

Streiflichter

Ameisen-Design ist anders

Ameisen sind nicht nur fleißig und stark, sie sind auch flexibel. Wenn die Last selbst den kraftstrotzenden Sechsheinern zu schwer zum Tragen wird, schalten sie auf Rückwärtsgang und „Allradmodus“ um.

Ameisen sind stark! Das sieht man auch am Artnamen der Wüstenameise *Cataglyphis fortis*, die von Neurobiologen der Universität Ulm in den lebensfeindlichen tunesischen Salztonebenen untersucht wurde. Weil sie bis zum Zehnfachen ihres eigenen Körpergewichts tragen können, kommen sie eher selten in Verlegenheit beim Abtransport von Nahrung. Falls die Kraft für das Tragen nicht mehr ausreicht, gehen sie erstmal auf Schieben über, und nur im Extremfall verlegen sie sich aufs Ziehen, wobei sie natürlich mit dem Hinterteil voran laufen müssen. Die Ulmer Wissenschaftler untersuchten, wie die Ameisen das Rückwärtslaufen bewerkstelligen und auch, wie sie sich dabei orientieren, da ja Fühler und Augen in die falsche Richtung orientiert sind.

An Ameisenstraßen im Haus kann jeder selbst beobachten, dass die Eindringlinge sich an nur schwer entfernbaren Geruchsspuren (Pheromonen) orientieren. Bei der Nahrungssuche in der Wüste scheint das bei *Cataglyphis* nicht der Fall zu sein. Vielmehr fanden die Wissenschaftler heraus, dass sich die schnellen und tagaktiven Wüstenameisen am Landschaftspanorama orientieren und den Stand der Sonne und den Polarisationsgrad des Lichtes als Kompass nutzen. So finden sie gleichermaßen zielstrebig zum Nest zurück, unabhängig davon, ob sie vorwärts oder rückwärts unterwegs sind. Als besonders erstaunlich stellte sich heraus, dass die Wüstenameisen zusätzlich einen Schrittzähler nutzen, dessen Vektor-Auswertung vielfach komplizierter sein muss als die der gerade so beliebten Fitness-„wearables“, insbesondere wenn



Abb. 1 Die Wüstenameise *Cataglyphis fortis* ist eine Meisterin in Navigation. (Foto: R. WEHNER, aus Nature 411, 752, Abdruck mit freundlicher Genehmigung)

sich die Ameisen mit unkoordiniert erscheinenden Schrittfolgen im Rückwärtsgang bewegen.

Normalerweise sind beim Vorwärtslaufen immer das Vorder- und Hinterbein einer Seite und das Mittelbein der gegenüberliegenden Seite neuronal gekoppelt. Auf diese Weise ist eine schnelle Fortbewegung möglich. Das ändert sich auch beim Tragen von Lasten im Vorwärtsgang nur wenig, und auch im Rückwärtsgang können Ameisen im Prinzip noch „tripod“ laufen (Videos zu den verschiedenen Fortbewegungsarten: <http://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.7k82t>). Wenn es dann beim Rückwärts-Schleppen aber wirklich schwer wird, wird das Schrittmuster unregelmäßig. Die verschiedenen Beine zeigen unterschiedliche Schrittlängen und -frequenzen, wobei entgegen der Erwartung beides nicht gegenläufig korreliert. Die schiebenden Vorderbeine machen die kleinsten Schritte, die vorangehenden Hinterbeine die längsten. Die Dreibein-Koppelung wird aufgehoben und jedes Bein wird separat angesteuert, wobei zu meist fünf der sechs Beine Kontakt zum Boden halten. So schaffen es die Ameisen, auch schwerste Lasten zum Nest zu transportieren.

In diesem Punkt ist das Design der Ameisen offensichtlich anders als unser technisches, wo z. B. bei

Traktoren gerade, wenn es schwer wird, die Differenzialsperre eingelegt wird, um über Achsen zu koppeln, während die Ameisen in dieser Situation *entkoppeln*. Vielleicht sollte man den Ratschlag aus den Sprüchen der Bibel „geh zur Ameise, Fauler, sieh an ihr Tun und lerne von ihr“ einmal in Bezug auf das Ameisendesign verstehen: Eventuell ergeben sich durch die Bionik neue Ideen für technische Lösungen zur Arbeitserleichterung. [PFEFFER SE, WAHL VL & WITTLINGER M (2016) How to find home backwards? Locomotion and inter-leg coordination during rearward walking of *Cataglyphis fortis* desert ants. J. Exp. Biol. 219, 2110-2118 • PFEFFER SE & WITTLINGER M (2016) How to find home backwards? Navigation during rearward homing of *Cataglyphis fortis* desert ants. J. Exp. Biol. 219, 2119-2126] H.-B. Braun

Programmierte Anpassungsfähigkeit bei Killifischen?

Flexibilität ist ein typisches Merkmal von Lebewesen, ohne die sie in wechselnden Lebensumständen gar nicht lebensfähig wären. Immer mehr Befunde deuten darauf hin, dass Lebewesen ein programmiertes Potenzial von Anpassungsmöglichkeiten besitzen, das ihrer Art hilft, bei Umweltstress zu überleben. Zum einen besitzen Lebewesen Plastizität; damit sind Fähigkeiten



Abb. 1 Killifisch *Fundulus heteroclitus* (<http://www2.dnr.cornell.edu/cek7/nyfish/Cyprinodontidae/mummichog.html>)

gemeint, die Lebewesen als Antwort auf besondere Umweltreize abrufen können, ohne dass das Erbgut dabei verändert wird (Beispiel: verdickte Hornhaut bei mechanischer Beanspruchung). Diese Änderungen werden typischerweise nicht an die Nachkommen weitergegeben (außer bei epigenetischer Vererbung, die einige Generationen lang möglich ist; vererbt wird allerdings das Potenzial zur individuellen Anpassung).

Lebewesen können aber auch im Laufe einiger Generationen neue Fähigkeiten durch vererbte genetische Veränderungen (Mutationen) entwickeln. Bekannte Beispiele sind Antibiotikaresistenzen. Die neuen Fähigkeiten erfordern dabei keine grundlegenden Innovationen, sondern beruhen auf der Komplexität (inklusive Redundanz) vorhandener Stoffwechselwege. Sie sind oft innerhalb weniger Generationen verfügbar, was darauf hindeutet, dass ein gewisses Potenzial an Mutationen ausgelöst werden kann, das sich bei starken Umweltveränderungen günstig auswirken kann. Diese Änderungen könnten in einem weiten Sinne als Vorprogrammierung verstanden und interpretiert werden.

Ein Beispiel dieser Art untersuchten REID und Mitarbeiter (2016) beim Killifisch (*Fundulus heteroclitus*). Diese Fischart lebt an der Atlantikküste Nordamerikas in einem an vielen Stellen durch Dioxine, Schwermetalle und andere (giftige) Chemikalien stark kontaminierten und somit verschmutzten Lebensraum. Die vorherrschenden Konzentrationen sind für viele Wasserorganismen tödlich, aber einige Killifisch-Populationen haben sie überlebt, sie vertragen eine bis zu ca. 8000-fache Konzentration von

schädlichen Stoffen im Vergleich zu ihren Artgenossen, die den Giftstoffen nicht ausgesetzt sind.

Genetische Untersuchungen an 384 Exemplaren aus sauberen und verschmutzten Gewässern offenbarten eine interessante Kombination von Befunden und Veränderungen:

1. Die Fische in nicht verseuchten Gewässern haben große Populationen und große genetische Vielfalt.
2. Die in verseuchten Gewässern lebenden Fische besitzen eine geringere genetische Vielfalt. Das ist nicht überraschend und lässt sich dadurch erklären, dass ihre Population zwischenzeitlich stark dezimiert wurde und dadurch nur ein Teil der früheren Vielfalt erhalten blieb.
3. Bei den betreffenden Tieren treten Verlustmutationen von Komponenten des Signalwegs des AHR-Rezeptors (aryl hydrocarbon receptor) auf. Diese Verluste sind insofern vorteilhaft, als an diese Rezeptoren unter anderem Dioxine und Phenylverbindungen andocken. Damit wird gewissermaßen eine Einbruchsstelle für tödliche Veränderungen eliminiert.
4. Allerdings wird der AHR-Rezeptor auch für Signalwege benötigt, die den Hormon- und Sauerstoffhaushalt, den Zellzyklus und das Immunsystem regulieren. Doch einige Mutationen ermöglichen die Kompensation für das Fehlen der stillgelegten Gene durch andere Stoffwechselwege – eine Art „Umgehungsstraße“. Ein Backup ist somit durch wenige Veränderungen möglich.

Es zeigt sich also, dass eine Kombination aus anfänglicher großer genetischer Vielfalt, Verlust und Kompensation das Überleben ermöglichen. TOBLER & CULUMBER (2016) kommentieren (in Übersetzung):

„Bereits bestehende genetische Variation erleichterte eine schnelle Anpassung an giftbelastete Umgebungen dadurch, dass vorhandene vorteilhafte genetische Varianten rekrutiert wurden, sodass eventuelle Zeitverzögerungen vermieden werden können, die auftreten könnten, wenn evolutive Antworten von neu auftretenden günstigen Mutationen abhängig wären.“

Ein weiterer Befund scheint darauf hinzuweisen, dass die Änderungen in gewisser Weise vorprogrammiert sind: Die Killifische mussten sich zwar in unterschiedlichen Regionen völlig unabhängig voneinander an die Verschmutzungen anpassen, aber dennoch sind die einzelnen Populationen auf genetischer Ebene erstaunlich ähnlich. Bei ganz zufälligen Änderungen ist das nicht zu erwarten. Eine Programmierung kann zwar naturwissenschaftlich nicht bewiesen werden, aber die Befunde sind damit besser verträglich als mit einem reinen Zufallsszenario. Die Schnelligkeit der Veränderungen führen die Wissenschaftler darauf zurück, dass der variable Anteil in den Fischgenomen besonders hoch ist; ein Umstand, der auch bei pestizidresistenten Insekten bekannt ist (ALBAT 2016). Das Beispiel zeigt, dass Resistenzen keine neuen Proteine oder Stoffwechselwege benötigen, sondern dass sogar Verluste zum Überleben beitragen können.

[ALBAT D (2016) Fischige Anpassungskünstler. http://www.wissenschaft.de/leben-umwelt/biologie/-/journal_content/56/12054/14988471/Fischige-Anpassungsk%C3%BCnstler/ • REID NM, PROESTOU DA, et al. (2016) The genomic landscape of rapid repeated evolutionary adaptation to toxic pollution in wild fish. *Science* 354, 1305-1308; doi: 10.1126/science.aah4993 • TOBLER M & CULUMBER ZW (2016) Swimming in polluted waters. *Science* 354, 1232-1233, doi: 10.1126/science.aal3211] R. Junker

■ Von Fischen zu Vierbeinern? Neues von *Acanthostega*

Der sogenannte „Spitzpanzer“ – *Acanthostega* (Abb. 1) – aus dem Oberdevon spielt eine prominente Rolle in evolutionären Hypothesen zur Entstehung der Tetrapoden (Vierbeiner) ausgehend von Fischen.