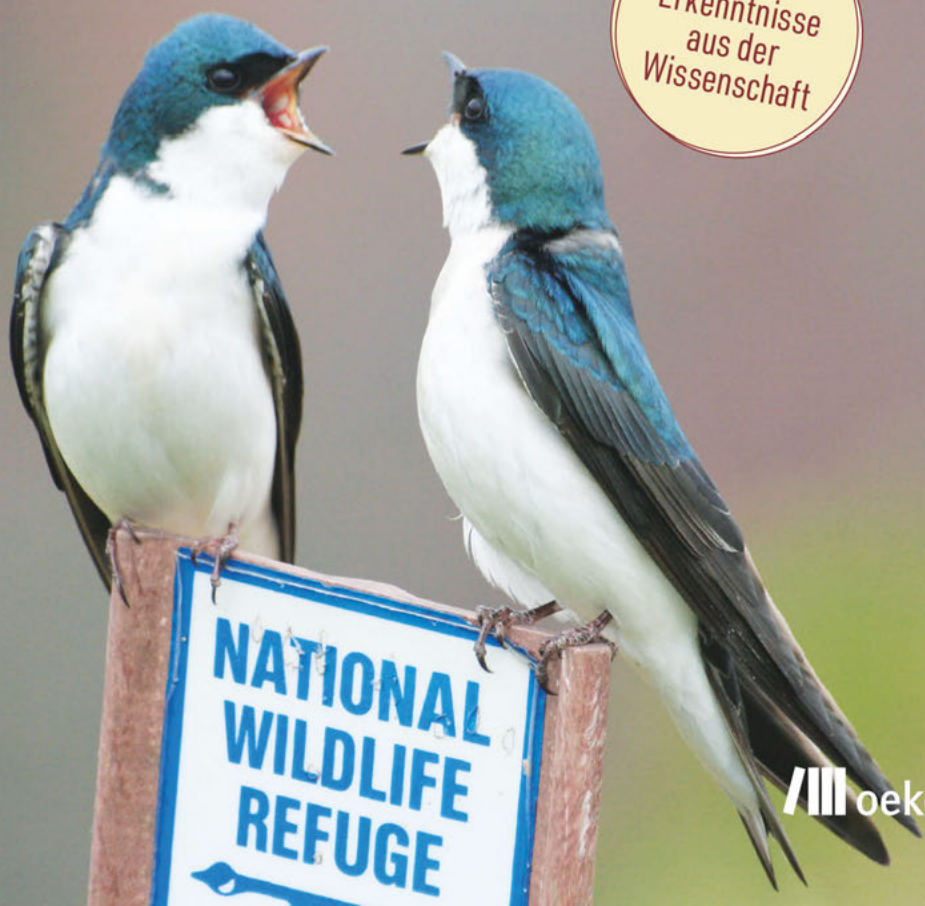


Wilhelm Irsch

MEISTER der ANPASSUNG

Die erstaunlichsten
Überlebensstrategien der
Tier- und Pflanzenwelt

*Kuriose
Erkenntnisse
aus der
Wissenschaft*



 oekom

Inhalt

Tiere – wie sie über- und zusammenleben

Kapitel 1

Vom Maulwurfshirn und trächtigen Fledermäusen9

Kapitel 2

Von Haien im Atemstillstand bis zu den Salamandern der Götter22

Kapitel 3

»Gerechte« Mäuse, harte Bären, Bienen- und Schlangengift42

Kapitel 4

Wie der Ruderfußkrebs fastet und Tintenfische sich tarnen58

Kapitel 5

Wie Bärtierchen im Eis überleben und höhere Temperaturen
den Fadenwurm nerven90

Kapitel 6

Ameisen – fleißige Arbeiterinnen, soziale Helfer 99

Kapitel 7

Von Orang-Utans, Schimpansen, Pavianen, Gorillas und Co. 116

Kapitel 8

Soziale Hierarchien in der Savanne – der Machtverlust
der Hyänen135

Kapitel 9	
Der Ton macht die Musik	147

Kapitel 10	
Nicht nur der Nase nach	167

Kapitel 11	
Lebensraum City – Refugien und Experimentierfelder der Evolution	191

Kapitel 12	
Die magische Kraft des Lichtes	210

Pflanzen unter Stress

Kapitel 13	
Der Kirschlorbeer drängt in mitteleuropäische Wälder	221

Kapitel 14	
Zur Not auch Fleisch	227

Über den Autor	239
----------------------	-----

Literatur	240
-----------------	-----

Index	253
-------------	-----

Tiere – wie sie über- und
zusammenleben

Kapitel 5

Wie Bärtierchen im Eis überleben und höhere Temperaturen den Fadenwurm nerven

Ewiges »Leben« im Eis

Wildtiere haben sich im Laufe einer langen Entwicklung an die unterschiedlichsten Umweltbedingungen angepasst. Einige Säugetiere wie Igel und Braunbär begeben sich zu Beginn der kalten Jahreszeit in Winterruhe und fahren ihren Stoffwechsel auf Sparflamme. Reptilien verfallen in Winterstarre und selbst Bärtierchen können sich hervorragend an raue Umweltbedingungen anpassen und im Eiswürfel als »Dornröschen« überleben. Bereits 2019 bewies Ralph Schill, Professor am Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme der Universität Stuttgart, dass anhydrobiotische (getrocknete) Bärtierchen viele Jahre ohne Wasseraufnahme unbeschadet überdauern können. Ob Tiere in gefrorenem Zustand schneller oder langsamer altern oder das Altern gar zum Stillstand kommt, war bislang unklar. Das Rätsel ist nun gelöst: Gefrorene Bärtierchen altern nicht.

Bärtierchen (Tardigrada), auch Wasserbären genannt, gehören zur Familie der Fadenwürmer. Ihre Gangart erinnert an die eines Bären, womit die Gemeinsamkeiten bereits erschöpft wären. Die nur knapp einen Millimeter großen Organismen haben es geschafft, sich im Laufe der Evolution perfekt an schnell wechselnde Umweltbedingungen anzupassen und können bei extremer Hitze austrocknen und bei Kälte gefrieren. Sie fallen sozusagen in einen Dornröschenschlaf ohne zu sterben.

Für einen Zellorganismus bedeutet es unterschiedlichen Stress, je nachdem ob er nun gefriert oder austrocknet. Doch Bärtierchen überstehen Hitze

und Kälte gleichermaßen unbeschadet. Sie zeigen dabei keine offensichtlichen Lebenszeichen mehr. Daraus ergibt sich die Frage, was mit der inneren Uhr der Tiere passiert und ob sie in diesem Ruhezustand altern.

Für getrocknete Bärtierchen, die viele Jahre in ihrem Lebensraum auf den nächsten Regen warten, wurde die Frage nach dem Altern schon vor einigen Jahren beantwortet. In einem Märchen der Gebrüder Grimm fällt die Prinzessin in einen tiefen Schlaf. Als ein Prinz sie nach 100 Jahren küsst, erwacht sie und sieht noch immer so jung und schön aus wie zuvor. Bei den Bärtierchen im getrockneten Zustand ist es genauso und daher wird dies auch als »Dornröschen«-Hypothese (»Sleeping Beauty«-Model) bezeichnet. Während inaktiver Perioden bleibt die innere Uhr stehen und läuft erst wieder weiter, sobald der Organismus reaktiviert wird. So können Bärtierchen, die ohne Ruheperioden normalerweise nur wenige Monate leben, viele Jahre und Jahrzehnte alt werden.

Bislang war noch unklar, ob dies auch für gefrorene Tiere gilt. Altern sie schneller oder langsamer als die getrockneten Tiere oder kommt das Altern auch zum Stillstand? Um dies zu klären wurden in mehreren Experimenten insgesamt über 500 Bärtierchen bei -30 °C eingefroren, wieder aufgetaut, gezählt, gefüttert und wieder eingefroren. Dies geschah so lang bis alle Tiere gestorben waren. Zur selben Zeit wurden Kontrollgruppen bei gleichbleibender Raumtemperatur gehalten. Die Zeit in gefrorenem Zustand ausgenommen, zeigte der Vergleich mit den Kontrollgruppen eine nahezu identische Lebensdauer. Fazit: Bärtierchen halten also auch im Eis tatsächlich wie Dornröschen ihre innere Uhr an.

Reifenabrieb und höhere Temperaturen nerven Fadenwürmer

Sie haben sich erfolgreich an nahezu jedes terrestrische und aquatische Ökosystem angepasst – einschließlich extremer Lebensräume wie tieferer Bereiche der obersten Erdkruste und der Polarregionen. Bislang wurden mehr als 20.000 Arten beschrieben, Schätzungen gehen aber von insgesamt 100.000 bis 10 Millionen Arten aus. In vielen Lebensräumen stellen sie oft sowohl hinsichtlich der Individuenzahl als auch der Artenvielfalt die größte Gruppe in der Metazoenfauna. Unter anderem wegen ihres einfachen Körperbaues sind sie nicht nur unter Genetikern zum Modellorganismus avanciert. Dabei

handelt es sich zumeist um relativ kleine, weiße bis farblose, fädige Würmchen, die in feuchten Medien leben.

Für die Forschung hat *C. elegans* eine besondere Bedeutung: In den 1960er-Jahren wählte der im Jahre 2002 mit dem Medizin-Nobelpreis ausgezeichnete Sydney Brenner den Wurm als Modellsystem aus. Bereits zehn Jahre später hatten Wissenschaftler die gesamte Zellentwicklung des Tiers von der Eizelle bis zum ausgewachsenen Stadium beschrieben. 1998 war er der erste vielzellige Organismus, dessen komplettes Genom entziffert war. Entwicklungsbiologen betrachten *C. elegans* daher als »gläsernen« Organismus.

Caenorhabditis elegans weiß inzwischen auch die Altersforschung zu schätzen: Er ist ein multizellulärer Organismus mit einem kurzen Lebenszyklus und einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15–20 Tagen. Sein Genom ist vollständig sequenziert und mehr als 60 Prozent seiner Gene haben die gleiche Struktur und Funktion wie menschliche Gene. Der Wurm ist mit einer Länge von 1 Millimeter sehr klein, transparent und hat gut charakterisierte Phänotypen (Erscheinungsbilder) und Verhaltensweisen. Erstaunlicherweise finden sich einige mit dem Alter verbundene Merkmale, die im Menschen beobachtet werden, auch in *C. elegans* wieder: Mit dem Alter bilden sich Gewebe zurück, physiologische Funktionen und Stressresistenz lassen nach und die Sterbewahrscheinlichkeit nimmt zu. Diese evolutionär konservierten Eigenschaften können in *C. elegans* unter dem Mikroskop untersucht werden. Um die Effekte von genetischen Einflüssen und Umwelteinflüssen auf den Alterungsprozess zu erforschen und wichtige Erkenntnisse für die menschliche Gesundheit zu erlangen, haben Umweltforscher ihn nun erneut ins Rennen geschickt. Sie wollen damit zum einen herausfinden, auf welche Weise Luftverschmutzung das Risiko für Erkrankungen wie Alzheimer und Parkinson beeinflusst und zum anderen, wie sich diese Einflüsse im Rahmen der Klimaerwärmung verändern. Deshalb haben sie die Experimente auch bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt.

Denn neben genetischen Faktoren spielt auch die Luftverschmutzung – wie etwa Reifenabrieb – eine Rolle bei diesen Erkrankungen. Bei der Studie kam exemplarisch für einen Reifenbestandteil Siliziumdioxid (Nano-Silika; SiO_2) zum Einsatz. Diese kleinen Teilchen hatte sich die Arbeitsgruppe um Professor Anna von Mikecz (IUF-Leibniz-Institut für umweltmedizi-

nische Forschung GmbH) auch schon in einem anderen Zusammenhang angeschaut: Sie werden als Lebensmittelzusatzstoff gegen Verklumpen verwendet und zeigten negative Effekte, wenn sie vom Fadenwurm mit der Nahrung aufgenommen wurden.

Negative Effekte gab es, wenn der Fadenwurm das Siliziumdioxid aus der Umgebung aufnahm. Dabei wurde der Abbau von Nervenzellen beobachtet. Besonders anfällig war das Alzheimer-Modell des Fadenwurms, in dem eine verringerte Nervenfunktion gemessen wurde. Im Parkinson-Modell zeigte sich der Abbau von Nervenzellen, die Dopamin produzieren. Das Fazit: Alle drei Faktoren, Reifenabrieb, Alter und 25 Grad beschleunigten in Modellen des Fadenwurms für Alzheimer und Parkinson den Abbau von Nervenzellen.

Die Untersuchungen zeigen, dass Kälte deren gesunde Lebensspanne verlängert.

Hummeln und Pflanzenschutzmittel-Mischungen

Während ihrer Sammelflüge können Hummeln verschiedene Pflanzenschutzmittel mit dem Nektar und den Pollen aufnehmen. Es stellt sich die Frage, ob dies Auswirkungen auf das Lernverhalten und die Flugaktivität hat. Wildbienen sind in der Natur verschiedenen Pflanzenschutzmitteln ausgesetzt, die eine potenziell giftige Wirkung haben können. Doch Hummeln zeigen sich offenbar relativ robust gegenüber diesen Mitteln. Eine Hummelkolonie wurde für Tests in mehrere »Abteilungen« geteilt und deren Mitglieder sowohl einzelnen Insektiziden und Fungiziden als auch Kombinationen dieser Pflanzenschutzmittel ausgesetzt. Dabei zeigten sich keine Beeinträchtigungen von Lernfähigkeit und Flugaktivität der so behandelten Tiere.

Wildbienen nehmen viele Pflanzenschutzmittel auf

In der Natur sind Bienen nicht nur einzelnen Stressoren ausgesetzt, sondern treffen in der Regel auf eine Vielzahl von Faktoren, die negative Effekte auf die Bestäuber haben können. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zählt dabei zu den Hauptursachen des Insektenrückgangs. Wildbienen, zu denen auch die Hummel zählt, nehmen auf ihren Sammelflügen viele verschiedene Pflanzenschutzmittel auf und tragen diese über die Nahrung in die Kolonie

ein. Durch die Aufnahme von Pflanzenschutzmittel-Mischungen können Effekte auf das Verhalten entstehen, die schwer vorherzusagen sind. Einige Mittel können miteinander interagieren und ihre Wirkung gegenseitig beeinflussen, wodurch ein verstärkter oder abgeschwächter Effekt entstehen kann.

Neue Methode zur Erforschung von Pflanzenschutzmittel-Mischungen

Was passiert, wenn Hummeln einen Cocktail aus Pflanzenschutzmitteln aufnehmen? Wirkt sich dies auf ihr Verhalten aus? Um eventuelle Effekte auf das Lernverhalten und die Flugaktivitäten zu ergründen, wurde eine Hummelkolonie in vier »Abteilungen« aufgeteilt. Dadurch war es möglich, sowohl Einzelbehandlungen mit Insektiziden und Fungiziden als auch Mix-Behandlungen an einer Kolonie zu testen. Dank dieser Methode können Unterschiede zwischen Kolonien ausgeschlossen werden. Außerdem werden weniger Kolonien pro Versuch benötigt.

Zwei Experimente zeigen keine Effekte

Es wurde das Lernverhalten und die Flugaktivität nach einer Behandlung mit einem Insektizid, einem Fungizid und deren Mischung und die Ergebnisse mit einer Kontrollgruppe verglichen. Um das Lernverhalten zu untersuchen, wurden die Hummeln in einer Flugarena auf farbige Blütenattrappen konditioniert. Sie sollten lernen, eine bestimmte Blütenfarbe mit einer Zuckerwasser-Belohnung zu verknüpfen und diese dann gezielt anzufliegen. Das Ergebnis: Die verschiedenen Pflanzenschutzmittel-Behandlungen zeigten keinen Effekt auf die Lernfähigkeit der Hummeln.

Die Flugaktivität wurde mithilfe von moderner RFID-Technik untersucht. Dazu erhielten die Hummeln kleine Chips, sodass jedes Tier eine eigene ID besaß. Scanner vor der Kolonie lasen die ID aus und speicherten sie, jeweils mit einem Zeitstempel versehen. Auf diese Weise ließ sich die Flugaktivität jeder Hummel genau bestimmen. Auch hier zeigte die Auswertung keine Effekte der Pflanzenschutzmittel.



Die Hummel als robuste Wildbiene

Hummeln gehören neben Honigbienen und Fliegen zu den wichtigsten Blütenbestäuberinsekten. Ihre Temperaturunempfindlichkeit ermöglicht es ihnen, länger als Bienen auf Nahrungssuche zu sein. Sie nutzen den Tag und fliegen länger als Bienen. Täglich fliegen sie fast bis zu 1.000 Blüten an – selten mehr als zwei verschiedene Blütenarten pro Flug. Einige Pflanzenarten, zum Beispiel Taubnesseln (*Lamium*), werden ausschließlich von langgrüsseligen Hummeln während der Nektarentnahme bestäubt.

Kaum ein anderes Insekt ist so gern gesehen und so beliebt aber auch so geheimnisvoll wie die Hummel. Mit einer Aktivität von 18 Stunden pro Tag übertreffen Hummeln sogar die »bienenfleißigen« Honigbienen und kommen bis in Bergregionen auf 6.000 Metern vor. Für sie beginnt die Aktivitätszeit früh im Jahr: Im Spätwinter, wenn die Tage länger werden, nimmt auch die Kraft der Sonne zu.

Die ersten Frühblüher brechen sich durch den Schnee und bald öffnen sich auch die Knospen an Bäumen und Sträuchern. Zu den ersten Gästen zählen z. B. Fliegen, für die große Mehrheit der anderen Blütenbesucher ist es noch zu früh. Bei den Hummeln, die rund 20 Zentimeter tief unter der Schneedecke überwintern, hat nur die Königin überlebt. Bis die Kraft der Sonne sie weckt, verharret sie in Kältestarre und schützt sich mit Glykol im Blut vor dem Erfrieren.

Auch in Laborversuchen schlägt sich die Hummel tapfer und zeigt, dass sie gegenüber Stressoren wie Pflanzenschutzmitteln recht robust sein kann: Die Hummel profitiert durch ihre soziale Lebensweise in der Kolonie, die toxische Effekte abpuffern und schwachen Bienen das Überleben sichern kann. Zudem unterscheidet sich die Hummel in ihrer Körpergröße von vielen sozial lebenden Wildbienen, die deutlich kleiner sind.

Dieselabgase schädigen Hummeln

Feinstaubpartikel können allerdings den Hummelorganismus erheblich schädigen, wenn sie dauerhaft über die Nahrung aufgenommen werden. Sie gelangen oftmals in den Nektar von Pflanzenblüten, von dem sich Hummeln und andere Insekten ernähren. Mit einem Vierzylinder-Dieselmotor, wie er häufig in PKWs vorkommt, wurden Abgaspartikel erzeugt, die durch Verbrennungsprozesse entstehen und dem Zuckerwasser beigemischt, mit

dem Dunkle Erdhummeln (*Bombus terrestris*) im Labor täglich gefüttert wurden. Die Menge entsprach der Menge von Dieselabgaspartikeln, wie sie bereits in Böden in der Nähe vielbefahrener Landstraßen nachgewiesen worden waren. Die Analyse zeigte, dass sie teilweise aus elementarem Kohlenstoff bestehen, aber auch Schwermetalle und weitere organische Substanzen, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) enthalten. Letztere stehen im Verdacht, für den Menschen toxisch zu sein und die Entstehung von Krebs zu fördern.

Darm-Mikrobiom – Schwächung des Immunsystems

Nachdem die Hummeln sieben Tage lang bei jeder Mahlzeit Abgaspartikel zu sich genommen hatten, wurde eine erheblich veränderte Zusammensetzung des Darmmikrobioms festgestellt: Von den Bakterienarten, welche normalerweise die hauptsächlichen Bestandteile der Darmflora von Hummeln bilden, waren einige viel häufiger, andere dagegen seltener anzutreffen. Insbesondere das Bakterium *Snodgrassella*, das für die Bildung eines den Darm schützenden Biofilms wichtig ist, war nur noch in sehr geringer Anzahl vorhanden. Derartige Veränderungen im Darmmikrobiom sind dafür bekannt, dass sie bei Insekten die Immunität und die Resistenz gegen Krankheitserreger schwächen können und damit deren Sterblichkeit erhöhen.

Sinkender Fettgehalt des Körpers und erhöhte Sterblichkeit

Um zu testen, wie sich die Partikel auf das Immunsystem der Insekten auswirken, nahmen die Hummeln zehn Tage lang Abgaspartikel zu sich, die dem Zuckerwasser in unterschiedlich hohen Konzentrationen beigemischt waren. Danach war ihr Fettgehalt im Vergleich mit Hummeln, die normales Futter erhielten, erheblich gesunken: Ein Indiz dafür, dass die Partikel im Körper der Hummeln Entgiftungsprozesse auslösen, die mit einem erhöhten Energieverbrauch verbunden sind. Auch diese Ergebnisse legen die Schlussfolgerung nahe: Die tägliche Aufnahme von Abgaspartikeln über die Nahrung versetzt den Organismus der Hummeln in Stress. Die Sterblichkeit war signifikant erhöht.

Veränderungen der Genexpression: Energie-Stress

Auch zeigten sich deutliche Veränderungen der Genexpression, der von Genen gesteuerten Herstellung lebenswichtiger Proteine. Die Analyse des Transkriptoms – der Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt erzeugten RNA-Moleküle – ergab, dass sich die Expression von 324 Genen verändert hatte. Die Produktion von RNA-Molekülen wurde bei 165 Genen intensiviert, bei 159 Genen hingegen verringert. Offenbar verringern die über einen längeren Zeitraum mit der Nahrung aufgenommenen Abgaspartikel Abbauprozesse im Organismus, verlangsamen aber Prozesse der Biosynthese. Bei der veränderten Genexpression könnte es sich um eine Stressreaktion handeln, welche die Energieressourcen der Insekten angreift und schwächt.

Schädigende Auswirkungen bei chronischer Aufnahme

Erhebliche Beeinträchtigungen der Hummeln durch Dieselabgase ließen sich nur dann feststellen, wenn die Partikel über die Nahrung aufgenommen wurden. Wurden die Partikel lediglich eingeatmet, ergaben sich keine Hinweise auf Schädigungen. Zudem war entscheidend für eine Schädigung, dass die Aufnahme der Abgaspartikel chronisch ist, sich also innerhalb eines längeren Zeitraums wiederholt. Wenn Pflanzen und Böden belastet sind, ist eine chronische Exposition mit den Schadstoffen denkbar. Unter natürlichen Bedingungen kann aber auch eine nicht-tödliche Wirkung der Abgaspartikel für Hummeln problematisch sein. Denn meistens sind die Tiere in der Umwelt mehreren Stressfaktoren gleichzeitig ausgesetzt, z. B. Pestiziden oder hohen Tagestemperaturen im Sommer.

Kapitel 6

Ameisen – fleißige Arbeiterinnen, soziale Helfer

Die heimliche Weltmacht

Sie sind in Wüsten ebenso heimisch wie in Polarregionen. Sie leben in sozialen Staaten, verabreichen Medizin, betreiben Ackerbau und Weidewirtschaft, führen Kriege und halten Sklaven. Die Masse aller Ameisenarten zusammen übersteigt die der gesamten Menschheit. Sie leben in einer Welt aus verschlüsselter Kommunikation, blitzschnellen Befehlsketten und geheimen Giftmischungen, und sogar Software-Entwickler holen sich Tipps bei Ameisenvölkern. Doch wie bei allen staatenbildenden Insekten, ganz gleich ob Wespen oder Bienen, nur gemeinsam – im Verbund – sind sie stark.

Eigene Antibiotika: Hilfe für infizierte Wunden

Die afrikanischen Matabele-Ameisen werden beim Kampf mit Termiten (Termitoidae) oft verletzt. Ihre Artgenossinnen erkennen, wenn sich die Wunden infizieren und leiten gezielt eine antibiotische Therapie ein. Die südlich der Sahara weit verbreiteten Matabele-Ameisen (*Megaponera analis*) brauchen keinen Speiseplan: Sie fressen ausschließlich Termiten. Ihre Jagdzüge sind gefährlich, denn die Termitensoldaten verteidigen ihr Volk – und setzen dabei ihre kräftigen Beißzangen ein. Verletzungen sind an der Tagesordnung, wenn sich die Wunden infizieren, droht Lebensgefahr. Sie haben ein ausgeklügeltes Gesundheitssystem entwickelt, können nicht-infizierte von infizierten Wunden unterscheiden und behandeln letztere hoch effizient mit selbst produzierten Antibiotika.

Behandlung verringert die Sterblichkeit drastisch

Chemische Analysen zeigen, dass sich als Folge einer Wundinfektion das Kohlenwasserstoffprofil des Ameisenpanzers spezifisch verändert. Genau diese Veränderung können die Ameisen erkennen und so den Infektionszustand verletzter Kampfgefährtinnen diagnostizieren. Zur Behandlung tragen sie dann antimikrobiell wirksame Verbindungen und Proteine auf die infizierten Wunden auf. Diese Antibiotika entnehmen sie aus der Metapleuraldrüse, die sich seitlich an ihrer Brust befindet. Deren Sekret enthält 112 Komponenten, die Hälfte davon wirkt antimikrobiell oder wundheilend. Und die Therapie ist hoch wirksam: Die Sterblichkeit infizierter Individuen wird um 90 Prozent verringert.

Analyse der Ameisen-Antibiotika

Mit Ausnahme des Menschen ist kein anderes Lebewesen bekannt, das eine derart ausgefeilte medizinische Wundbehandlung vornehmen kann. Die Erkenntnisse haben auch medizinische Bedeutung, da der primäre Erreger in Ameisenwunden, *Pseudomonas aeruginosa*, eine der Hauptursachen für Infektionen beim Menschen ist, wobei mehrere Bakterienstämme gegen Antibiotika resistent sind. Ob die Matabele-Ameisen in dieser Hinsicht wirklich einzigartig sind, wird derzeit bei anderen Ameisenarten und anderen sozial lebenden Tieren überprüft. Zudem werden die von den Matabele-Ameisen verwendeten Antibiotika identifiziert und analysiert mit dem Ziel neue Antibiotika auch für den Menschen zu entwickeln.

Matabele-Ameisen in einer Netflix-Doku

In der achteiligen Naturdokumentation »Life on Our Planet«, in der es um die Evolution des Lebens in den vergangenen 500 Millionen Jahren geht, ist die Versorgung der verletzten Ameisen auch auf Netflix zu sehen. Für die fünfte Folge – »Im Schatten von Giganten« – (Regie: Steven Spielberg) wurde im natürlichen Lebensraum der Ameisen, aber auch in künstlichen Nestern im Labor der Comoé-Forschungsstation gedreht.

BioFusion 4.0 – Vorbild für die Industrie

Ameisen spielen eine zentrale Rolle in Ökosystemen, allein schon durch ihre Masse: Etwa 20 Billionen Ameisen gibt es laut jüngsten Schätzungen

auf der Erde, das bedeutet mehr Biomasse als alle wild lebenden Säugetiere und Vögel zusammen. Sie graben Erde um, bekämpfen Schädlinge wie etwa Borkenkäfer, zersetzen Aas, bestäuben Pflanzen und verbreiten Pflanzensamen. Ameisen unterhalten zudem enge Beziehungen zu bestimmten Pflanzenarten.

Forschende des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK nehmen sich die Natur zum Vorbild und entwickeln im Projekt BioFusion 4.0 ein Plattformkonzept für die produzierende Industrie, das eine dynamische Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine ermöglicht und auf dem Prinzip der Selbstorganisation und Selbstoptimierung basiert. Dabei werden die Produktionsbeteiligten intelligent vernetzt, sodass sie selbstständig miteinander kommunizieren und sich flexibel koordinieren können.

Resiliente Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich an Veränderungen und Anforderungen in ihrer Umgebung selbstorganisiert anpassen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Produktionsprozessen, die über eine zentrale Steuerung optimiert werden, gilt das Prinzip Dezentralität durch Individualität. Eine Software, in der jedes am Produktionsprozess beteiligte Element individuell erfasst wird, bildet digital dessen spezifische Merkmale, Eigenschaften, Zustände und Verhaltensweisen ab – vom altgedienten Logistik-Roboter bis zur Hightech-Fräsmaschine. Nach dem Vorbild der natürlichen Artenvielfalt können sie als autonome Einheiten Informationen empfangen, senden und so die Produktion steuern. Diese digitalen Repräsentanten, sogenannte Digitale Zwillinge, sind das grundlegende Element der dezentral organisierten Plattform. Um Produkte und Maschinen eigenständig handlungs- sowie kommunikationsfähig zu machen, werden sie zu »virtuellen Agenten« erweitert die auf die jeweilige Rolle, Fähigkeiten und Verantwortlichkeiten der digitalen Repräsentanten abgestimmt sind.

Ein Agent ist ein Softwaresystem, das in einer bestimmten Umgebung situiert ist und das in der Lage ist, autonom Aktionen in dieser Umgebung auszuführen, um seine individuellen Zielsetzungen zu erreichen. Ebenso wie Organismen in natürlichen Ökosystemen, bei denen jeder eine bestimmte Funktion erfüllt und in Beziehung zu anderen Organismen steht, können auch diese virtuellen Agentensysteme durch Vernetzung kommunizieren, Aufgaben verhandeln und Entscheidungen treffen. Damit weiß die Maschi-

ne selbst, ob sie Kapazitäten frei hat oder den Auftrag an den Kollegen weiterleitet. In der Zielvision steuern Produkte aktiv ihren Produktionsprozess und Geräte bestimmen selbstständig die nächsten Arbeitsschritte.

Vorbild für den Aufbau der Agentensysteme ist das kognitive Modell natürlicher Lebewesen – wahrnehmen, schlussfolgern, entscheiden. Ameisen nutzen diese Kette der Informationsverarbeitung bei ihrer pheromongeleiteten Nahrungssuche, indem sie Düfte wahrnehmen, Informationen einordnen und darauf basierend entscheiden, ob sie der Duftspur folgen oder einen anderen Weg einschlagen. Dabei entsteht ein vernetztes, sich selbst regulierendes digitales System, das genauso wie das natürliche Ökosystem von lokalen Bedingungen beeinflusst wird und durch dynamische Anpassung im Gleichgewicht bleibt. Das System erkennt zum Beispiel selbst, ob alle Agenten effektiv arbeiten, sodass keine Über- oder Unterbelastung entsteht. Entscheidend sind dabei Rückkopplungsschleifen, die es dem System ermöglichen, aus Fehlern zu lernen.

Weiterer Vorteil der dezentralen Plattformlösung ist, dass jede Mitarbeiterin und jeder Mitarbeiter einen eigenen Zugang zum Netzwerk der Agenten besitzt und den aktuellen Prozesszustand im Blick hat, um bei Bedarf Änderungen vorzunehmen. Ähnlich wie in einem Ökosystem können diese Mechanismen dazu beitragen, dass das System widerstandsfähiger wird, indem es auf unvorhergesehene Ereignisse reagiert und sich ständig verbessern kann. Entwickelt wird die Plattform unter anderem in der Montage von Modulen für batterieelektrische Fahrzeuge. Bereits gestartete Tests mit Industriepartnern sollen zeigen, wie die Umsetzung in die Praxis gelingen kann.

»Triage« in der Pflege

Soziale Ameisen sind Meister der kooperativen Krankheitsabwehr. Diese ermöglicht ihnen einen Schutz ihres »Staatswesens« – der Kolonie – und trägt zur »sozialen Immunität« bei. Konkret handelt es sich dabei um kollektive Maßnahmen zur Verringerung des Risikos von Krankheiten und deren Übertragung innerhalb der Kolonie. Deren Mitglieder sorgen füreinander: Unter anderem knabbern sie infektiöse Sporen von Pilzen bei infizierten Nestgefährtinnen ab und desinfizieren sie mit Chemikalien. Sie verhindern dadurch, dass sich eine Infektion innerhalb der Kolonie ausbreitet.

Aber woher weiß eine einzelne Ameise, wen sie pflegen soll?
Forschende des Institute of Science and Technology Austria (ISTA) und der Comenius-Universität in Bratislava erhielten detaillierte Einblicke in die sanitäre Entscheidungsfindung einzelner Ameisen und sehen in ihnen ein perfektes Modell für die Zusammenarbeit im Tierreich. Es zeige geradezu beispielhaft, wie eine Gruppe die Ausbreitung von Krankheiten verhindert. Vergleichbar mit einem Krankenhaus kümmern sich einzelne Mitglieder einer Ameisenkolonie um ihre erkrankten Nestbewohnerinnen.

Doch während ein Krankenhaus feste Regeln für Triage hat, waren die individuellen Entscheidungen, wer in der Ameisenkolonie wen und wann pflegt, bis jetzt ungeklärt.

In einer multidisziplinären Studie wurde untersucht, wie Gartenameisen mit Pilzsporen umgehen. Dabei zeigte sich, welche Informationen die Ameisen bei ihren individuellen Pflegeentscheidungen berücksichtigen. Analysiert wurde das Verhalten der Ameisen und die Sporenlast – die Menge an Pilzsporen – einzelner Koloniemitglieder über einen bestimmten Zeitraum: Die Ameisen wählten bevorzugt die infektiösesten Koloniemitglieder für die Pflege aus. Eine Ameise hört jedoch dann auf, andere zu pflegen, nachdem sie gerade selbst von ihren Mitbewohnerinnen gepflegt wurde. Diese einzigartige Kombination einfacher Regeln führt dazu, dass die infektiösesten Koloniemitglieder von den am wenigsten infektiösen gepflegt werden – eine äußerst effiziente Krankheitsbekämpfung auf Kolonieebene.

Ameisen pflegen ansteckendste Mitglieder der Kolonie

Doch woher wissen die Ameisen, wen sie entkeimen sollen? Das Verhalten gesunder Ameisen in Bezug zu zwei Nestgenossinnen, die beide infektiöse Pilzsporen in unterschiedlicher Menge auf sich trugen, gab darauf eine Antwort. Die pflegenden Ameisen konnten im Experiment entscheiden, wie sie ihre Gesundheitspflege unter den beiden Koloniemitgliedern aufteilen. Fazit: Sie nehmen Individuen mit der höchsten Sporenmenge bevorzugt ins Visier – also jene, die zurzeit das größte Risiko für die Gruppe darstellen. In der Regel wählen Ameisen diejenige mit der aktuell höchsten Sporenbelastung aus, obwohl sich die Sporenbelastung durch das Entkeimen selbst ständig ändert. So können die Ameisen dynamisch auf Veränderungen der Krankheitsbedrohung reagieren.

Und sie können durch Amputationen sogar Leben retten. Im Notfall beißen Ameisen verletzte Gliedmaßen von Artgenossinnen ab und sichern dadurch deren Überleben. Ob sie sich zu diesem radikalen Schritt entscheiden, hängt davon ab, wo sich die Wunde befindet. Florida-Holzameisen (*Campanotus floridanus*) amputieren vorsorglich Gliedmaßen, um das Leben verwundeter Artgenossinnen zu retten. Bei bestimmten Verletzungen an den Beinen beißen sie diese komplett ab und verhindern durch den rabiaten Eingriff gefährliche Wundinfektionen mit großem Erfolg: 90 Prozent der amputierten Tiere überleben die Behandlung und können trotz des Verlustes eines ihrer sechs Beine danach ihre Aufgaben im Nest wieder in vollem Umfang übernehmen.

Ameisenverhalten durch Mathematik verstehen

Experimentelle Ansätze haben jedoch ihre Grenzen. Zwar war zu beobachten, wie die Ameisen handeln, aber daraus ließ sich nicht ermitteln, aus welchen Gründen sie sich so verhalten. Die individuelle Entscheidungsfindung, die das Gruppenverhalten bestimmt, blieb nach wie vor eine »Blackbox«.

Bei der Frage, wann sie mit dem Pflegeverhalten beginnen und bei wem, folgen sie einer einfachen Faustregel: Wenn sie auf eine Ameise mit einer hohen Sporenbelastung treffen, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sie diese Ameise entkeimen. Das Gute dabei ist, dass die Ameisen sich nicht die Sporenbelastung aller Koloniemitglieder merken müssen, sondern sie können sich dabei gänzlich auf die Informationen verlassen, die sie aus dem Kontakt mit den Ameisen in ihrer unmittelbaren Umgebung gewinnen.

Das System scheint jedoch nicht perfekt. Die Ameisen pflegen auch manchmal das weniger infektiöse Tier. Doch die vielen kleinen Tendenzen für Pflege höher belasteter Individuen bei jeder Entscheidung einzelner Ameisen, summieren sich zu einer klaren Entscheidung und einer effizienten Beseitigung von Krankheitserregern auf Kolonieebene. Die Ameisen können auf minimale Unterschiede in der Sporenbelastung reagieren, treffen aber genauere Entscheidungen, wenn die Diskrepanz höher ist.

Auf welche Weise die Ameisen den Unterschied in der Sporenmenge wahrnehmen ist noch unklar. Vielleicht haben die höher belasteten Tiere einen stärkeren Pilzgeruch. Ergosterol – ein essenzieller Membranbestandteil aller Pilze – könnte ein mögliches Erkennungsmerkmal für die Ameisen sein.

Ansteckende Ameisen als Krankenpfleger außen vor

Ein weiterer Faktor, der für die Pflegetätigkeit einer Ameise relevant ist, ist deren Sensitivität gegenüber sozialen Signalen der Nestgenossinnen – eine soziale Rückkopplungsschleife, die verhindert, dass hochinfektiöse Individuen sich um andere kümmern. Dadurch wird das Verbreitungsrisiko während der Pflege verringert.

Feindselig durch Hitze

Das Zusammenleben und das gemeinsame Miteinander wird aber auch durch von der Klimakrise hervorgerufene Effekte wie höhere Temperaturen und mehr Stickstoff im Boden hervorgerufen: Sie führen zu stärkerer Aggressivität unter Ameisen-Kolonien, wie sich am Beispiel der weit verbreiteten Hochgebirgs-Ameise *Tetramorium alpestre* an acht hochalpinen Standorten in Österreich, Italien, Frankreich und der Schweiz zeigte.

Studien zu an festen Standorten im Boden lebenden Tieren sind eher spärlich, besonders im Hinblick auf Auswirkungen des zu erwartenden ökologischen Wandels durch die Klimakrise. Das Verhalten hochalpiner Ameisen wurde im Hinblick auf das Aggressionsverhalten studiert. Die Ergebnisse zeigen, dass zumindest bei dieser Art Aggression offenbar mit Umweltfaktoren korreliert. Acht Populationen der Ameise *Tetramorium alpestre* wurden in verschiedenen Höhenlagen entlang des Alpenbogens auf ihr feindseliges Potenzial hin untersucht, indem man Arbeiterinnen von unterschiedlichen Kolonien innerhalb der Populationen eines Standortes aufeinandertreffen ließ. Ziel war es, zu sehen, wie feindselig oder friedvoll sie miteinander umgehen.

Die untersuchten Kolonien kommen auf Höhen zwischen 1.600 und 2.300 Metern vor und wurden in vier Ländern gesammelt. In Österreich wurden Kolonien aus dem Kühtai und vom Hahntennjoch (beide Tirol) sowie von der Mussen im Lesachtal (Kärnten) getestet, in der Schweiz vom Julier- und Simplonpass, in Frankreich vom Col de Vars und Col du Galibier und in Italien von einer Population nahe des Colle della Maddalena.

Um das Verhalten zu überprüfen, wurden mehrere genetische, umweltbezogene Analysen aber auch Aggressionstests durchgeführt, an denen jeweils zwei Arbeiterinnen unterschiedlicher benachbarter Kolonien beteiligt waren. Sie sind die größte Gruppe im Ameisenstaat und zuständig für Nahrungssuche, Nestbau und Brutpflege.

Der auf Video aufgezeichnete Zweikampf soll ein Aufeinandertreffen in freier Natur – wie es bei der Nahrungssuche der Ameisen-Arbeiterinnen vorkommt – simulieren. Die Drei-Minuten-Videos wurden dann auf Sekundebasis ausgewertet und ergaben einen mittleren Aggressionswert für alle »Paarungen«.

Die Aggressivität der Ameisen aus den wärmeren Gebieten wie Italien und Frankreich war im Vergleich zu den kühleren Standorten in Österreich und der Schweiz um ein Vielfaches erhöht. Auch die Nährstoffanreicherung im Boden – die so genannte Eutrophierung – spielt eine Rolle: Neben der erhöhten Lufttemperatur war auch ein Zusammenhang zwischen Stickstoff-Gehalt in den Arbeiterinnen und im Boden und der Feindseligkeit erkennbar.

Die zunehmende Aggression ist, was den Erhalt der Art angeht, wohl langfristig ein Verlustgeschäft. Mehr Kämpfe unter den Ameisen-Arbeiterinnen können zwar für einzelne Kolonien vorübergehend mehr Nahrung bedeuten und somit einen kurzfristigen Vorteil bringen. Auf lange Sicht – und vor dem Hintergrund der als gesichert geltenden weiteren Erderwärmung – ist diese Entwicklung allerdings von Nachteil. Dass Ameisen bei der Nahrungssuche aggressives Verhalten gegenüber anderen Kolonien zeigen, ist normal. Wenn diese Kampfaktivitäten aber zunehmen, kostet das die Arbeiterinnen viel Kraft und Zeit. Das könnte sich negativ auf die Entwicklung des ganzen Ameisenstaates auswirken, weil dann die Anzahl der Ameisen zurückgeht und beispielsweise weniger Nahrung vorhanden ist.

Dass höhere Temperaturen zu mehr Aggressionen führen, ist in anderen Studien etwa für Menschen, Huftiere und Wühlmäuse belegt.

Bitte warten – nein, danke

Ameisen erkennen, ob ein Ort schnell überfüllt ist, indem sie ihn einfach nur ansehen, und nutzen dieses Wissen, um überfüllte Nahrungsquellen im Voraus zu meiden, ohne die Überfüllung tatsächlich zu sehen. Sie meiden Futterstellen, wenn sie glauben, dass bereits viele ihrer Artgenossen dort hingehen.

Schlangestehen ist lästig und vergeudet unsere Zeit, also versuchen wir, es zu vermeiden. Ameisen können genau das gleiche Problem haben: Sie beziehen einen Großteil ihrer Nahrung von Insekten wie Blattläusen (Aphi-

doidea), die Honigtau produzieren. Aber kleine Gruppen von Blattläusen produzieren nur wenig Honigtau und es dauert lange, bis sie wieder mehr produzieren, wenn dieser aufgefressen wurde.

Ameisen sind uns ähnlicher als wir denken

Um die Frage zu klären, ob Ameisen versuchen würden Nahrungsquellen die sie mögen zu meiden, wenn diese nur wenig Platz bieten und belebt aussehen, konnten Ameisen von einem speziellen Zuckerlösungstränker fressen, der entweder genug Löcher für viele Ameisen gleichzeitig oder nur genug Platz für eine Ameise hatte. Dann ließ man die Ameisen wissen, dass es an einem anderen Ort einen weiteren Futterautomaten gibt, der ebenfalls leicht überfüllt sein kann oder nicht. Als die hungrigen Ameisen wiederkamen, um nach Futter zu suchen, traf die Hälfte von ihnen auf viele bereits gesättigte Ameisen, die von der ersten, bevorzugten Futterstelle zurückkamen und die andere Hälfte traf keine anderen Ameisen. Wenn die hungrigen Ameisen beim letzten Mal Tränker mit vielen Löchern benutzt hatten oder dieses Mal keine anderen Ameisen trafen, gingen sie einfach zu ihrem Lieblingstränker. Hatten die hungrigen Ameisen jedoch Tränker mit nur einem Loch benutzt und trafen viele andere Ameisen, die von der bevorzugten Futterstelle zurückkamen, mieden sie diese und gingen stattdessen zu der weniger beliebten Alternative.

Weniger überraschend ist, dass sie den überfüllten Tränker zur Stoßzeit mieden. Das macht Sinn. Die eigentliche Frage: Wie haben sie herausgefunden, dass der Tränker überfüllt sein könnte? Die Ameisen haben diesen Tränker noch nie in ihrem Leben gesehen und auch noch nie erlebt, dass er überfüllt ist. Dennoch haben sie irgendwie herausgefunden, dass dieses Futterhaus nur einige wenige Ameisen fassen kann. Das deutet darauf hin, dass die Ameisen ein sehr tiefes Verständnis davon haben, wie die Welt funktioniert.

Arbeitsteilung wirkt sich auf das Infektionsrisiko aus

Ameisen, die für die Futtersuche das Nest verlassen, werden eher von Parasiten befallen als ihre Nestgenossinnen, die sich um die Brutpflege kümmern. Demnach entscheidet bei gleicher genetischer Ausstattung allein das individuelle Verhalten darüber, ob sich ein Individuum in einer sozialen Gruppe an einem Krankheitserreger infiziert oder nicht. Klonale Räuberameisen der

Art *Ooceraea biroi*, die außerhalb des Nests auf der Futtersuche sind, werden eher von parasitischen Fadenwürmern befallen als Artgenossinnen im Nest. Zudem verändern Erkrankungen in der Kolonie das Verhalten aller Ameisen: Kranke und gesunde Ameisen blieben gleichermaßen im Nest und die Arbeitsteilung war vermindert, wodurch die gesamte soziale Organisation in der Ameisenkolonie beeinträchtigt wird.

Die soziale Rolle bestimmt das Infektionsrisiko

Die COVID-19-Pandemie hat vor Augen geführt, dass nicht alle Menschen gleichermaßen durch das neue Virus gefährdet waren. Ältere, kranke und gesundheitlich vorbelastete Menschen mussten besonders geschützt werden, weil die Gefahr, lebensbedrohlich zu erkranken oder an der Virus-Erkrankung zu sterben, stark erhöht war. Davon abgesehen waren die Risiken, sich mit dem Virus anzustecken, aber auch aufgrund unserer beruflichen Tätigkeiten sehr unterschiedlich verteilt. Sogenannte »systemrelevante« Berufe waren oftmals die, bei deren Ausübung es besonders viele Begegnungen mit potenziellen Virusträgern gab: Tätigkeiten in der Pflege und im Medizinbereich, bei der Betreuung und Erziehung von Kindern, und bei der Versorgung mit den Mitteln des täglichen Bedarfs.

Die Arbeitsteilung, also die Tatsache, dass verschiedene Mitglieder einer sozialen Gruppe unterschiedliche Aufgaben übernehmen, wird seit Langem mit einem unterschiedlichen Erkrankungsrisiko in Verbindung gebracht. Eine häufige Annahme ist, dass die Arbeitsteilung dazu führt, dass manche Gruppenmitglieder eher Krankheitserregern ausgesetzt sind als andere. Es ist jedoch nicht einfach, diese Annahme experimentell zu testen, da häufig auch noch andere Faktoren, wie Ernährung, Alter und persönliche Anfälligkeit ebenfalls eine Rolle spielen.

Die klonale Räuberameise *Ooceraea biroi* gilt als Modell für Untersuchungen zu den Auswirkungen des Verhaltens von Individuen auf die soziale Organisation. Arbeiterinnen dieser Art haben keine Königin und vermehren sich asexuell über unbefruchtete Eier, die sich zu genetisch fast identischen Individuen entwickeln. Infolgedessen sind alle Mitglieder der Ameisenkolonie genetisch identisch und man kann gleich alte Kolonien unter exakt denselben Bedingungen beobachten – das ideale Modellsystem, um die Annahme zu testen.

Parasitische Fadenwürmer: Befall bei der Futtersuche

Als Krankheitserreger im Fokus waren parasitische Fadenwürmer, die eine bestimmte Drüse am Kopf der Ameisen befallen. Die Verhaltensuntersuchungen wurden mittels automatisierter Verhaltensverfolgung durchgeführt, die eine computergestützte Analyse des Verhaltens jeder einzelnen Ameise in einer Kolonie anhand von Videos ermöglicht. Dieses »Tracking« von Individuen erfolgt simultan in vielen Ameisenkolonien. Mit diesem ausgeklügelten System werden weit mehr Daten geliefert, als menschliche Beobachtungen und manuelle Auswertungen kreieren würden.

Fazit: Allein das individuelle Verhalten beeinflusst das Infektionsrisiko. So werden Ameisen, die mehr Zeit außerhalb des Nests verbringen, um beispielsweise Futter zu suchen, mit größerer Wahrscheinlichkeit infiziert als Individuen, die zwar den gleichen Genotyp und auch das gleiche Alter haben, aber mehr Zeit im Nest verbringen.

Die Infektion mit den Parasiten verringert die Überlebensrate der Ameisen deutlich. Infizierte Ameisen weisen veränderte Genexpressionsmuster auf. Gaschromatographische Analysen zeigen, dass sich das Duftprofil infizierter Ameisen verändert. Das Außenskelett der Ameisen ist von einer Wachsschicht aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen überzogen. Infektionen verändern die Mengenverteilung der kutikulären Kohlenwasserstoffklassen auf der Kutikula von klonalen Räuberameisen: Sowohl n-Alkane als auch methylverzweigte Alkane sind bei infizierten Individuen im Vergleich zu gesunden Tieren vermindert. Sie stehen unter Verdacht, mit der Austrocknungsresistenz und Kommunikation der Ameisen untereinander in Verbindung zu stehen.

Infektionen in der Kolonie verändern deren Verhalten

Die Verhaltensbeobachtungen ergaben auch ein überraschendes Ergebnis: Die Arbeitsteilung innerhalb der Kolonie hat nicht nur Auswirkungen auf das Infektionsrisiko einzelner Ameisen, sondern umgekehrt steuert eine Infektion das Verhalten der Tiere. Die infizierten Ameisen verbringen mehr Zeit im Nest. Aber auch die gesunden Nestgenossinnen bleiben zu Hause.

Die Anwesenheit von Infektionen reduziert nicht nur bei den unmittelbaren Wirten, sondern auch bei den nicht infizierten Ameisen die Aktivität außerhalb des Nests. Dies überrascht, da die Verhaltensänderungen nicht

direkt durch die Infektion ausgelöst werden – eine Erkenntnis, die neue Fragen aufwirft. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Parasiten die Verhaltensänderungen verursachen, um sich weiter vermehren zu können. Denn Parasitenerkrankungen führen dazu, dass gesunde und kranke Ameisen vermehrt im Nest zusammenkommen, was die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung erhöht. Möglicherweise spielt dabei auch der veränderte Geruch der infizierten Ameisen eine Rolle. Warum infizieren die Fadenwürmer diese eine Drüse im Kopf der Ameisen? Wie verändert sich die chemische Kommunikation, wenn einzelne Individuen infiziert sind? Nutzen die Veränderungen im Verhalten der Ameisen der eigenen Kolonie oder den Parasiten? Das sind weitere Fragen, die sich stellen.

Invasive Ameisen entziehen sich unseren Angriffen

Invasive Ameisen sind wirtschaftlich kostspielig und ökologisch verheerend, Ausrottungsversuche meist gescheitert. Ameisen können die umweltfreundlichste und wirksamste Bekämpfungsmethode – Giftköder – umgehen, indem sie diese schnell aufgeben, bevor sie getötet werden können. Die durch invasive Ameisen verursachten Kosten – Schätzungen belaufen sich auf 52 Milliarden US-Dollar – sind nicht gerade gering. Noch schlimmer sind aber vielleicht die ökologischen Kosten von Ameiseninvasion: Invasive Ameisen verdrängen die einheimischen Ameisen, destabilisieren die Ökosysteme und bringen sogar Wirbeltiere wie Seevögel an den Rand der Ausrottung. Viele Länder haben Millionen für Bekämpfungsmaßnahmen ausgegeben, aber zwei Drittel der Ausrottungsversuche sind gescheitert aus unterschiedlichsten Gründen. Letztlich weiß niemand wirklich, warum.

Forschende ließen Argentinische Ameisen (*Linepithema humile*) von zwei verschiedenen Nahrungsquellen fressen. Es kamen immer mehr Ameisen, bis schließlich Hunderte von Ameisen gefüttert wurden. Dann wurde eine der Nahrungsquellen gegen eine identische ausgetauscht, die ein Insektengift enthielt, das die Ameisen aber trotzdem sehr gerne fraßen. Innerhalb weniger Stunden begann die Zahl der Ameisen an der Giftnahrung zu sinken, bis nach sechs Stunden nur noch 20 Prozent übrig waren. Die Zahl der Ameisen auf dem nicht vergifteten Futter blieb jedoch hoch.

Dass der Rückgang der Ameisen am Futter darauf zurückzuführen ist, dass die Ameisen starben, ist unwahrscheinlich. Im Labor konnten die Amei-

sen das giftige Futter trinken und man beobachtete sie genau: Nur sehr wenige starben innerhalb von sechs Stunden. Die Ameisen wurden auch nicht satt – sonst würde auch die ungiftige Nahrungsquelle Ameisen verlieren. Die Ameisen lehnen das giftige Futter auch nicht wegen seines Geschmacks ab. Irgendwie erkannten sie das Futter als giftig und ließen es selektiv liegen, um den schädlichen Auswirkungen zu entgehen.

Es gelingt nur schwer, die invasiven Ameisen in Schach zu halten. Aber es könnte noch schlimmer sein: Der Rückgang von 80 Prozent, den wir feststellen, ist sehr ähnlich wie bei vielen anderen »erfolgreichen« Bekämpfungsmaßnahmen. Aber haben diese früheren Bekämpfungsmaßnahmen die Ameisen dann wirklich getötet, oder wurden sie ebenfalls umgangen? Vermutlich war es eine Mischung aus beidem.

Ameisen scheinen jedenfalls über clevere Methoden zu verfügen, um sich gegen natürliche Feinde und Krankheitserreger zu verteidigen. Es sieht so aus, als ob sie ihre »soziale Immunität« auch zur Verteidigung gegen unsere Köder einsetzen. Wie genau die Ameisen ihre Verteidigung erkennen und koordinieren ist die offene Frage.

Soziales Umfeld macht die Ameisenkönigin

Die Spezialisierung von Ameisenköniginnen auf die Eiablage ist umkehrbar. Sie wird durch die Anwesenheit von Arbeiterinnen ausgelöst und aufrechterhalten. Die Königinnen der sozialen Insekten, wie etwa von Ameisen, Bienen oder Wespen, gelten gemeinhin als Höhepunkt der Spezialisierung im Tierreich. Königinnen, so die verbreitete Ansicht, seien nur dazu da, Eier zu legen – und diese Eigenschaft sei angeboren und nicht von äußeren Faktoren beeinflusst. Doch in Ameisenstaaten scheint das soziale Umfeld eine entscheidende Rolle bei der Verhaltensspezialisierung von Ameisenköniginnen zu spielen. Die Spezialisierung der Königinnen unterliegt bei der Schwarzen Wegameise (*Lasius niger*) einer sozialen Kontrolle. Dieser Befund stellt das weithin akzeptierte Dogma infrage, wonach Insektenköniginnen praktisch als Eierlegemaschinen geboren werden.

Insektenstaat als Superorganismus

Soziale Insektenkolonien bestehen aus Königinnen, die die Fortpflanzung monopolisieren, und sterilen Arbeiterinnen, die alle nicht-reproduktive

Aufgaben übernehmen, wie beispielsweise die Versorgung von Eiern und Larven. Diese Ansicht wurde am Beispiel von Ameisenarten hinterfragt, bei denen die Königinnen neue Kolonien alleine und ohne die Hilfe von Arbeiterinnen gründen.

Interessanterweise sind die Gründungsköniginnen in dieser Lebensphase noch nicht in ihrem Verhalten spezialisiert. Sie müssen alle Aufgaben im Nest, wie auch die Brutpflege, selbst übernehmen, um die erste Generation an Arbeiterinnen erfolgreich großzuziehen. Die einheimische Schwarze Wegameise (*Lasius niger*) zeigt, welche eine zentrale Rolle das soziale Umfeld dabei spielt, die Verhaltensspezialisierung von Gründungsköniginnen auszubilden. Werden Arbeiterinnen zu den Nestern von Gründungsköniginnen hinzugegeben, unterdrückt dies die natürliche Veranlagung dieser Königinnen, sich um die Brut selbst zu kümmern. Werden umgekehrt aufs Eierlegen spezialisierte von ihren Arbeiterinnen isoliert, dann kehren sie schnell zu dem Brutpflegeverhalten von Gründungsköniginnen zurück – selbst nach vielen Jahren der Spezialisierung.

Das Verständnis von Insektengesellschaften und ihrer Arbeitsteilung wird neu überdacht, da ein solches Verhalten die weithin akzeptierte Vorstellung infrage stellt, dass soziale Insektenköniginnen von Natur aus spezialisierte Maschinen zur Eiablage sind. Stattdessen zeigt sich, dass die Anwesenheit von Arbeiterinnen die Spezialisierung der Königin auf die Eiablage nicht nur auslöst, sondern darüber hinaus diese Spezialisierung auch in etablierten Kolonien aktiv aufrechterhält. Dass die Spezialisierung der Königinnen einer sozialen Kontrolle unterliegt, könnte unser Verständnis darüber, wie Insektengesellschaften und ihre Arbeitsteilung funktionieren, verändern.

Blattschneiderameisen: Mit vollem Körpereinsatz

Bis zu drei Millionen Exemplare, etwa doppelt so viele Einwohner wie München – so groß kann eine einzige Kolonie von Blattschneiderameisen (*Atta sexdens*) werden. Um so viele Lebewesen gleichzeitig zu ernähren, haben die Tiere ein ausgeklügeltes System entwickelt: In ihren unterirdischen Nestern züchten sie Pilze, die sie als Futter in die Kolonie verteilen. Als Nährboden für das Pilzwachstum dient ein Gemisch aus kleingeschnittenen Blattstücken, die die Tiere von umliegenden Bäumen und Sträuchern gewinnen. Wie sie die korrekte Größe dieser Blattstücke bemessen, ist nun geklärt.



Bislang ging man davon aus, dass allein die Länge eines Tieres darüber bestimmt – dass also kleinere Ameisen einfach kleinere Stücke schneiden und größere große. Die Tiere nutzen aber nicht nur ihre Körperlänge als Werkzeug, sondern auch Hinterbeine und Kopf.

Zwei körpereigene Messsysteme ausschlaggebend

Forschende ließen Ameisen Kunstblätter aus Parafilm schneiden, einer weißlich durchscheinenden Folie. Dabei verhinderten sie zunächst den Kontakt der Hinterbeine zum Blattrand. Beim Schneidevorgang halten sich die Ameisen fast immer fest, sodass man zunächst davon ausging, dass die Position der Hinterbeine eine große Rolle für den Blattzuschnitt spielt. Zwar trennten die Ameisen in der Folge ihre Blattstücke tatsächlich unregelmäßiger ab, allerdings nur in geringem Umfang.

Erfolgreicher war der Fokus auf einen weiteren Körperteil: Ameisen winckeln beim Abtrennen von Blättern immer wieder ihre Köpfe ab – dort sitzen feine mechanosensorische Härchen. Wenn den Tieren zusätzlich zur fehlenden Hinterbein-Haltung diese Haare abrasiert wurden, verloren sie komplett die Kontrolle über den Schnittverlauf und die Fragmentgröße. Fazit: Blattschneiderameisen besitzen ein deutlich plastischeres Schneideverhalten als bislang angenommen. Die Bemessung der Größe von Blattfragmenten geht weit über die reine Körperlänge hinaus.

Dornröschenschlaf – Netzflüglerart nach 100 Jahren wiederentdeckt

Die auffällig grüne Florfliege (*Chrysoperla carnea*) ist vielen bekannt. Ihre Larven sind große Feinde der Blattläuse (Aphidoidea). Weniger bekannt ist die grazile Ameisenjungfer (Myrmeleontidae), mit deren Larven – den sogenannten Ameisenlöwen. Diese lauern in selbstgebauten Sandfällen. Nähert sich ein Beutetier, bewirft es der Ameisenlöwe mit Sand. Sie gehören zur Insektengruppe der Netzflügler. Weltweit gibt es circa 5.500 Arten, in Mitteleuropa circa 120.

Doch unter den Netzflüglern finden sich auch weniger bekannte Vertreter. Dazu gehört beispielsweise die Familie der Nevrothidae mit der Art *Nevrothus apatellus*. Im Jahr 1929 hat der damalige Kustos des Naturhistorischen Museums Wien, Dr. Hans Zerny, auf einer Reise nach Bosnien-

Herzegowina, Montenegro und Dalmatien ein einzelnes erwachsenes Männchen von *N. apatelios* für die Sammlung mitgebracht. Seit damals gab es keine belegte Sichtung mehr.

Im Jahre 2022 reisten erneut Museumsforscher in die Region, um sich im Rahmen der »Save the Blue Heart of Europe«-Kampagne mit 48 Forschenden aus sieben Ländern in der kleinen Stadt Ulog (Bosnien-Herzegowina) zu treffen und gemeinsam einen Beitrag zur Erhaltung des Neretva-Flusses zu leisten. Der Fluss ist 230 Kilometer lang, fließt durch Bosnien und Herzegowina, bevor er an der kroatischen Küste in die Adria mündet. In den Proben zur Charakterisierung dieses unberührten und stark bedrohten Flussökosystems fanden sich zwei Larven von *N. apatelios*, die das Vorkommen der Netzflüglerart in Bosnien und Herzegowina erstmals nach fast 100 Jahren bestätigen.

Deren Lebenszyklus ist amphibisch, teilt sich also auf Land und Wasser auf. Erwachsene Tiere leben in der Nähe von Gewässern auf überhängenden Ästen von Laubbäumen und in Büschen. Dort suchen sie nach ihrer Nahrung, den Ausscheidungen von Blattläusen – sogenanntem Honigtau. Sie werden selten gefangen und sind auch bei gezielter Suche schwer zu finden.

Als Larven leben sie im Wasser und sind räuberisch mit giftbewehrten Saugzangen. Sie sind sehr schlank und lang, haben lange Borsten und schlängeln sich blitzschnell vor- und rückwärts durch die Lücken zwischen Kies und grobem Sand auf der Suche nach Beutetieren. Was die Wassertemperatur betrifft, sind sie anspruchslos, nicht jedoch was die Gewässergüte angeht: Sie leben nur in sauberen, sauerstoffreichen Gewässern und sind daher ein guter Anzeiger für eine besonders hohe Wasserqualität.

Der Lebensraum, in dem die Larven der Nevorthidae vorkommen, ist auf ganzjährige, nicht austrocknende Fließgewässer mit von Kies geprägtem Flussbett, größeren Blöcken und grobem Sand in Gebieten mit intakter natürlicher Vegetation angewiesen.

Auf der Balkanhalbinsel gibt es solche Flüsse noch, die durch nahezu unberührte Landschaften fließen. Die Flüsse des Balkans sind jedoch in Gefahr, denn dort sind derzeit mehr als 3.500 Wasserkraftwerke geplant, deren Bau große Veränderungen und Lebensraumverluste für tierische Flussbewohner mit sich bringt. Der Fund der so seltenen *N. apatelios* Larven unterstreicht die Wichtigkeit, mit diesem kostbaren Naturerbe verantwortungsvoll umzugehen.

Wussten Sie, dass Bären im Winterschlaf keine Thrombose bekommen können, helle Städte die Augen von Vögeln schrumpfen lassen und das Hakenblatt bei Phosphormangel zum Fleischfresser wird? Orang-Utans leisten sogar medizinische Hilfe, indem sie Wunden mit dem Saft von Blättern behandeln, die uns aus der traditionellen Medizin bekannt sind. All dies sind faszinierende Phänomene, mit denen Wildtiere und Pflanzen ihr Überleben sichern – auch in einer sich rasch wandelnden Welt.

Wilhelm Irsch enthüllt in diesem Buch die neuesten Erkenntnisse der Wissenschaft über Flora und Fauna und taucht ein in die verborgenen Mechanismen der Natur, von denen wir Menschen noch vieles lernen können.

