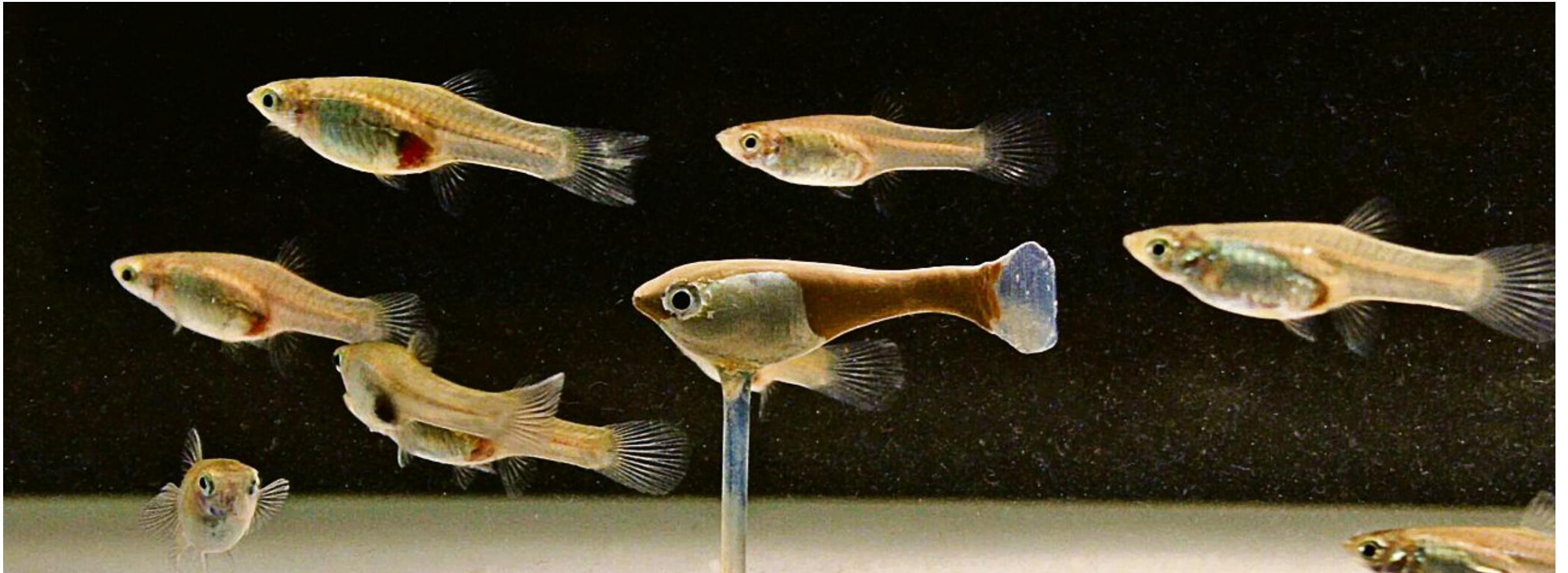


Wissenschaft



Berliner Forscher entwickelten einen Robofisch, um das Schwarmverhalten von Tieren im Wasser zu erforschen.

DAVID BIERBACH

Synchronschwimmen

Berliner Forscher ergründen die Regeln des Schwarmverhaltens. Dies könnte einmal beim Betrieb autonomer Autos oder Drohnen nutzen

KERSTIN VIERING

Auf den ersten Blick sieht der Insasse des Aquariums aus wie ein gewöhnlicher Guppy: ein kleiner, beigefarbener Fisch mit hellem Bauch und großen, runden Augen. Allerdings ist sein Körper mit einer Art Stiel auf einer kleinen Platte befestigt. Und dieses Detail entlarvt den Wasserbewohner als Kunstwerk aus Menschenhand. Denn dieser Fuß ist über einen Magneten mit einem fahrbaren Roboter unterhalb des Wasserbeckens verbunden.

„Der funktioniert im Prinzip wie ein ferngesteuertes Auto“, sagt David Bierbach, der an der Humboldt-Universität und am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin forscht. Über eine Computersoftware können er und seine Kollegen jede Bewegung dieses Robofisches kontrollieren – und ihn so als technischen Spion in die Welt der echten Guppys einschleusen. Dort soll er helfen, die Geheimnisse des Schwarmverhaltens zu lüften.

Dieses komplexe Phänomen fasziniert Menschen schon lange. Wie schaffen es Hunderte von Staren, sich zu dunklen Wolken zusammenzuballen und in spektakulären Mustern über den Himmel zu wirbeln? Und wie kann ein Heringsschwarm so plötzlich die Richtung ändern, um wie von Geisterhand gesteuert einem angreifenden Schwertwal auszuweichen? Die Regie, die hinter diesen eindrucksvollen Vorstellungen steckt, haben Fachleute noch längst nicht bis ins Detail verstanden. Denn die Regeln des Schwarms sind schwer zu entschlüsseln, wenn

man ihn nur von außen beobachten kann.

Viel aufschlussreicher ist es da, ein künstliches Mitglied einzuschleusen, dessen Verhalten man genau kontrollieren kann. „Wir sehen dann, wie die echten Fische darauf reagieren und können so unsere Theorien zum Schwarmverhalten überprüfen“, erklärt David Bierbach. „Es ist, als würde man ein Computermodell in die reale Welt übertragen.“ Damit das klappt, müssen die echten Tiere den Neuling in ihrer Mitte allerdings auch akzeptieren. Und das zu erreichen, hat die Schöpfer des Robofisches einige Tüftelei gekostet.

Ein Team aus Biologen des IGB, Roboteringenieuren der Freien Universität und Physikern der Humboldt-Universität zu Berlin arbeitet schon seit zehn Jahren an dem Projekt und hat den technischen Forschungshelfer mit der Zeit immer weiter verbessert. So wurde rasch klar, dass Guppys bei ihren Gefährten durchaus auf Äußerlichkeiten achten. Deshalb ähnelt der im Becken schwimmende Gummi-Fisch in Form und Farbgebung den lebenden Vorbildern – und kann problemlos ausgetauscht werden, wenn man andere Fischarten untersuchen will. Noch besser werden die technischen Spione akzeptiert, seit die Forscher ihnen Glasaugen aufgeklebt haben, wie man sie sonst für Teddybären verwendet.

Doch auch eine möglichst naturgetreue Bewegung ist wichtig. Wie ein echter Fisch, der bei jedem Flossenschlag beschleunigt, dann wieder langsamer wird und erneut Tempo aufnimmt, muss also auch das technische Pendant im Stop-and-go-Modus schwimmen. Und dann gilt

es auch noch, individuelle Eigenarten der einzelnen Fische zu berücksichtigen. „Scheueren Tieren sollte sich der Roboter langsamer nähern“, erläutert der Berliner Forscher.

Für die neueste Generation des Robofisches ist das alles kein Problem mehr. Die Forscher können ihn entweder über einen Joystick steuern. Oder sie geben im Computer bestimmte Regeln vor, nach denen er sich bewegen soll. Die dazu nötigen Befehle werden dann über WLAN an den Roboter übertragen. Dann wird

„Wie kann ein Heringsschwarm so plötzlich die Richtung ändern, um einem angreifenden Schwertwal auszuweichen? Die Regie, die dahinter steckt, haben Fachleute noch längst nicht bis ins Detail verstanden.“

der Schwarm-Spion sogar interaktiv und kann auf die lebenden Fische in Echtzeit reagieren.

Man kann zum Beispiel festlegen, dass der Roboter immer einen bestimmten Abstand zu seinen Schwarmgefährten halten soll. Mit der über dem Becken angebrachten Videokamera scannt er dann seine Umgebung, eine Software erkennt automatisch, wo sich dort die echten Fische aufhalten. Entsprechend berechnet der Computer dann, ob gerade Beschleunigen oder Abbremsen angesagt ist.

Dank dieser ausgefeilten Technik hat der kleine Spion inzwischen

schon etliche neue Details aus der Guppy-Welt ans Licht gebracht. Zum Beispiel, was die Erfolgsgeschichte ihres Führungspersonals angeht. „Schon länger ist bekannt, dass die Anführer eines Schwarms wechseln können“, sagt David Bierbach. Mal schwimmt die ganze Gruppe einem Artgenossen hinterher, der Futter gefunden hat. Mal übernimmt derjenige die Führung, der einen Feind entdeckt hat. Allerdings folgen die Tiere keineswegs jedem Mochtegen-Leitfisch gleich gut

und bereitwillig. Worauf also kommt es an?

Um das herauszufinden, haben die Forscher einzelne Merkmale ihres technischen Helfers verändert und den Rest gleich gelassen. So kam heraus, dass Guppys größeren Artgenossen deutlich lieber folgen als kleineren – und das völlig unabhängig vom Verhalten der Anführer. Das könnte damit zusammenhängen, dass bei Fischen die Größe auf ein höheres Alter und damit auf mehr Erfahrung hindeuten kann. Auch ein hohes Schwimmtempo ist von Vorteil, wenn man die Führung übernehmen will.

Allerdings genügt es nicht, wenn einer vorweg schwimmt und alle anderen folgen. „Dadurch bewegt sich ein Schwarm noch nicht wirklich synchron“, sagt David Bierbach. Abrupte Richtungswechsel zum Beispiel können eigentlich nicht funktionieren, wenn jeder nur auf das Verhalten seiner Mitschwimmer reagiert. In so einem Fall wären immer leicht verzögerte Reaktionen zu beobachten und keine fast synchronen Bewegungen. Einer Theorie zufolge sollten die Tiere also vorhersehen können, was ihre Artgenossen gleich vorhaben. Genau das will das Berliner Team demnächst testen: Werden die Guppys beispielsweise lernen, dass ihr technischer Anführer alle fünf Sekunden links abbiegt und das dann in vorausweisendem Gehorsam genauso machen?

Die Ergebnisse solcher Experimente sind nicht nur für Biologen interessant. Im Exzellenzcluster Science of Intelligence der TU Berlin und der Humboldt-Universität beschäftigen sich David Bierbach und seine Kollegen auch mit technischen Fragen der kollektiven Intelligenz: Wie lassen sich die Bewegungen von selbstfahrenden Autos so koordinieren, dass der Verkehr möglichst sicher und effektiv fließt? Wie können Schwärme von Robotern oder Drohnen gemeinsam Probleme lösen? Und kann man Roboter konstruieren, die eigenständig Entscheidungen treffen und beispielsweise von der Feuerwehr beim Erkunden gefährlicher Situationen eingesetzt werden könnten? „Eventuell kann das alles nach ganz ähnlichen Prinzipien funktionieren, wie sie die Natur in Tierschwärmen bereits perfektioniert hat“, hofft David Bierbach. Vo-

raussetzung sei allerdings, diese Regeln erst einmal genau zu verstehen.

Genau dieser Herausforderung stellen sich auch andere Roboterfachleute rund um die Welt. Und nicht alle orientieren sich dabei an schwimmenden Vorbildern. Ein Team der Freien Universität Brüssel, der ETH Zürich und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne schickt beispielsweise eine künstliche Kakerlake ins Rennen. Und obwohl die ihren natürlichen Vorbildern nicht besonders ähnlich sieht, wird sie von Artgenossen problemlos akzeptiert und kann deren Verhalten beeinflussen. In diesem Fall besteht der Trick nicht in schimmernden Glasaugen, sondern im kakerlakentypischen Geruch des Roboters: Ein Stück Filterpapier mit einem Cocktail aus Sexuallockstoffen überzeugt die Insekten offenbar davon, dass sie es mit einem Artgenossen zu tun haben.

Nun hätte das Tierreich sicher sympathischere Vorbilder zu bieten als ausgerechnet Küchenschaben. Doch gerade auf diese Insekten setzen Ingenieure einige Hoffnungen. Nach ihrem Vorbild versuchen sie, kleine, flinke und wendige Roboter zu konstruieren, die auch in schmale Ritzen kriechen können. Zum Einsatz kommen könnten sie zum Beispiel beim Erkunden von eingestürzten Gebäuden. Und gerade bei solchen Aufgaben kann auch die erstaunliche Robustheit von Kakerlaken ein nützliches Talent sein. Tatsächlich hat die University of California bereits einen Schaben-Roboter entwickelt, auf dem man herumtrampeln kann, ohne dass er kaputtgeht. Er läuft einfach weiter.

Transplantierte Darmbakterien

Das Mikrobiom wirkt auf viele Körperbereiche ein. Forscher loten aus, ob die Übertragung von Fremdstuhl Verfallsprozesse aufhalten kann

WIBKE SCHUMACHER

Die Transplantation von Kot jüngerer Artgenossen kann zumindest bei Mäusen bestimmte Alterserscheinungen abmildern. Das schreiben Marcus Boehme und sein Team vom University College Cork in der Fachzeitschrift Nature Aging. Sie sammelten Stuhlproben von jungen gesunden Mäusen und verabreichten diese älteren Tieren. Die transplantierten Darmbakterien führten zu einer Art Verjüngung des Immunsystems. Behandelte Tiere waren außerdem lernfähiger und hatten ein besseres Langzeitgedächtnis.

Die Alterserscheinungen des menschlichen Körpers sind vielfältig: Das körpereigene Immunsystem wird schlechter, es kommt zu Infektionen und Zellen teilen sich weniger häufig. Auch das Mikrobiom des Darms, das aus Billionen von Mikroorganismen besteht, altert. Dass die Besiedelung des Magen-Darm-Trakts mit einem gesunden Altwerden des zentralen Nervensystems zusammenhängt, zeigen die Ergebnisse der Arbeitsgruppe aus Irland.

Die Forscher verglichen junge Mäuse im Alter von etwa vier Monaten mit älteren Mäusen im Alter von etwa 20 Monaten. Der untersuchte

Stuhl der beiden Gruppen zeigte signifikante Unterschiede in der Art der gefundenen Bakterien und deren Zusammensetzung. Um zu untersuchen, inwieweit sich das beeinflussen lässt, erhielten die älteren Mäuse über einen Zeitraum von mehreren Wochen Stuhlproben ihrer jüngeren Artgenossen. Diese wurden über eine Magensonde direkt in den Magen-Darm-Trakt verabreicht.

Nach vier Wochen Behandlung hatte sich die Zusammensetzung der Darmbakterien im Stuhl der älteren Mäuse geändert. In bestimmten Lymphknoten sahen die Wissenschaftler weniger Entzündungsaktivität. Die Bedeutung der Stuhl-

transplantation geht jedoch über den Magen-Darm-Trakt hinaus. Die Idee: Die Darmkeime der Mäuse setzen Stoffwechselprodukte frei, die über das Blut auch ins Gehirn gelangen können.

Die Forscher konnten in Verhaltenstests tatsächliche Effekte messen. Die behandelten älteren Mäuse waren weniger ängstlich, interessierter und besser lernfähig als Vergleichstiere. Nach vorherigem Training retteten sie sich beispielsweise beim Schwimmen schneller auf eine sichere Plattform, an die sie sich erinnerten.

Um die Mechanismen dieser Beobachtungen zu erforschen, kon-

zentrierten sich die Wissenschaftler auf den Hippocampus der Mäuse. Dieser Teil des Gehirns ist unter anderem für den Transfer von Gelemtum aus dem Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis zuständig. Boehme und Kollegen schreiben, dass die Stuhltransplantation bestimmte altersbedingte Effekte in diesem Teil des Gehirns rückgängig machen könne. Die Tiere wären dann im Alter potenziell besser dazu in der Lage, sich untereinander zu vernetzen und kognitiv bessere Leistungen zu erbringen. Die Ergebnisse liefern Anhaltspunkte für weitere Forschung und könnten ein Ansatz sein bei bestimmten Alterskrankheiten.

Ist das Mikrobiom also der Schlüssel zu mehr Gesundheit im Alter? Noch sind nicht alle Fragen beantwortet. Unklar bleibt, welcher spezifische Mechanismus den Beobachtungen zugrunde liegt und ob die Ergebnisse auf den Menschen übertragen werden können. In der Vergangenheit wurde kritisch beobachtet, dass eine Stuhltransplantation von Mensch zu Mensch zu schwerwiegenden Entzündungen führen kann. In Deutschland wird der Mikrobiomtransfer zur Behandlung schwerer Durchfallerkrankungen durch das Bakterium Clostridium difficile durchgeführt. (dpa)