bei Gilles Laurent am California Institute of Technology in Pasadena, USA. 1996-1997 Gastprofessur und Extraordinarius an der Universität Zürich, in der Gruppe von Rüdiger Wehner; Arbeiten zur Navigation von Wüstenameisen – motiviert durch die bisherige Forschung am Laufverhalten von Insekten. Seit 1997 Professor für Neurobiologie und Leiter der gleichnamigen Abteilung an der Universität Ulm.

### Korrespondenzadresse

**Prof. Harald Wolf**  
Universität Ulm  
Neurobiologie  
Albert-Einstein-Allee 11  
89091 Ulm  
Tel.: +49 (0) 731 50 22 630  
Fax: +49 (0) 731 50 22 629  
e-mail: harald.wolf@uni-ulm.de