



Presseinformation Nr. 78/2026

18.08.2026

Was Schwarmroboter von Bienen über Konsensfindung lernen können

Forschende unter Leitung des Konstanzer Informatikers Andreagiovanni Reina konnten nachweisen, dass eine einfache Interaktionsregel Roboterschwärmen ermöglicht, selbst bei fehlerhaften oder manipulierten Informationen klare kollektive Entscheidungen zu treffen. Bemerkenswerterweise findet sich dieselbe grundlegende Entscheidungslogik auch in einer Vielzahl biologischer Systeme.

Ob Rettungsmissionen in Katastrophengebieten, die Erstreaktion bei Chemieunfällen oder die Überwachung empfindlicher Ökosysteme: Roboterschwärme könnten künftig überall dort eingesetzt werden, wo der Mensch nur eingeschränkt oder unter Gefahr Zugang hat. Um selbständig handeln zu können, müssen Roboter gemeinsam entscheiden können, welches Problem sie angehen und wohin sie sich als nächstes bewegen sollen. Doch kollektive Entscheidungsfindung birgt auch eigene Risiken: Zwar verbessern Roboter ihre Entscheidungen, wenn sie untereinander Informationen austauschen, fehlerhafte Modelle, ungenaue Beobachtungen oder manipulierte Nachrichten können jedoch den gesamten Schwarm in die Irre führen.

Ein internationales Forschungsteam unter Leitung des Informatikers Andreagiovanni Reina von der Universität Konstanz konnte nun nachweisen, dass eine einfache, von der Natur inspirierte Regel Roboterschwärmen helfen kann, schnell zu einem eindeutigen Konsens zu gelangen – selbst dann, wenn ein Teil der in der Gruppe verbreiteten Informationen unzuverlässig ist. Die in [Nature Communications](#) veröffentlichte Studie legt nahe, dass diese erstaunlich weitverbreitete Interaktionsregel Roboterschwärme weniger anfällig für störungsbehaftete Kommunikation machen könnte, die für reale Anwendungsszenarien typisch ist.

Die Meinung kopieren oder lieber kurz innehalten?

Im Detail verglichen die Forschenden zwei einfache Möglichkeiten, wie ein Roboter

reagieren kann, wenn er Informationen erhält, die der eigenen Meinung widersprechen. Nach der ersten Regel, dem sogenannten „Direct Switch“, gibt der Roboter seine eigene Meinung sofort auf und übernimmt die neu empfangenen Informationen. Der Vorteil: Das erfordert nur sehr wenig Speicher- und Rechenleistung. Dafür können widersprüchliche oder ungenaue Botschaften dazu führen, dass der Schwarm als Ganzes ständig die Meinung wechselt, ohne dass sich je eine klare Mehrheit herauskristallisiert.

Die zweite, als „Cross-Inhibition“ bezeichnete Regel führt einen kurzen, aber wichtigen Zwischenschritt ein. „Entscheidend ist ein Moment der Unentschlossenheit. Eine Information, die der eigenen Meinung widerspricht, wird nicht direkt kopiert. Stattdessen hält der Roboter inne und nimmt kurzzeitig eine neutrale Haltung ein, bevor neue Informationen angenommen werden“, erklärt Reina. In der Natur findet sich diese Regel unter anderem bei Bienenvölkern auf der Suche nach einem neuen Nest: Bienen, die einen bestimmten Standort bevorzugen, können andere Bienen, die konkurrierende Standorte bewerben, über ein Stoppsignal zum Innehalten bewegen. „Dieses einfache Verhalten verhindert, dass die Kolonie dauerhaft zwischen mehreren Optionen hin- und herschwankt. Stattdessen kommt sie zu einer Einigung – und das Prinzip funktioniert ebenso gut bei Robotern.“

Wenn einige wenige Roboter den Schwarm in die Irre führen

Die Forschenden untersuchten unterschiedliche Gründe, die dazu führen können, dass die dem Roboterschwarm zur Verfügung stehenden Informationen unzuverlässig werden. So befürworteten einige Roboter beispielsweise stur nur eine einzige Option und ignorieren jegliche Informationen, die gegen diese sprechen. Andere verlassen sich gelegentlich lieber auf ihre eigenen eingeschränkten Beobachtungen statt auf Informationen aus der Gruppe. Zusätzlich können Nachrichten beim Austausch zwischen einzelnen Robotern durch technische Störungen oder gezielte Manipulationen von außen verfälscht werden.

„Wir alle kennen Situationen, in denen eine kleine, aber beharrliche Minderheit einen großen Einfluss auf die Entscheidung der ganzen Gruppe hat“, so Reina. „Solche Effekte treten in menschlichen Gesellschaften, Tiergruppen und künstlichen Systemen gleichermaßen auf. Bei Roboterschwärmen kann die Ursache ein fehlerhaft arbeitender Roboter, unvollständige Sensordaten oder ein Cyberangriff sein.“ Die Studie zeigte, dass die Direct-Switch-Strategie unter solchen Störeinflüssen häufig nur zu knappen Mehrheiten oder zu langanhaltender Unentschlossenheit innerhalb des Schwarms führt. Die Cross-Inhibition hingegen ermöglichte es dem Schwarm meist, klarere und schnellere Entscheidungen zu treffen. Dieser Vorteil blieb sogar dann bestehen, wenn die Roboter zwischen mehr als zwei Alternativen wählen mussten oder die Schwarmgröße zunahm.

Eines der überraschendsten Ergebnisse war, dass ein begrenztes Maß an Störungen die Genauigkeit der Cross-Inhibition mitunter sogar verbessern konnte. So verhinderte eine moderate Menge an unzuverlässigen Informationen, dass sich der Schwarm vorschnell auf die schlechtere von zwei Optionen festlegte, und die Wahrscheinlichkeit, die richtige Entscheidung zu treffen, stieg. „Das bedeutet, dass robuste kollektive Systeme nicht zwangsläufig jede einzelne Störquelle beseitigen müssen. Unter den richtigen Bedingungen können Unvollkommenheiten dem Schwarm sogar helfen, eine schlechte Entscheidung zu vermeiden.“

Die gleiche Lösung bei Zellen, Gehirnen und Bienenvölkern

In der Natur ist Cross-Inhibition nicht nur bei Bienenvölkern zu finden. Ähnliche Muster hemmender Interaktion finden sich auf ganz unterschiedlichen Organisationsebenen – von neuronalen Netzwerken bis hin zu den molekularen Netzwerken, die den Zellzyklus steuern. Trotz ihrer Unterschiede folgen all diese Systeme derselben „Winner-takes-all“-Logik: Konkurrierende Alternativen unterdrücken sich gegenseitig, bis sich ein eindeutiges Ergebnis durchsetzt. „Wenn dasselbe Muster auf so unterschiedlichen Ebenen auftritt, könnte dies auf ein sehr leistungsfähiges allgemeines Prinzip hinweisen, mit dem konkurrierende Signale in eine klare Entscheidung überführt werden. Und genau dieses Prinzip können wir nutzen, um bessere Roboterschwärme zu entwickeln“, so Reina.

Die Studie schlägt somit eine Brücke zwischen der Biologie und den Ingenieurwissenschaften, von der beide Bereiche gleichermaßen profitieren: Natürliche Systeme dienen als Vorbild für die Entwicklung robuster autonomer Roboter, während mathematische Analysen und Robotik-Experimente Forschenden helfen können, besser zu verstehen, warum ähnliche Entscheidungsmechanismen in der Natur immer wieder auftreten. Künftigen Roboterschwärmen könnten diese von der Natur inspirierten Mechanismen beispielsweise dabei helfen, schnell zu entscheiden, welcher Teil eines Katastrophengebiets vorrangig durchsucht werden sollte, welche Umweltgefahr eine dringende Reaktion erfordert oder wo begrenzte Ressourcen am sinnvollsten eingesetzt werden können.

Faktenübersicht:

- **Originalpublikation:** R. Zakir, T. Carletti, M. Dorigo & A. Reina (2026) Bio-inspired decision making in robot swarms under biases. Nature Communications; DOI: [10.1038/s41467-026-76408-4](https://doi.org/10.1038/s41467-026-76408-4)
 - Andreagiovanni Reina ist Arbeitsgruppenleiter am Centre for the Advanced Study of Collective Behaviour der Universität Konstanz. In seiner interdisziplinären Forschung untersucht er, wie große Gruppen autonomer Roboter mithilfe minimalistischer Algorithmen eigenständig Entscheidungen treffen können.
 - Das [Centre for the Advanced Study of Collective Behaviour](#) an der Universität Konstanz ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum, das die Prinzipien kollektiven Verhaltens bei Tieren und anderen Systemen untersucht.
 - Die Studie wurde in Zusammenarbeit mit Forschenden von IRIDIA, einem Institut für interdisziplinäre Forschung zur Künstlichen Intelligenz der Université libre de Bruxelles (Belgien), sowie von naXys, dem Namur Institute for Complex Systems (Belgien), durchgeführt.
 - **Förderung:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und belgischer Nationalfonds für Wissenschaftliche Forschung (F.R.S.-FNRS)
-

Hinweis an die Redaktion:

Bildmaterial kann im Folgenden heruntergeladen werden.

Bild 1: https://www.uni-konstanz.de/fileadmin/pi/filesserver/2026_extra/was_schwarmroboter_von_bienen_lernen_koennen_1.jpg

Bild 2: https://www.uni-konstanz.de/fileadmin/pi/filesserver/2026_extra/was_schwarmroboter_von_bienen_lernen_koennen_2.jpg

Bildunterschrift: Ein Schwarm aus 50 „Kilobots“ wählt als Kollektiv zwischen roten und blauen Feldern. Die Experimente mit echten Robotern bestätigten die theoretischen Vorhersagen der Studie – trotz der begrenzten Sensorik, Speicherkapazität und Kommunikationsmöglichkeiten der Roboter. Bei unzuverlässiger Informationslage half die von Bienen inspirierte Cross-Inhibition dem Schwarm, einen Konsens zu finden.

Copyright: Raina Zakir, IRIDIA, ULB

Kontakt:

Universität Konstanz
Kommunikation und Marketing
Telefon: + 49 7531 88-3603
E-Mail: kum@uni-konstanz.de

- [uni.kn](https://www.uni-konstanz.de)