



# Warum Tiere auf Schwärme fliegen

In der Masse mitzuschwimmen, galt bis vor Kurzem als wenig erstrebenswert. Heute spricht jeder von der Schwarmintelligenz. Aber sind Schwärme wirklich schlauer als der Einzelne? Und nach welchen Regeln funktionieren sie, gibt es überhaupt Regeln? **Iain Couzin** vom **Max-Planck-Institut für Ornithologie** in Radolfzell bringt mithilfe des Computers Ordnung in das vermeintliche Chaos der Schwärme.

TEXT **KLAUS WILHELM**

**P**avian-Verbände sind an sich streng hierarchisch, mit einem Alphamännchen an der Spitze. Es scheint jedoch auch Ansätze von Demokratie zu geben – wenn die Tiere etwa auf Futtersuche sind. „In der Gruppe entscheiden selbst uninformierte Tiere mit, wo es Futter geben könnte und welchen Weg der Verband einschlagen wird. Das dominante Männchen hat möglicherweise einen Vorteil davon, denn so kann es bei der Futtersuche von den Entscheidungen der anderen profitieren“, sagt Iain Couzin, dessen Abteilung an der Universität Konstanz forscht.

An der Futterstelle ist das Alphamännchen allerdings wieder der unbestrittene Herrscher, und die übrigen

Gruppenmitglieder müssen mit dem vorliebnehmen, was es übrig lässt. „Obwohl die Tiere aus egoistischen Motiven heraus handeln, scheinen demokratische Prinzipien am Werk zu sein“, erklärt der Max-Planck-Wissenschaftler.

## **AUS KINDLICHER NEUGIER ZUM SPITZENFORSCHER**

Couzins Forscherherz schlägt höher, wenn er Geschichten wie diese erzählt. Er wirkt dann ein wenig wie ein Junge, der gerade dabei ist, die Welt zu entdecken. Dabei betreibt der Biologe seit zwei Jahrzehnten Spitzenforschung und macht regelmäßig verblüffende Entdeckungen. Seine Leidenschaft: Schwärme – die bezauberndste Form



In der Natur bilden Wanderheuschrecken Schwärme von mehr als einer Milliarde Individuen, wenn zu viele Tiere auf engem Raum leben. Iain Couzin möchte herausfinden, wodurch das Verhalten solcher Schwärme bestimmt wird. Seine Analysen haben ergeben, dass die Tiere Angst vor dem Gefressenwerden antreibt.

» Ein Fischschwarm ist ein sich selbst organisierendes System – Entscheidungen beruhen auf den Bewegungen der einzelnen Tiere.

des Kollektivs. „Die Schönheit der Schwärme hat mich bereits als Kind fasziniert“, erzählt der 42-jährige Schotte. „Ich wollte schon immer wissen, warum und wie sich Tiere in großen Scharen zusammenfinden.“

Die Weisheit der Schwärme ist heute sprichwörtlich. Noch vor 50 Jahren währten seriöse Wissenschaftler telepathische Kräfte am Werk, wenn etwa, wie von Zauberhand gesteuert, Tausende Fische gemeinsam ihre Bahnen ziehen. Selbst wenn ein Schwarm spontan die Richtung wechselt, bleibt die Ordnung erhalten, fast ohne Kollisionen. Die Tiere koordinieren ihre Bewegungen deutlich besser als Autofahrer im Straßenverkehr. Vögel und Insekten besitzen ähnliche Fähigkeiten.

Heuschrecken zum Beispiel: „Endlich haben wir wieder welche im Labor!“ Man merkt Couzin richtig an, wie sehr ihn das freut. Auf die Tiere musste er lange verzichten – zu lange für seinen Geschmack.

**AUF HEUSCHRECKENFANG IN DER SAHARA**

Dabei interessiert er sich für verschiedenste Verhaltensweisen. Das Schwarmverhalten der Insekten hat es ihm aber besonders angetan. Vielleicht auch, weil ihm Heuschrecken zu spannenden Forschungsergebnissen verholfen haben.

Dafür hätte er allerdings fast einen hohen Preis bezahlt: Als er vor Jahren in der Sahara wochenlang nach den le-

gendären Schwärmen der Tiere suchte, wäre er beinahe verhungert. „Ich habe halluziniert“, erinnert er sich, „und dachte, ich würde sterben.“ Am Ende blies ein Sandsturm alle Insekten weg, und Couzin verließ Afrika ohne Daten.

Angesichts dieser Erfahrung verlegte er sich darauf, die Insekten im Labor zu erforschen. Mit seinem Team errichtete er einen Rundkurs, auf dem sich die Heuschrecken nach Belieben bewegen konnten. Jeden Morgen entließen die Wissenschaftler bis zu 120 Tiere in den perfekt gesicherten Kurs. Regelmäßig waren dann bis zum Abend einige verschwunden.

„Tagelang ging das so. Ich fing schon an, an meinem Verstand zu zweifeln“, sagt Couzin. Bis er Videomitschnitte vom Geschehen in der Arena genauer betrachtete und entdeckte: Die Tiere fressen sich gegenseitig auf. Heuschrecken sind nämlich Kannibalen. Dabei hatten Fachleute sie für Vegetarier und kooperativ gehalten, wenn sie sich urplötzlich zu riesigen Schwärmen formieren und als eine der großen biblischen Plagen ganze Landstriche kahl fressen.

„Mit Kooperation hat ihr Verhalten aber nichts zu tun. Vielmehr werden sie von der Angst getrieben, von anderen Schwarmmitgliedern gefressen zu werden“, erklärt Couzin. Zusammen nämlich viele Insekten zusammen, finden sie nicht mehr genügend Nahrung. Deshalb beginnen sie, übereinander herzufallen. Jedes Tier versucht, seinen Vordermann anzuknab-



Couzin und sein Doktorand Jake Graving untersuchen das Schwarmverhalten von Heuschrecken im Labor. Dafür haben die Forscher eine ringförmige Bahn gebaut, aus der die Tiere nicht entweichen können.

Foto: Axel Griesch





Wie in einer Zoohandlung reiht sich im Fischkeller der Universität Konstanz Aquarium an Aquarium. Hier halten die Forscher vor allem Moderlieschen und Goldbrassen, um an ihnen das Schwarmverhalten von Fischen zu untersuchen.

bern und gleichzeitig nicht von hinten verspeist zu werden. Das Resultat ist eine kannibalistische Horde auf einem Gewaltmarsch.

Diese Entdeckung gilt in Fachkreisen als bahnbrechend. Iain Couzin und seine Kollegen haben weitere Hinweise für die Richtigkeit der Theorie gefunden, indem sie die Nerven im Hinterleib der Insekten durchtrennten. Dadurch spürten diese die Bisse von hinten nicht mehr. Schlagartig ging den Heuschrecken die Fähigkeit verloren, einen Schwarm zu bilden.

Später hat Couzins Team mithilfe einer Computersimulation herausgefunden, dass die Heuschrecken Gesetzmäßigkeiten aus der Teilchenphysik folgen. Die Tiere ähneln dabei einem „fließenden magnetischen System“. Ihre Körper richten sich aneinander fast wie kleine Magneten aus. Änderungen der Position und Orientierung eines „Teil-

chens“ können Positionsänderungen der Nachbarn nach sich ziehen. So synchronisieren sich die einzelnen Tiere eines Schwarms miteinander über Kilometer hinweg.

### ANALYSEN IN FREILAND, LABOR UND COMPUTER

Das Beispiel zeigt, wie unkonventionell Couzin an seine Studien herangeht: mit einem ganzheitlichen Ansatz, wenn man so will. Er analysiert das Verhalten der Tiere in der Wildnis, im Labor und in virtuellen Welten und gewinnt so umfassendere Erkenntnisse. Dazu braucht er Biologen, Informatiker, Physiker und Mathematiker. „Computerexperten und Biologen müssen wir dann beibringen, die gleiche Sprache zu sprechen“, sagt der Wissenschaftler.

Denn nur gemeinsam kann das Team beispielsweise Tierschwärme im

Rechner nachstellen. Solche Computermodelle verfolgen jedes Individuum eines Schwarms und rekonstruieren die Blickfelder der Tiere. Auf diese Weise wollen die Wissenschaftler die Regeln entschlüsseln, die den Schwarm zusammenhalten.

Neben den Heuschrecken fasziniert Couzin noch eine weitere schwarmbildende Organismengruppe: Fische. Die aus Nordamerika stammenden Goldbrassen etwa studiert er als sieben Zentimeter lange Jungfische. Im Hellen schwimmen sie im Schwarm; ist es dunkel, verharren sie regungslos. Im Kollektiv folgen sie festen Regeln: Sie suchen die Nähe von Artgenossen, ohne mit ihnen zusammenzustoßen. Ein Tier am Rand des Schwarms reagiert oft als Erstes auf einen Reiz und beeinflusst damit maßgeblich die Bewegung der ganzen Gruppe. Außerdem neigen die Fische dazu, sich der Mehrheit anzuschließen. >



Moderlieschen ziehen in riesigen Becken ihre Bahnen. Kameras zeichnen jede ihrer Bewegungen auf.

Schwimmen sechs Fische nach links und fünf nach rechts, entscheidet sich der Schwarm häufig für links.

Couzin hat mit seinen Computermodellen drei Faktoren identifiziert, die das Verhalten eines Fischschwarms kontrollieren: Anziehung, Abstoßung und Ausrichtung der Individuen. Lenken die Forscher beispielsweise einige virtuelle Individuen in ihrer Simulation ein wenig in eine Richtung, wird die Gruppe mit hoher Wahrscheinlichkeit folgen.

„Ein Fischschwarm ist also ein sich selbst organisierendes System. Entscheidungen beruhen auf den Bewegungen der einzelnen Tiere“, sagt Couzin. Wechseln diese die Richtung oder schwimmen sie plötzlich langsamer, reagieren die Nachbarn in den meisten Fällen. Die Summe der Positions- und Richtungsänderungen bestimmt letztlich, wohin sich der Schwarm bewegen wird. Die einzelnen Fische können auf diese Weise schnell ihr „Wissen“ miteinander tei-

len. Somit reagiert der Schwarm angemessener auf Umwelteinflüsse als jedes einzelne Individuum.

### **TAUSENDE LEBEWESEN VERSCHMELZEN ZUR EINHEIT**

Tatsächlich bildet sich in einem Schwarm so etwas wie ein kollektives Gehirn, das rasche Entscheidungen ermöglicht und Abertausende Lebewesen förmlich zu einer einzigen Einheit verschmelzen lässt. „Selbst komplexes Schwarmverhalten kann aus einfachen Wechselwirkungen zwischen den Individuen entstehen. Nicht einmal Signale müssen die Tiere explizit miteinander austauschen. Allein dadurch, dass sie auf die Bewegungen ihrer Nachbarn reagieren, ermöglichen sie eine passendere Reaktion der gesamten Gruppe“, erklärt Couzin.

Allerdings kann die Weisheit eines Schwarms abnehmen, wenn er zu groß wird, wie eine der jüngsten Analysen

des Max-Planck-Forschers vermuten lässt. Manchmal treffen kleine Gruppen klügere Entscheidungen. Das widerspricht der klassischen Lehrmeinung. Diese besagt, dass größere Gruppen bessere Entscheidungen treffen. „Demzufolge trifft jedes Individuum auf Basis derselben Kriterien seine Entscheidungen“, so Iain Couzin.

Doch derlei Voraussetzungen sind in der Realität kaum zu erfüllen. Benachbarte Individuen in einer Gruppe greifen normalerweise auf dieselben Sinneseindrücke zurück, diese sind also nicht unabhängig voneinander. Außerdem nutzen Tiere unterschiedliche Sinne für ihre Entscheidungsfindung. Couzin und sein Kollege Albert Kao konnten mit Computersimulationen nachweisen, dass die herkömmliche Sicht auf die Schwarmintelligenz unter realistischeren Bedingungen keinen Bestand hat. In den meisten Fällen haben die Forscher gefunden, dass kleine bis



**Rechts oben** Kamerabild eines Goldbrassen-Schwarms im Labor. Die Gesichtsfelder der einzelnen Fische sind hell hervorgehoben. Je mehr sie überlappen, desto heller erscheinen die Flächen. Das Bild zeigt, dass sich die Fische bevorzugt dort aufhalten, wo sich die Gesichtsfelder am stärksten überschneiden.

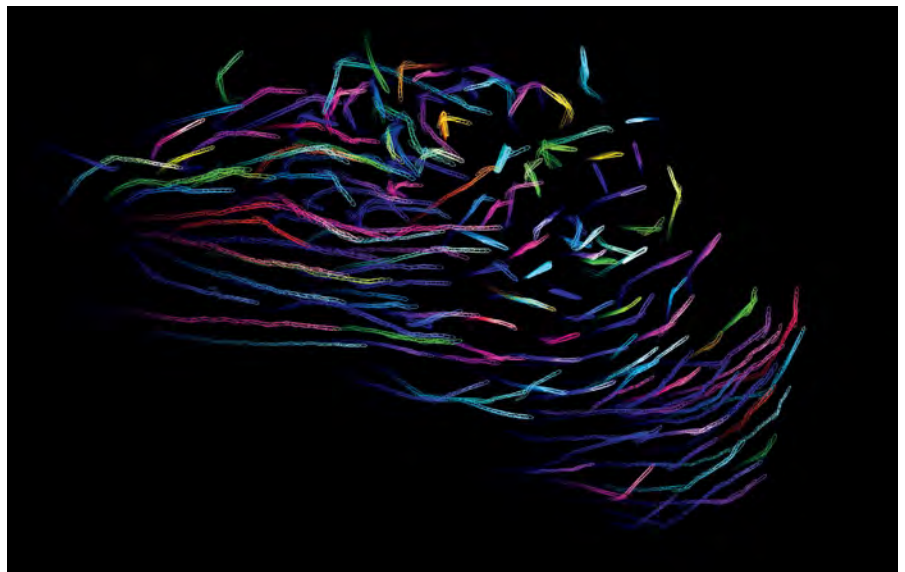
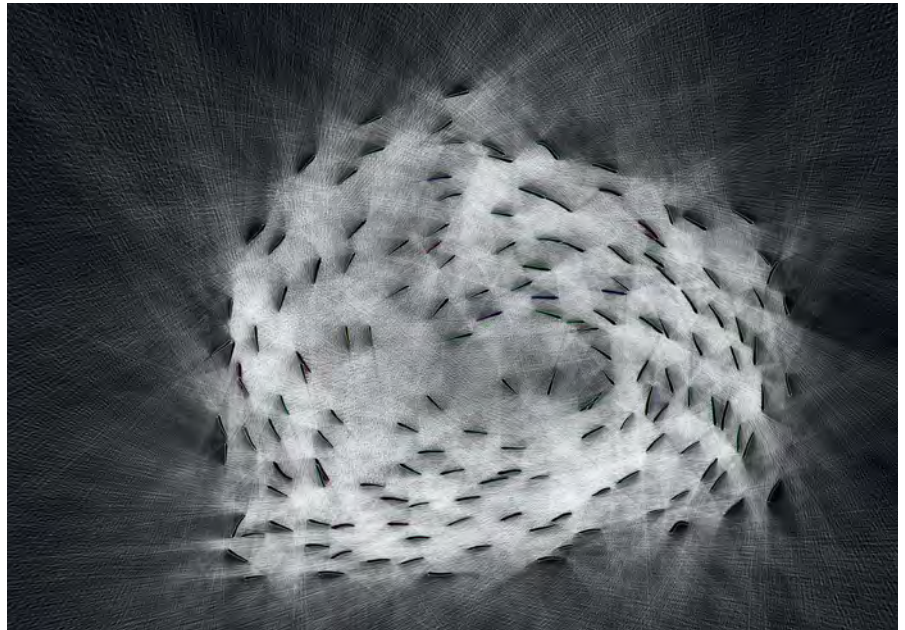
**Rechts unten** Schwimmbewegungen von Goldbrassen in einem Schwarm. Die Farben sollen die Individuen besser kenntlich machen.

mittlere Gruppen mit fünf bis 25 Mitgliedern am erfolgreichsten sind. „Je größer folglich eine Gruppe wird, desto schlechtere Entscheidungen scheint sie zu treffen“, fasst Couzin zusammen.

Aber gelten diese Gesetze nur in den egalitären Fisch- und Vogelschwärmen oder auch in Tiergruppen mit einer ausgeprägten Hierarchie wie den eingangs erwähnten Pavianen? Wie einigen sich die Tiere auf eine Richtung, wenn sie ihr Territorium durchstreifen? Diese Frage interessiert Couzin schon seit Jahren. Den Tieren auf ihren Streifzügen auf der Spur zu bleiben, ist jedoch eine gewaltige Herausforderung. Dazu sind sie im unwegsamen Gelände einfach zu flink unterwegs.

Als Iain Couzin im Jahr 2012 das Max-Planck-Institut in Radolfzell besuchte, hatte sein künftiger Kollege Martin Wikelski eine Lösung für das Problem parat. Wikelski entwickelt Sender, mit denen er die Bewegungen unterschiedlichster Tierarten aus der Ferne verfolgen kann. So hatte der Biologe auch 33 Paviane in Kenia mit GPS-Halsbändern ausgestattet. Im Sekundentakt speichern die Geräte Informationen über den Aufenthaltsort der Affen, die Wikelski dann am Computer auswertet. Sofort nachdem Couzin mit seiner Arbeitsgruppe von der Universität Princeton an den Bodensee umgezogen war, begann er, seine Modelle anhand der Daten der wilden Paviane zu testen.

Um die Fülle an GPS-Daten auswerten zu können, programmierten die Wissenschaftler eine neue Software,



welche die Bewegungen der Paviane im realen Leben berücksichtigt. Darüber hinaus beobachtete das Team die Tiere vor Ort in Kenia. Mit den Ergebnissen ihrer Feldstudien optimierten die Forscher die Software so, dass sie herausfinden können, warum sich die Paviane auf ihren Streifzügen für diesen oder jenen Pfad entscheiden.

„Wenn sich einzelne Tiere von der Gruppe entfernen, müssen die anderen wählen: folgen oder nicht folgen? Auf diese Weise äußern die Tiere ihre Meinung über den von ihnen bevorzugten Weg. Ziehen diese Tiere in verschiedene Richtungen, schließen sich die unentschiedenen Gruppenmitglieder meist der Mehrheit an“, erklärt Couzin. >

Für die gemeinsame Entscheidungsfindung spielt es den Ergebnissen zufolge keine Rolle, welchen Weg die dominanten Tiere gewählt haben. Sogar das

Alphamännchen akzeptiert die Entscheidung seiner Gefolgschaft und ordnet sich unter. Den unwissenden und unentschiedenen Gruppenmitgliedern

kommt dabei möglicherweise eine besonders wichtige Rolle zu: „Unsere Computermodelle zeigen, dass uninformierte Individuen kollektive Problemlösungen erleichtern und beschleunigen. Wenn dagegen viele Tiere eigene Vorstellungen über den richtigen Weg haben, dauert es länger, bis sich die Gruppe auf eine gemeinsame Richtung verständigen kann“, sagt Couzin.

## DER MENSCH ALS SENSOR

Von allen Arten, die Iain Couzin bisher untersucht hat, stellten sich die Bewegungen von Menschengruppen als am berechenbarsten heraus. Sein Team hat Bilderkennungssoftware entwickelt, die Bewegungen einzelner Menschen in der Menge verfolgen können. Sie erfassen, wohin die Individuen blicken und wie sie sich untereinander verhalten.

Die Software soll helfen, Katastrophen wie bei der Loveparade in Duisburg im Jahr 2010 zu vermeiden. Die Wissenschaftler können damit zum Beispiel nachvollziehen und simulieren, wie sich Menschenmengen in einer Straße fortbewegen. So lassen sich Gefahrenquellen beim Bau neuer Gebäude und Stadtviertel von Beginn an vermeiden.

In einer Studie hat Couzin Schauspieler angeheuert mit der Vorgabe, sich in einer Einkaufsstraße und einem großen Bahnhof auffällig zu benehmen. Er wollte wissen, wie die Passanten auf ungewöhnliches Verhalten Einzelner reagieren. Seine Analysen zeigen, dass sich aus den Blicken der Menschen wichtige Informationen herauslesen lassen. Denn Menschen erkennen auffälliges Verhalten, vielleicht weil sie es für eine potenzielle Gefahrenquelle halten. In den meisten Fällen schreiten sie aber nicht ein.

Couzin hat herausgefunden, dass sich Menschen mit ihrer Blickrichtung als Sensoren einsetzen lassen. Menschen in einer Menge folgen zudem den Blicken ihrer Nachbarn. Mit einer Software konnte er dieses Verhalten analysieren und Auffälligkeiten herausfiltern. Eine solche Technik könnte schon im Frühstadium nützliche Hinweise auf mögliche Gefahren liefern, noch bevor die Menschen selbst Alarm schlagen.



Mithilfe einer Software zur Bildanalyse lässt sich die Blickrichtung von Individuen in einer Menschenmenge erfassen und auswerten. Auffälliges Verhalten, das auf Gefahren hindeutet, kann so frühzeitig erkannt werden.

## ENTSCHEIDUNG FÜR DEN RICHTIGEN WEG

Aber was tun, wenn ein Patt zwischen den Meinungen herrscht? Wenn gleich viele Tiere nach links wie nach rechts wollen? Dann kommt es auf den Winkel dazwischen an: Bei weniger als 90 Grad entscheiden sich die nachfolgenden Affen für den Mittelweg, bei größeren Winkeln wählen sie mit hoher Wahrscheinlichkeit die Richtung aus, die die größere Teilgruppe bevorzugt.

„Genau das hatten wir mit unserem Modell für Fische vorausgesagt“, meint Iain Couzin. Ähnlich wie die Fische folgen also auch Affen dem Mehrheitsprinzip bei der kollektiven Entscheidungsfindung – offenbar eine Grundregel des Schwarmverhaltens über Artgrenzen hinweg.

Neuere Studien Couzins und seines Teams haben inzwischen ergeben, dass die Paviane auch die Beschaffenheit ihrer Umwelt in ihre Routenwahl einfließen lassen. Mithilfe einer Drohne nahmen die Forscher eine große Zahl von Luftaufnahmen vom Lebensraum der Tiere auf und rekonstruierten daraus eine detaillierte dreidimensionale Karte. Damit ließen sich die Richtungsentscheidungen der Affen nicht nur mit den sozialen Einflussfaktoren verknüpfen, sondern auch mit den Gegebenheiten der Umgebung.

Die Berechnungen zeigen, dass die Tiere von Menschen angelegten Straßen und zuweilen auch Trampelpfaden anderer Tiere folgen. „Dadurch können sie leichter und schneller zwischen Futter- und Schlafplätzen hin und her pendeln“, sagt Ariana Strandburg-Peshkin, eine ehemalige Doktorandin in Couzins





Paviane leben in hierarchischen Gruppen zusammen. Doch wichtige Entscheidungen werden nicht von den ranghöchsten Gruppenmitgliedern diktiert, sondern demokratisch beschlossen. Sind die Mitglieder geteilter Meinung über die einzuschlagende Route, schließen sich die unentschiedenen Affen der Mehrheit an – unabhängig davon, welche Richtung die dominanten Tiere gewählt haben.

von Gruppenverhalten sein. Wissenschaftler werden dann Tierschwärme in virtuellen holografischen 3D-Umgebungen beobachten und ihre Bewegungen exakt vermessen können. Eigens entwickelte Sender, Sensoren und Bildverarbeitung sollen es ermöglichen, Tausende von Individuen gleichzeitig in Echtzeit zu verfolgen.

Bereits heute schon in Betrieb sind fünf kleinere virtuelle Welten. Darin gaukeln die Forscher echten Fischschwärmen eine virtuelle Umgebung vor. Obwohl die Fische in leeren Becken schwimmen, sehen sie virtuelle Felsen, Wasserpflanzen und Räuber. Bald wird sich zeigen, ob sich die Fische in dieser Umgebung natürlich verhalten. „Das wird einzigartig“, sagt Couzin. Auch mit Heuschrecken will er dann wieder arbeiten. Dieses Mal allerdings ganz entspannt im beschaulichen Konstanz. ◀

Abteilung. Außerdem begrenzt etwa die Vegetation die Bewegungen der Tiere erheblich. In dicht bewachsenen Zonen verlangsamt sich die Gruppe, und die Affen passen ihre Richtungen weniger gut aneinander an.

Eine dritte Erkenntnis: Anstatt auf die Position der Gruppenmitglieder zu reagieren, beeinflussen die Pfade, die andere Paviane in den vergangenen fünf Minuten genutzt haben, den Marsch der Tiere. Paviane folgen also buchstäblich den Fußstapfen anderer. „Und je mehr Paviane in dieser Zeit einen bestimmten Punkt durchqueren, desto attraktiver wird er“, erklärt Strandburg-Peshkin. Hierin erinnern die Paviane an Ameisen, die Geruchsspuren erkennen, die Artgenossen auf ihren Wegen hinterlassen. Ob die Paviane ebenfalls solche Duftstoffe wahrnehmen oder die Pfade ihrer Vorgänger einfach nur beobachten und speichern, ist noch nicht ganz klar.

Heuschrecken, Fische, Paviane, Ameisen – Couzin hat unterschiedlichste Organismen unter die Lupe genommen. Immer wieder ist er auf ähnliche Gesetzmäßigkeiten gestoßen, die

das Gruppenleben bestimmen. Tief greifende neue Erkenntnisse erhofft er sich nun von einem Großprojekt, das er in Konstanz angestoßen hat: dem „Center for Visual Computing of Collectives“.

Das Zentrum soll in drei Jahren in Betrieb gehen und wird eine der modernsten Einrichtungen zur Erforschung

#### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Die Mitglieder eines Schwarms folgen oft simplen Regeln, wenn sie auf andere reagieren: Sie bewegen sich bevorzugt zu anderen hin und richten ihre Bewegungsrichtung an ihnen aus. Gleichzeitig halten sie einen Mindestabstand ein und vermeiden Zusammenstöße.
- Viele in Gruppen lebende Tiere folgen dem Mehrheitsprinzip: Die Mitglieder schlagen in der Regel die Richtung ein, in die sich die Mehrzahl der Nachbarn bewegt.
- Uninformierte oder unvoreingenommene Individuen beeinflussen maßgeblich die kollektive Entscheidungsfindung. Eine Gruppe kann auf diese Weise schnellere und manchmal auch bessere Entscheidungen treffen.

#### GLOSSAR

**Schwarmintelligenz:** Wenn Individuen ihre Fähigkeiten in ein Kollektiv einbringen, kann diese Gruppe dadurch Eigenschaften entwickeln, die keines der Individuen für sich besitzt. Dadurch wird die Gruppe als Ganzes leistungsfähiger. Aus einem solchen Verband kann dann eine Art Superorganismus entstehen. Beispiele für Schwarmintelligenz sind Ameisenstaaten oder auch das Internet.