



27.02.2025

Heuschrecken: Die Regeln des Schwarms neu geschrieben

Eine Studie im Wissenschaftsjournal *Science* zeigt: Klassische Modelle von kollektivem Verhalten können die Verhaltensmechanismen von Heuschreckenschwärmen nicht erklären – einem ökologischen Phänomen, das Millionen von Menschen weltweit beeinflusst. Die Forschungsergebnisse des Exzellenzclusters „Kollektives Verhalten“ der Universität Konstanz und des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie eröffnen eine neue Perspektive auf die kognitiven und sensorischen Mechanismen, die den Schwarmbewegungen zugrunde liegen. Die neuen Befunde stellen lang gehegte Überzeugungen aus dem Gebiet der Tierverhaltensforschung in Frage.

Als biblische Plage hat die Wüstenheuschrecke eine zweifelhafte Berühmtheit erlangt. Mit gewaltigen Schwärmen können diese Insekten eines der größten Tierkollektive unseres Planeten bilden. Die Lebensgrundlage von schätzungsweise jedem zehnten Menschen wird durch den Einfluss von Heuschreckenschwärmen auf die Ernährungssicherheit bedroht. Heuschrecken beginnen Schwärme zu bilden, wenn flugunfähige Jungtiere sich zusammenschließen und unisono losmarschieren. Um solche Insektenplagen unter Kontrolle zu halten und Schwarmbewegungen vorherzusagen, müssen wir verstehen, wie Heuschrecken ihre Bewegung im Schwarm koordinieren. Indem wir erforschen, wie die einzelnen Individuen des Schwarms miteinander interagieren, gewinnen wir zudem wichtige Erkenntnisse darüber, wie kollektive Bewegungen bei Tierarten im Allgemeinen entstehen.

Seit Jahrzehnten wird ein Prinzip, das aus der theoretischen Physik entlehnt ist, als Modell für die kollektive Bewegung von Tieren herangezogen. Die Individuen werden darin als „self-propelled particles“, also „selbst-angetriebene Teilchen“ verstanden. Ähnlich wie bei den Teilchen eines physikalischen Systems (wie z. B. einem Magneten) geht die Hypothese davon aus, dass Tiere ihre Positionen und Bewegungsrichtungen aktiv aneinander ausrichten. Anders als bei Magneten sind diese „Teilchen“ jedoch konstant in Bewegung. Die theoretischen Modelle haben gezeigt: Es reicht bereits aus, wenn Individuen sich nur jeweils mit ihren direkten Nachbarn „in Reih und Glied bringen“, um über den Schwarm hinweg eine großflächige, kohärente Bewegung zu bewirken, in der eine große Zahl an Individuen in dieselbe Richtung marschiert.

Gemäß dieser Hypothese stellt ferner die Dichte zwischen den Tieren einen bestimmenden Faktor für den Übergang von nicht-kohärenter Bewegung (wenn Individuen sich in zufällige Richtungen bewegen) zu einer großflächigen, kohärenten Schwarmbewegung dar. Wenn genügend Tiere auf einem bestimmten Raum zusammenkämen, trete laut der Vorhersagen ein spontaner Übergang von ungeordneten Bewegungen zu einer geordneten Schwarmbewegung ein. Diese Vorhersage wurde später

durch Laborexperimente mit großen Heuschreckengruppen scheinbar bestätigt, was die Behauptungen dieser klassischen Modelle untermauerte.

Überprüfung einer lang-gegläubten Hypothese

Mittels einer Kombination aus Feldforschung (während einer Heuschreckenplage in Ost-Afrika im Jahr 2020), Laborstudien, Virtual-Reality-Experimenten mit Heuschrecken und einer Neubewertung bestehender Daten fanden Forschende des Exzellenzclusters „Kollektives Verhalten“ der Universität Konstanz nun heraus, dass die Verhaltensmechanismen hinter der kollektiven Bewegung von Heuschreckenschwärmen nicht durch diese klassischen Modelle erklärt werden können. Ihre Forschungsergebnisse stellen die etablierten Ansichten in Frage, wie kollektive Bewegung in Tierschwärmen entsteht.

„Es ist bekanntermaßen schwierig, die Mechanismen der Interaktion in mobilen Tiergruppen zu erkennen“, schildert Iain Couzin, Hauptautor der Studie. „Die Individuen beeinflussen sich gegenseitig und werden zugleich durch das Verhalten der anderen beeinflusst, in einem komplexen Wechselspiel.“ Um diese Herausforderung zu überwinden, brachte das Team eine immersive, dreidimensionale virtuelle Realität für Heuschrecken zum Einsatz. Anhand dieser konnte es erforschen, wie frei bewegliche Heuschrecken mit einem computergenerierten, „holografischen“ virtuellen Schwarm interagieren. „Dieser Ansatz ermöglichte es uns, Hypothesen über das Verhalten der Schwärme auf eine Art und Weise zu überprüfen, wie es in natürlichen Schwärmen nicht möglich wäre“, erläutert Erstautor Sercan Sayin.

Virtual Reality bietet den Forschenden einen entscheidenden Vorteil: Durch die präzise Kontrolle der visuellen Informationen, welche die Heuschrecken erhalten, können sie feststellen, wie Sinneseindrücke in Bewegungsentscheidungen umgesetzt werden. Im Widerspruch zu früheren Annahmen fanden sie heraus, dass die sogenannte „optomotorische Reaktion“ – ein angeborener Reflex, der Heuschrecken (und viele andere Arten auch) den Sinneseindrücken von Bewegung folgen lässt – nicht die Ursache für koordinierte kollektive Bewegung ist. Tatsächlich fanden sie keine Hinweise darauf, dass Heuschrecken ihre Position und Bewegungsrichtung überhaupt anhand ihrer Nachbarn ausrichten.

So wurden beispielsweise Heuschrecken in einem Virtual Reality-Experiment zwischen zwei virtuellen Schwärmen platziert – einer zu ihrer Linken, einer zu ihrer Rechten –, wobei sich beide in dieselbe Richtung bewegen. Klassische Modelle hätten unter diesen Voraussetzungen vorhergesagt, dass die Heuschrecke sich „mit dem Strom“ mitbewegen würde. Bei dem Experiment stellte sich jedoch heraus, dass die Heuschrecken sich hingegen frontal einem der beiden Schwärme zuwenden und auf ihn zulaufen (anstatt der Bewegungsrichtung der Schwärme zu folgen).

Darüber hinaus fanden die Forschenden heraus, dass die Gruppenformation der Heuschrecken nicht einfach ein Effekt steigender Dichte ist, wie zuvor vermutet wurde. Die gemeinsame Ausrichtung des Heuschreckenschwarms entsteht stattdessen in Reaktion auf kohärente visuelle Sinneseindrücke und ist beinahe gänzlich unabhängig von Dichte. „Es kommt wirklich auf die Qualität der Information an, nicht auf die Quantität“, schildert Sayin. Eine erneute Analyse zahlreicher früherer Laborexperimente, die zunächst für einen dichte-abhängigen Übergang zu kollektiver Bewegung sprachen, bestätigte dieses Ergebnis – ein weiterer Widerspruch zu früheren Annahmen über die Verhaltensmechanismen von Heuschreckenschwärmen.

Kollektives Verhalten neu gedacht

Um die Ergebnisse zu deuten, musste das Forschungsteam die Erklärungsmodelle von kollektivem Verhalten von Grund auf neu denken. „Heuschrecken verhalten sich nicht wie einfache Teilchen, die sich aneinander ausrichten“, unterstreicht Couzin. „Wir müssen sie als kognitive, handelnde Subjekte betrachten, die ihre Umgebung beobachten und auf dieser Grundlage ihre Entscheidungen treffen, wohin sie sich als nächstes begeben.“

Das Forschungsteam entwickelte zur Erklärung ein einfaches kognitives Modell, basierend auf der Neurobiologie. Es beruht auf den neuronalen Schaltkreisen, die Tiere für die räumliche Navigation verwenden – auch als „Ringattraktor“ bezeichnet. In diesem Modell verwenden die Tiere zur Peilung eine einfache neurale Repräsentation der Position benachbarter Tiere, aber nicht von deren Körperausrichtung oder Bewegungsrichtung. Bewegungsentscheidungen entstehen in einem dynamischen Prozess, in dem die einzelnen neuronalen Repräsentationen – basierend auf ihrer relativen Positionierung

zueinander – miteinander konkurrieren oder zusammenfließen, wodurch schließlich ein Konsens erzielt wird, der über die Bewegungsrichtung entscheidet. „Unser Modell basiert auf bekannten neurobiologischen Prinzipien“, schildert Sayin, „und wir haben festgestellt, dass es sämtliche unserer experimentellen Schlüsselergebnisse erklären kann.“

Die im Wissenschaftsjournal *Science* publizierte Studie bedeutet nichts weniger als einen Paradigmenwechsel in der Schwarmforschung. Mit neuen Erkenntnissen über die Ursachen des Schwarmverhaltens von Heuschrecken könnte die Konstanzer Forschung wichtige Beiträge dazu leisten, verbesserte Strategien zur Eindämmung von Heuschreckenschwärmen zu entwickeln, zum Beispiel durch die effektive Vorhersage von Schwarmbewegungen.

Auch über Heuschrecken hinaus liefern die Forschungsergebnisse wichtige Anstöße, zum Beispiel für ein besseres Verständnis, wie andere Arten ihre Bewegungen koordinieren, aber auch für die Robotik, Künstliche Intelligenz und die Erforschung von Schwarmintelligenz. So könnten zum Beispiel die Schwarmrobotik und selbstfahrende Fahrzeuge von Algorithmen profitieren, die von den hocheffizienten kognitiven Strategien der Heuschrecken inspiriert wurden.

Faktenübersicht

- **Originalpublikation:** Sercan Sayin, Einat Couzin-Fuchs, Inga Petelski, Yannick Günzel, Mohammad Salahshour, Chi-Yu Lee, Jacob M. Graving, Liang Li, Oliver Deussen, Gregory A. Sword & Iain D. Couzin, The behavioral mechanisms governing collective motion in swarming locusts, *Science***387**,995-1000(2025).
DOI:[10.1126/science.adq7832](https://doi.org/10.1126/science.adq7832)
Link: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adq7832>
- Ein Forschungsprojekt des Exzellenzclusters „Kollektives Verhalten“ der Universität Konstanz und des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie (MPI-AB)
- Iain D. Couzin ist Sprecher des Exzellenzclusters „Kollektives Verhalten“, Professor für Biodiversität und Kollektives Verhalten an der Universität Konstanz sowie Direktor des Max-Planck-Instituts für Verhaltensbiologie (MPI-AB).
- Sercan Sayin ist PostDoc am Exzellenzcluster „Kollektives Verhalten“ der Universität Konstanz.
- **Kontakt zum Forschungsteam:** Prof. Iain D Couzin, icouzin@about.mpg.de, sowie Dr. Sercan Sayin, sercan.sayin@uni-konstanz.de

Hinweis an die Redaktionen:

Ein **Video** ist verfügbar unter:

<https://youtu.be/oBJnY4HKmeY>

Fotos stehen zum Download bereit:

- 1) https://www.uni-konstanz.de/fileadmin/pi/filesserver/2025_extra/scientists_rewrite_1.jpeg
- 2) https://www.uni-konstanz.de/fileadmin/pi/filesserver/2025_extra/scientists_rewrite_2.jpeg
- 3) https://www.uni-konstanz.de/fileadmin/pi/filesserver/2025_extra/scientists_rewrite_3.jpg

Bildunterschrift: Heuschreckenplage in Ostafrika

Copyright: Einat Couzin-Fuchs, Inga Petelski, Yannick Günzel, Felix B. Oberhauser

- 4) https://www.uni-konstanz.de/fileadmin/pi/filesserver/2025_extra/scientists_rewrite_4.jpg

Bildunterschrift: Studie mit Heuschrecken im Imaging Hangar der Universität Konstanz

Copyright: Christian Ziegler, Max Planck Institute of Animal Behavior (MPI-AB)

Kontakt:

Universität Konstanz

Kommunikation und Marketing

Telefon: + 49 7531 88-3603

E-Mail: kum@uni-konstanz.de

- uni.kn

—

—