

# Eine Maus beißt sich durch

Wo es Menschen gibt, leben auch Mäuse. Kaum ein Tier hat sich so gut an die von uns geschaffenen Lebensräume angepasst wie die Hausmaus. Für **Diethard Tautz** vom **Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie** in Plön lag es also nahe, die kleinen Nager als Modellsystem für die Arbeitsweise der Evolution zu erforschen.



TEXT CORNELIA STOLZE

**D**ie Mäuse am Max-Planck-Institut in Plön bewohnen ihr eigenes Haus: In 16 Zimmern können sie nach eigenem Gutdünken Familienverbände und Territorien bilden. Die Experimente, mit denen Tautz und seine Kollegen unter anderem Kommunikation, Verhaltensweisen und Partnerschaften der kleinen Nager studieren, dauern manchmal Monate. In dieser Zeit sind die Mäuse weitgehend sich selbst überlassen. Menschen betreten ihr Reich nur, um sauber zu machen und die Tiere mit Nahrung und Wasser zu versorgen.

Das Plöner Mäusehaus entspricht den Ansprüchen seiner Bewohner voll und ganz, denn Hausmäuse leben in der Natur in großen Familiengruppen, pflegen intensiven Körperkontakt und kommunizieren ausgiebig miteinander. Das bekannte Piepsen der Mäuse ist dabei nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Lautrepertoire der Nager. Der größte Teil der Kommunikation erfolgt im für menschliche Ohren nicht wahrnehmbaren Ultraschallbereich. Die

Laute sind zwar auch für die Mäuse selbst nur 30 bis 50 Zentimeter weit hörbar, sie transportieren jedoch hochkomplexe Botschaften.

Diethard Tautz und seine Kollegen haben die Erfahrung gemacht, dass Hausmäuse sich nur dann natürlich verhalten, wenn sie in einer vertrauten Umgebung leben und sich mit Artgenossen austauschen. Werden wild lebende Tiere gefangen, verlieren sie ihre vertraute Umgebung: Alles riecht und schmeckt anders, zudem können sie sich nicht mehr frei bewegen. Und am allerwichtigsten: Der Kontakt zur Familie fehlt – ein zentrales Element im Leben dieser äußerst sozialen Tiere.

### MODELL FÜR DIE EVOLUTION

Im Mäusehaus können die Mäuse ihr natürliches Verhaltensrepertoire dagegen voll ausleben. Nur so lässt sich die jüngste Evolution der Nager untersuchen, denn die Ergebnisse der Forschungen aus den vergangenen Jahren haben gezeigt, dass Unterschiede im Verhalten ein Schlüsselfaktor für die

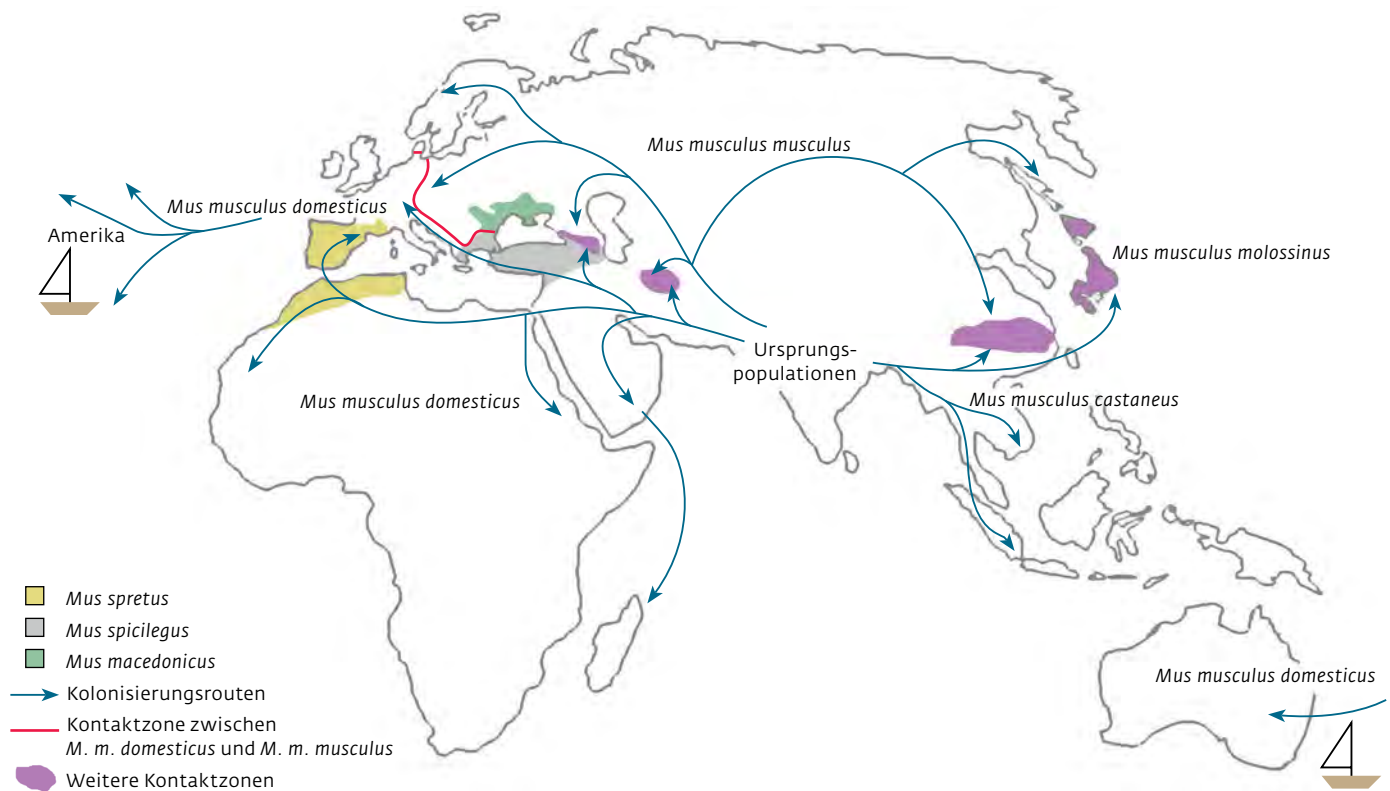
Entstehung neuer Arten sein können. Für Tautz ist die Hausmaus ein Modell für die Abläufe der Evolution: An kaum einer anderen Tierart lassen sich die genetischen Mechanismen der Evolution so gut untersuchen.

„Sie ist nicht nur extrem anpassungsfähig, wie ihre Ausbreitung rund um den Globus zeigt. Wir kennen auch ihr Erbgut so gut wie kaum ein anderes“, sagt Tautz. Schließlich züchten und untersuchen Wissenschaftler Mäuse seit mehr als hundert Jahren im Labor, untersuchen ihr Verhalten und entschlüsseln ihr Genom. Die heutigen Labormäuse stammen ursprünglich von der Hausmaus ab, besitzen aber im Vergleich zu ihren wilden Verwandten eine viel geringere genetische Vielfalt.

Die ersten Vorfahren der Hausmaus leben vor rund 500 000 Jahren in der Region des heutigen Iran, wo sie sich in Unterarten aufgespaltet haben. Als dort Menschen vor etwa 14 000 Jahren sesshaft werden und Landwirtschaft betreiben, beginnt für die Mäuse ein neues Zeitalter: Den Kornfeldern und Vorrats-

Während die Augen der Hausmaus (*Mus musculus*) eher schwach entwickelt sind, spielen Nase und Ohren für das Sozialleben der Nager eine große Rolle: Ihre Lautäußerungen sind dabei so komplex, dass die Tiere sogar „Dialekte“ entwickeln können. Solche regionalen Unterschiede beeinflussen, welche Fortpflanzungspartner die Mäuse wählen.





kammern der ersten Bauern können die Nager nicht widerstehen. Eine zuverlässigere und bequemere Nahrungsquelle lässt sich kaum denken.

Fortan erobert die Hausmaus im Schlepptau des Menschen die Welt. Sie folgt dabei verschiedenen Verbreitungsrouten: Die östliche Hausmaus (*Mus musculus musculus*) besiedelt Nordasien und Osteuropa und passt sich an das kontinentale Klima an. Die westliche Hausmaus (*Mus musculus domesticus*) gelangt mit phönizischen Handelsschiffen übers Mittelmeer nach Westeuropa mit seinem atlantischen Klima. Mit den ersten europäischen Seefahrern gelangt sie dann bis nach Amerika, Australien, Taiwan und selbst zu abgelegenen Archipelen wie den Färöer-Inseln.

Mit europäischen Walfängern dringt die Maus fast bis zur Antarktis vor, in Regionen, wo sie sich innerhalb kürzester Zeit auf Durchschnittstemperaturen von knapp unter fünf Grad Celsius einstellt. Um diese Vielfalt untersuchen zu können, leben am Plöner Max-Planck-

Institut mittlerweile Mäuse aus aller Welt: Neben Hausmäusen aus Deutschland und Frankreich auch Tiere von den Färöern, aus Spanien, Österreich, Kasachstan, Iran und sogar aus Taiwan.

### VOM VEGETARIER ZUM FLEISCHFRESSER

Wo es nötig war, hat die Hausmaus sogar ihren ursprünglich vegetarischen Speiseplan umgestellt. So ernähren sich die Nachfahren der ehemaligen Seefahrermäuse heute hauptsächlich von Insekten, Würmern und Larven. Auf Helgoland haben sie sich sogar an den Verzehr toter Seevögel gewöhnt. Die Flexibilität geht so weit, dass die Maus bei entsprechendem Nahrungsangebot nicht einmal direkten Zugang zu Wasser braucht.

Vor wenigen Jahren hat Diethard Tautz einen möglichen Schlüssel zum evolutionären Erfolg der Hausmaus entdeckt: Aus Teilen des Genoms können innerhalb kurzer Zeit neue funkti-

onsfähige Gene werden. Bisher gaben diese Erbgutabschnitte Rätsel auf, denn sie enthalten keine Informationen, die sich in funktionstüchtige Proteine übersetzen lassen. Bis zu 90 Prozent des Mausgenoms wurden deshalb als Junk(Schrott)-DNA eingestuft. Die Max-Planck-Arbeitsgruppe hat jedoch entdeckt, dass aus solchen ursprünglich funktionslosen DNA-Sequenzen neue Gene entstehen können. „Sie sind tatsächlich komplette Neuerfindungen – ein Phänomen, das man zuvor für unmöglich gehalten hatte“, erklärt der Evolutionsbiologe.

Durch genetische Analysen an mehreren Arten von Mäusen haben Tautz und seine Kollegen herausgefunden, dass nur ein geringer Prozentsatz der DNA in Proteine übersetzt wird. Trotzdem wird fast jeder DNA-Abschnitt in ein RNA-Molekül umgeschrieben und kann so ein Kandidat für ein neues Gen sein. Abgelesene, aber nicht in Proteine übersetzte DNA-Abschnitte werden daher auch Vorläufergene oder Protogene

**Linke Seite** Ursprung und Verbreitung der Hausmaus: Vor zwei Millionen Jahren haben sich ihre nächsten Verwandten *M. spretus* (gelb), *M. spicilegus* (grau) und *M. macedonicus* (grün) getrennt, ihre Verbreitungsgebiete überlappen sich heute in verschiedenen Regionen Europas. Vor einer halben Million Jahren haben sich dann im Bereich des heutigen Indien und Iran Unterarten der Hausmaus herausgebildet. Im Schlepptau der ersten Bauern breiteten sich die Nager nach und nach über den Globus aus: Die östliche Hausmaus (*M. m. musculus*) wanderte nach Nordasien und Osteuropa aus, die asiatische (*M. m. castaneus*) nach Ostasien und die westliche (*M. m. domesticus*) nach Westeuropa. Von dort besiedelte die westliche Hausmaus per Schiff schließlich alle übrigen Kontinente. In verschiedenen Regionen der Erde treffen die Unterarten wieder aufeinander und vermischen sich (lila). Ein Beispiel dafür ist eine enge Hybridzone in der Mitte Europas (rote Linie). In Japan ist durch Kontakt zwischen der östlichen und asiatischen Hausmaus eine neue Hybrid-Unterart entstanden, *M. m. molossinus*.

**Rechts** Diethard Tautz am Demonstrationsgehege im Besucherraum des Max-Planck-Instituts für Evolutionsbiologie. Hier leben Mäuse in einer abwechslungsreichen Umgebung unter beinahe natürlichen Bedingungen. Die eigentlichen Experimentalräume sind mit den gleichen Strukturelementen ausgestattet.

genannt. Ob sie zu Genen werden oder nicht, hängt von der Umwelt ab: Übernimmt ein RNA-Molekül eine wichtige Funktion, bleibt der codierende Abschnitt der DNA aktiv und erhalten. Findet das RNA-Molekül keine nützliche Aufgabe, wird der Abschnitt wieder zu nicht codierender DNA.

Aber auch durch einen zweiten Mechanismus entstehen neue Gene: Wenn durch einen Wechsel des DNA-Leserahmens aus einem ursprünglich nicht codierenden Abschnitt ein Gen für ein Protein wird. Ein Leserahmen umfasst drei aufeinanderfolgende Buchstaben des genetischen Alphabets. Jedes dieser Triplets steht für eine Aminosäure, in die der genetische Code übersetzt wird. Verschiebt sich dieser Leserahmen, entstehen neue Triplets, und die Buchstabenfolge kann in Aminosäuren übersetzt werden. Die Pioniere Wissenschaftler haben mehrere Gene identifiziert, die durch einen solchen Wechsel des Leserahmens überschrieben wurden. Ein Beispiel ist das soge-



Foto: Tom Pingel





Diethard Tautz und seine Mitarbeiterin Christine Pfeifle haben alle Vorbereitungen getroffen. Die Bewohner bleiben fortan über Monate hinweg ungestört, nur Kameras zeichnen ihr Verhalten auf. Die Räume sind mit Holzspänen zum Wühlen und Graben sowie Futterschalen und Wasserflaschen ausgestattet, die roten „Häuschen“ mit Zugangsröhren und abnehmbarem Deckel dienen als Nester. Je nach Experiment leben die Mäuse in unterschiedlich ausgestatteter Umgebung: In diesem wenig strukturierten Experimentalraum untersuchen die Forscher beispielsweise das Sozialverhalten und die Bildung von Territorien der besonders sozialen Art *Mus spicilegus*. Die Tiere haben sich gemeinsam in einer Ecke unter einem Haufen Einstreu ein Nest gebaut (hinten) und alle Futtermittel in der Mitte des Raumes zusammengetragen.

nannte *Hoxa9*-Gen – ein Gen, das die Embryonalentwicklung steuert. Dieses Gen nutzt bei Nagetieren und Primaten einen solchen zusätzlichen alternativen Leserahmen.

Die Forscher vermuten, dass sich Gene häufig neu bilden. Ihren Ergebnissen zufolge stammen nur etwa 60 Prozent der Mausgene aus der Frühphase der Evolution. Im Laufe der Zeit wird offenbar jeder Teil des Erbguts irgendwann einmal abgelesen und getestet, ob er als Gen taugt. „Die nicht codierenden Genomabschnitte sind somit ein Reservoir für neue Gene, die so zu einer schnellen Anpassung an neue Lebensräume beitragen können. Darin steckt ein enormes Potenzial für die Evolution, von dem wir zuvor nichts wussten“, sagt Tautz.

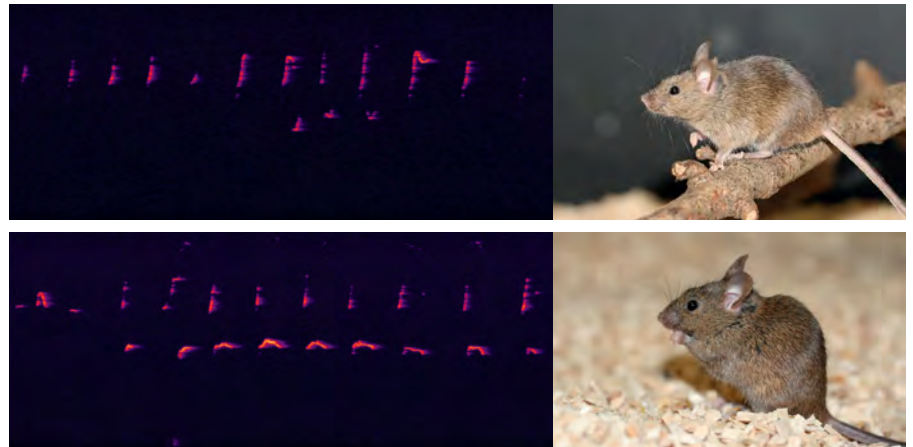
Die Studien am Max-Planck-Institut in Plön haben zudem gezeigt, dass die Entstehung neuer Gene unter bestimmten Umständen stark ansteigen kann. Besonders viele neue Gene kommen nach großen ökologischen Veränderungen hinzu: So sind etwa am Übergang zur Erdneuzeit nach dem Aussterben der Dinosaurier und in der jüngsten Entwicklungslinie zur Maus besonders viele Gene neu entstanden.

Auch immer dann, wenn die Hausmaus im Laufe der Evolution auf einen neuen Lebensraum traf, bildeten sich Populationen mit unterschiedlichen Eigenschaften heraus, die verschiedene ökologische Nischen besetzten – ein Radiation genanntes Phänomen. „Lange Zeit glaubte man, eine solche Anpassung an neue Lebensbedingungen sei ein sehr langsamer Prozess“, erklärt Tautz. „Neuere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass Tiere sich manchmal schon nach einigen Dutzend Generationen anpassen, Mäuse also innerhalb nur weniger Jahre.“

### INSEL-MÄUSE GEHEN EIGENE WEGE

Die Folgen der Radiation sowie die rasante Anpassung von Tieren an neue Verhältnisse können Tautz und seine Kollegen gleich an der Hausmaus an mehreren Stellen in Deutschland studieren, unter anderem auf Helgoland. Auf der 50 Kilometer vom Festland entfernten Nordseeinsel sind Hausmäuse erst vor wenigen Hundert Jahren an Bord von Schiffen angekommen. „Im Maßstab der Evolution entspricht das einem Wimpernschlag.“

Vergleich einiger Ultraschalllaute von Tieren derselben Unterart *M. m. domesticus* aus Frankreich (oben) und Deutschland (unten). Die Tiere kommunizieren mittels komplexer Silben, welche sich von Region zu Region unterscheiden können. Besonders viel kommunizieren Weibchen miteinander – vor allem, wenn sie unter sich sind. Im Kontakt mit Männchen verwenden die Weibchen weniger und andere Laute.



Trotzdem unterscheiden sich die Tiere bereits deutlich von den auf dem Festland lebenden Artgenossen“, sagt der Max-Planck-Forscher.

Die Evolutionsbiologen führen das unter anderem auf das unterschiedliche Nahrungsangebot zurück: Während sich Hausmäuse auf dem Festland überwiegend von pflanzlicher Kost ernähren, haben sich ihre Verwandten auf Helgoland notgedrungen an Fleisch gewöhnen müssen, denn Landwirtschaft gibt es auf der Insel nicht. Stattdessen fressen sie nun vermutlich verendete Seevögel; auf jeden Fall hat sich ihr Kauapparat in Richtung einer eher fleischfressenden Art entwickelt.

Mit den vom Festland ständig neu eingeschleppten Verwandten mischen sich die Helgoländer Mäuse fast gar nicht mehr. Es ist also nur eine Frage der Zeit, wann aus den Helgoländer Tieren eine eigene Art entsteht, denn wenn zwei Populationen keine Gene mehr austauschen, treten in den beiden Gruppen unterschiedliche Mutationen auf. In der Folge entwickeln sie sich auseinander. Eine solche geografische Isolation, verbunden mit neuen Anpassungen, gilt als einer der Mechanismen für die Entstehung neuer Arten.

Bereits weiter fortgeschritten ist diese sogenannte allopatrische Artbildung bei den östlichen und westlichen Unterarten *M. m. musculus* und *M. m. domesticus*. Noch gehören beide zu einer Art. Doch sowohl genetisch als auch in ihrem äußeren Erscheinungsbild sind sie gut unterscheidbar. Und auch fortpflanzen können sich die beiden Gruppen nur noch eingeschränkt. Dies lässt sich besonders gut an der Verbreitungsgrenze der beiden Unterarten entlang der Klimascheide zwischen atlantischem und kontinentalem Klima beobachten: In einem 40 Kilometer breiten Streifen entlang dieser Grenze überlappen sich die Verbreitungsgebiete in einer sogenannten Hybridzone. Hier kommen die Tiere miteinander in Kontakt und pflanzen sich regelmäßig fort.

Das Erbgut solcher Hybride besteht folglich aus dem der westlichen und der östlichen Unterart. Offenbar sind die Genome der beiden aber nur mehr begrenzt miteinander kompatibel, denn die Mischlinge leiden unter einem schwachen Immunsystem und werden häufiger von Parasiten befallen. Dies wirkt sich auch auf die Darmflora der Nager aus. So hat John Baines, Gastprofessor am Plöner Max-Planck-Institut,

die Artenvielfalt der Darmbakterien genetisch analysiert. Demnach besteht die Darmflora der Hybriden einerseits aus weniger Bakterienarten, gleichzeitig kommen die jeweiligen Arten auch unterschiedlich häufig vor. Eine Hybridmaus hat beispielsweise deutlich mehr *Helicobacter*-Bakterien als ihre reinrassigen Eltern. Diese Mikroben können beim Menschen Darmgeschwüre hervorrufen.

### IMMUNSYSTEM VERÄNDERT DARMFLORA

Die Erklärung der Wissenschaftler: verschiedene Varianten von Genen für das Immunsystem, folglich unterschiedliche Immunzellen. So haben die Hybridmäuse andere T-Zellen. Diese Immunzellen kommen auch im Darmgewebe vor und beeinträchtigen dort offenbar die Bakterien. Das ist anscheinend nicht zum Wohl der Mäuse, denn das Darmgewebe der Mischlinge ist häufiger entzündet als das der Elterntiere.

Außerdem ist bei Hybriden die Spermienreifung stark gestört, sie bringen folglich weniger Junge zur Welt. Leslie Turner und Bettina Harr, zwei ehemalige Mitarbeiterinnen von Tautz, haben





ein kompliziertes Geflecht aus Interaktionen verschiedener Genregionen aufgedeckt, das die Fortpflanzung zwischen den Hybriden im Laufe der Evolution unterbinden kann. Auf diese Weise verstärken sich die Unterschiede zwischen den Mausformen immer weiter, bis aus den zwei Unterarten vollständig getrennte Arten entstanden sind. Kreuzungen der beiden Unterarten können sich folglich in der Natur nicht dauerhaft durchsetzen. „Sind die Nachkommen einer Kreuzung weniger fit als ihre Eltern, driften die Populationen unweigerlich auseinander“, folgert Diethard Tautz.

Doch nicht nur körperliche Unterschiede führen zur Spaltung einer Art, häufig sind Differenzen im Verhalten der Ausgangspunkt für die Trennung: Aus einer bunt gemischten Gruppe, in der theoretisch alle Männchen und Weibchen gemeinsame Nachkommen zeugen können, entstehen auf diese Weise Populationen, die nicht mehr gut harmonieren – sei es, weil sich die Tiere gegenseitig nicht mehr attraktiv finden, eine Gruppe andere Nester baut oder die Weibchen zu unterschiedlichen Zeiten fruchtbar sind. Solche Verhaltensänderungen sind der

Hauptgrund für die beginnende Isolation einer oder mehrerer Gruppen innerhalb einer Population. Forscher sprechen in diesem Fall von sympatrischer Artbildung.

### GENE FÜR DIE PARTNERWAHL

Im Erbgut der Maus sind Tautz und sein Team vor Kurzem auf einen Komplex aus mehreren Genen gestoßen, der offenbar die Partnerwahl der Tiere maßgeblich beeinflusst. Diese sogenannte PWS-Region steuert gleich mehrere Verhaltensweisen und sorgt dafür, dass sich zwischen einzelnen Populationen unterschiedliche „Persönlichkeiten“ herausbilden. So haben die Forscher entdeckt, dass sich wild lebende westliche Hausmäuse aus Westdeutschland und Südfrankreich in ihrem Paarungsverhalten unterscheiden.

„Wenn wir Tiere aus der Gegend um Köln, also westlich der Hybridzone, mit Artgenossen aus dem französischen Zentralmassiv in unserem Mäusehaus zusammenbringen, paart sich anfangs jeder mit jedem“, sagt Tautz. „Doch bei den Nachkommen zeigt sich etwas Überraschendes: Die Mäuse mit einem deutschen und einem

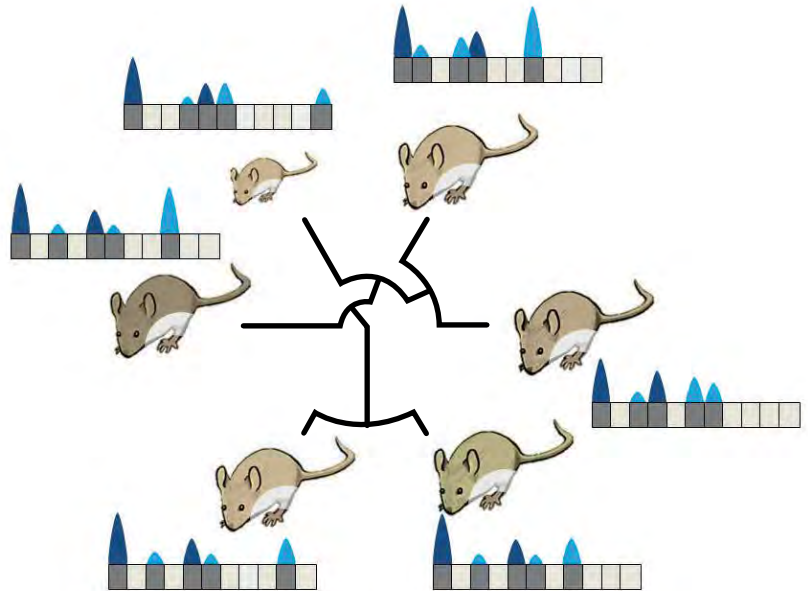
französischen Elternteil bevorzugen später selbst Partner mit dem Ursprung des Vaters.“

Noch ist unklar, was genau die Ursachen für derlei Präferenzen sind. Fest steht nur, dass bei Mäusen die Attraktivität des Gegenübers über Geruchsstoffe und Laute im Ultraschallbereich von 50 bis 70 Kilohertz vermittelt wird. „Ursprünglich haben wir vermutet, dass vor allem die Männchen über die Laute Paarungssignale vermitteln, ähnlich wie beim Gezwitscher von Singvögeln. Aber dann haben wir beobachtet, dass Weibchen viel mehr miteinander kommunizieren, insbesondere, wenn sie unter sich sind“, so Tautz.

Französische und deutsche Mäuse unterscheiden sich in ihren Lautäußerungen, sprechen also quasi verschiedene Sprachen – und das, obwohl sie zur selben Unterart gehören. Dies trägt zur Trennung der Populationen bei, aber die Suche nach der Ursache für die väterliche Präferenz geht noch weiter. Die deutsche und die französische Mauspopulation waren ganz offensichtlich lange genug räumlich voneinander getrennt, dass sich bereits erste Anzeichen für eine Auseinanderentwicklung innerhalb dieser Unterart zeigen.

**Linke Seite** Diethard Tautz (stehend), Johana Fajardo, Derek Caetano-Anolles, Chen Xie, Kristian Ullrich und Wenyu Zhang (im Uhrzeigersinn) diskutieren ihre Projekte.

**Rechts** Unterschiedlich stark aktive DNA-Abschnitte im Erbgut verschiedener Mäusearten (schwarze Linien geben Verwandtschaftsverhältnisse an): Dunkelgraue Kästchen stehen für Regionen, die in RNA-Moleküle übersetzt werden, die Höhe der darüberliegenden Dreiecke symbolisiert die Menge an gebildeter RNA. Während zehn Prozent des Erbguts in allen Tieren identisch genutzt werden (linkes Kästchen), werden sogenannte nicht codierende Abschnitte unterschiedlich stark abgelesen. Die dabei gebildeten RNA-Moleküle bleiben nur erhalten, wenn sie einen evolutionären Vorteil bieten. Dann können aus den Abschnitten neue Gene entstehen.



Darüber hinaus beschleunigt ein weiterer Aspekt des Sexualverhaltens die Artbildung: Mäuse haben zwar viele verschiedene Geschlechtspartner, die Forscher haben aber auch regelmäßig Fälle von Partnertreue und Inzucht gefunden. In den Verhaltensräumen bilden sich oft Großfamilien heraus, in denen Väter mit Töchtern und Mütter mit Söhnen Nachkommen zeugen. Das fördert die Bildung genetisch einheitlicher Gruppen und verstärkt somit den Artbildungsprozess. Diese natürlich vorkommende Inzucht ist auch der Grund, warum Mäuse sich so gut als genetisches und biomedizinisches Modellsystem eignen: Die dafür erforderlichen genetisch einheitlichen Inzuchtstämme lassen sich bei Mäusen besonders einfach aufbauen.

Die Arbeiten von Diethard Tautz und seinen Kollegen zeigen, dass Mäuse viel mehr sind als Schädlinge und Krankheitsüberträger. Ihre Ausbreitung über den Globus ist vielmehr ein Lehrstück dafür, wie sich Organismen an neue Lebensräume anpassen können. Die verschiedenen Hausmaus-Populationen auf der Erde stellen also Experimente der Evolution dar, aus denen eines Tages neue Arten hervorgehen könnten. ◀

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Neue Eigenschaften entstehen in der Evolution nicht nur durch die Abwandlung bestehender Gene. Es können auch komplett neue Gene aus zuvor nicht codierenden DNA-Abschnitten hervorgebracht werden. Dies geschieht vor allem dann, wenn es zu großen ökologischen Veränderungen kommt oder wenn Arten neue Lebensräume besiedeln.**
- **Populationen und Unterarten der Hausmaus haben sich als Kulturfolger des Menschen über die ganze Welt verbreitet und sich immer wieder neu angepasst. Sie stellen damit gewissermaßen ein natürliches Experiment der Evolution dar, anhand dessen sich die Entstehung neuer Arten untersuchen lässt.**
- **Unterschiede im Verhalten wie etwa bei der Partnerwahl und in der Entstehung von Sozialsystemen sind erste Schritte für die Spaltung in zwei getrennte Arten.**

### GLOSSAR

**Allopatrische Artbildung:** Dabei werden die Individuen einer Art durch äußere Einflüsse wie Gebirge oder Meeresarme voneinander getrennt. Die räumliche Isolation führt auf Dauer dazu, dass sich in den Teilpopulationen unterschiedliche Mutationen ansammeln und sich so genetische Unterschiede herausbilden. Die Tiere können sich nicht mehr erfolgreich miteinander fortpflanzen, und es entstehen zwei neue Arten. Spalten sich Arten ohne räumliche Trennung auf, spricht man von sympatrischer Artbildung.

**Radiation:** Auffächerung einer Organismengruppe oder Art in eine größere Zahl neuer Arten. Diese passen sich dabei an neue ökologische Nischen an und bilden so neue Eigenschaften. Die Anzahl neuer Arten kann dabei sprunghaft ansteigen, etwa wenn ein neuer Lebensraum besiedelt wird. Zerfällt dagegen ein ursprünglich zusammenhängender Lebensraum, kann dies ebenfalls die Entstehung neuer Arten auslösen – dies erfolgt aber kontinuierlicher über einen längeren Zeitraum. Auch wenn Konkurrenten wegfallen, können neue Arten die frei werdenden ökologischen Nischen übernehmen, wie dies beispielsweise die Säugetiere nach dem Aussterben der Dinosaurier getan haben. Eine erfolgreiche evolutionäre Innovation kann ebenfalls die Entstehung vieler neuer Arten zur Folge haben.