



# Schwarm- intelligenz: gemeinsam...

Junge Honigbienen verwenden einfache Verhaltensmuster, um sich im Kollektiv „intelligent“ zu verhalten. Diese Schwarm-Intelligenz kann auf autonome Roboter übertragen werden. Ein Forscherteam der Universität Graz versucht, mehr Licht ins Dunkel des Schwarmverhaltens zu bringen.

# ...statt einsam

**H**onigbienen kontrollieren das Innenklima ihrer Bienenstöcke präzise. Vor allem das Brutnest wird auf konstant hoher Temperatur (~36°C) gehalten. Dies ermöglicht es, dass Bienenlarven zu den am schnellsten wachsenden Organismen im Tierreich gehören. Innerhalb von fünf Tagen vertausendfachen sie ihr Gewicht und so ist es möglich, dass in einer Bienenkolonie in einer Woche bis zu 15.000 Jungbienen heranwachsen. Diese enorme Brutproduktion wird erst durch die Wärmeregulierung der Bienen möglich und sie lässt Ko-

lonien so groß wachsen, dass Honigbienen die bedeutendsten Bestäuber des Tierreichs darstellen.

Junge, frisch geschlüpfte Bienen bleiben zunächst im Brutnest. Dort sammeln sie sich zu Gruppen (Aggregationen). Die Forschungen unseres Labors haben gezeigt, dass diese Aggregationen durch sogenannte „Selbst-Organisation“ entstehen und das Produkt einfacher Verhaltensregeln sind: In der Gruppe können Bienen ihre Position im Temperaturfeld viel genauer wählen als Einzelbienen und als Gruppe reagieren sie auch auf Änderungen der Umwelt, die durch einige Einzelbienen immer wieder neu sondiert wird.

**IN DER „BIENENARENA“.** Im Bienenstock sind die Temperaturzonen räumlich komplex ausgeprägt, daher wollen wir beobachten, wie sich die Bienen in unterschiedlichen Temperaturzonen verhalten. In unserem Labor (Artificial Life Lab) wurde dazu ein vollautomatischer Versuchsaufbau (Arena) entwickelt, der es erlaubt, komplexe Temperaturgradienten herzustellen.

In dieser Arena ist es möglich, die Tiere bei völliger Dunkelheit zu beobachten und die Temperatur an jeder Stelle zu jedem Zeitpunkt zu ermitteln. Dadurch können Verhaltensänderungen, die sich aus Temperaturunter-

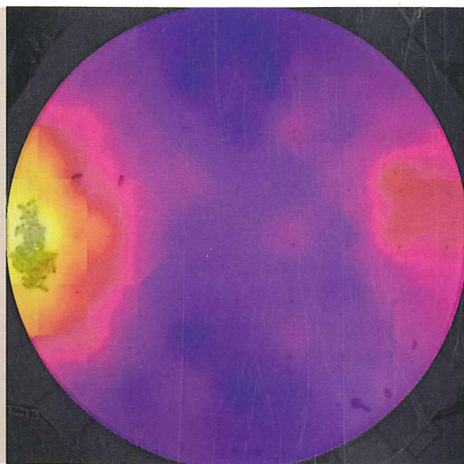


Abb. 1: **BIENENARENA:** Entstandene Bienenaggregation in unterschiedlichen Temperaturzonen. Die Bienen haben sich kollektiv für den optimalen Bereich für den optimalen Bereich bei 36° C (gelb) entschieden. Einzelne Bienen bewegen sich noch zufällig durch die Arena.



schutzbu...ter www.biologiezentrum.at



© AMZ-Konrad Unterrainer

## WISSENSCHAFT

Bild Mitte:  
Ein Schwarm  
der Dunklen  
Honigbiene

schieden ergeben, erkannt und untersucht werden. In unserer Arena mit einem Temperaturgradienten von 30-36°C können einige hundert Bienen parallel beobachtet werden. So kann man nicht nur das Verhalten einer einzelnen Biene, sondern auch die Interaktion der Biene mit Artgenossen und das daraus erwachsende Gruppenverhalten untersuchen: Dazu werden sowohl einzelne Bienen als auch Bienengruppen im kältesten Bereich der Arena ausgesetzt. Dabei zeigt sich, dass sich nur wenige Einzelbienen zu Orten ihrer bevorzugten Temperatur (36°C) begeben, während Gruppen von Bienen sich dort rasch versammeln. Wir untersuchen dieses Gruppenverhalten auch in komplexeren Gradienten. Dabei zeigt sich, dass Jungbienen sich auch dann im optimalen Temperaturbereich sammeln, wenn eine zweite (suboptimale) Wärmezone mit 32°C angeboten wird (Abb. 1). Die Bienen reagieren auch gemeinsam flexibel auf Veränderungen der Umwelt, indem sie sich als gesamte Gruppen neu orientieren: Verschiebt man die Wärmezonen, so sammeln sie sich nach einiger Zeit wieder in der Zone, die ihrer Vorzugstemperatur am nächsten kommt.

Unsere Forschung zeigt, dass die soziale Komponente einen großen Einfluss auf die Gruppenentscheidungen hat: Einige Jungbienen werden dazu in einen Käfig im 32°C-Bereich gesetzt. Die freien Bienen in der Arena lassen sich durch die Bienen im Käfig in diesen weniger optimalen Bereich „locken“. Sie versammeln sich bei 32°C in der Nähe der Bienen im Käfig und nicht, wie in vorherigen Versuchen bei 36°C, ihrer Vorzugstemperatur.

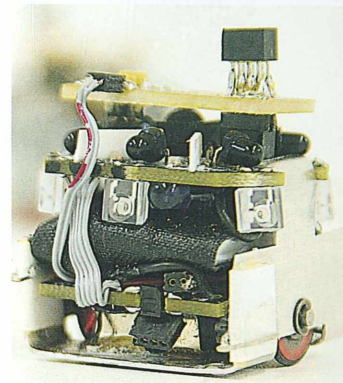
**SCHWARM-ROBOTER.** Ein relativ neuer Zweig der Robotik ist Schwarm-Robotik. Bei Schwarmrobotern werden viele einfache Roboter als kooperierende Gruppe entworfen. Für derartige Systeme eignen sich soziale Insekten (Bienen, Ameisen,...) als Inspirationsquelle, von der man sich 'intelligentes' Verhalten im Schwarm abschauen kann.

Inspiziert vom Schwarmverhalten junger Honigbienen entwickelten wir eine Roboter-Steuerungs-Software,

den BEECLUST Algorithmus: In der Bienenarena stoppen Bienen, wenn sie andere Bienen zufällig treffen. Je höher die lokale Temperatur ist, umso länger rasten sie an dieser Stelle. Analog dazu warten unsere Schwarm-Roboter (siehe Abb. 2), wenn sie sich zufällig treffen, länger, je heller es am Treffpunkt ist. Roboter die von diesem Programm gesteuert werden, können gemeinsam als Schwarm komplexe Aufgaben lösen: Wenn mehrere dieser Roboter in eine Arena gesetzt werden, sind sie in der Lage, gemeinsam den besten (hellsten) Ort zu finden. Obwohl jeder einzelne Roboter dasselbe Programm verwendet, ergeben sich je nach Gruppengröße und Umweltbeschaffenheit verschiedene Schwarmverhalten. Je größer der Roboterschwarm ist, desto schneller findet jeder einzelne Roboter im Schwarm einen geeigneten Ort. Dieses Ergebnis kann erklären, warum soziale Insekten immer in großer Zahl auftreten: Große Schwärme funktionieren besser als kleine und jedes einzelne Schwarmmitglied zieht seinen persönlichen Vorteil daraus. Des Weiteren ist es interessant, dass solche Gruppenentscheidungen ganz ohne zentrale Kontrollinstanz zustande kommen, ganz egal wie groß der Schwarm ist.

Unsere Studien zeigen, dass junge Honigbienen einfache Verhaltensmuster verwenden, um sich im Kollektiv „intelligent“ zu verhalten. Als Schwarm sind sie in der Lage, gemeinsam Aufgaben zu lösen, die das einzelne Individuum nicht lösen kann. Diese Schwarm-Intelligenz kann auf autonome Roboter übertragen werden, die dann ebenfalls intelligente Schwärme bilden.

Heute sind die Verhaltensprogramme dieser Roboter noch recht einfach, aber die Schwärme sind bereits beeindruckend intelligent. In Zukunft erwarten wir durch komplexere Einzelprogramme und bessere Kommunikation zwischen den Robotern noch deutlich intelligentere Schwärme.



**Abb. 2: Schwarm-Roboter**  
Dieses 3 x 3 x 3 cm kleine Gerät wird eingesetzt, um zu erforschen, wie kollektive Verhaltensmuster von natürlichen Schwarm-Organismen auch in der Technik sinnvoll umgesetzt werden können. Zugleich bieten Erkenntnisse, die von solchen Roboterschwärmen gewonnen werden, auch Erklärungsansätze und neue Hypothesen bei der Erforschung ihrer natürlichen Vorbilder.

Link:  
Artificial Life Lab; <http://zool33.uni-graz.at/artlife/>



**Text und Fotos:**  
Karl Crailsheim (l.), Thomas Schmickl (r.), Ronald Thenius, Christoph Möslinger, Gerald Radspieler, Martina Szopek, Sibylle Hahshold, Michael Bodi, Daniela Kengyel, alle Univ. Graz, Institut für Zoologie, Artificial Life Lab, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz, [thomas.schmickl@uni-graz.at](mailto:thomas.schmickl@uni-graz.at)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Land \(vormals Blätter für Naturkunde und Naturschutz\)](#)

Jahr/Year: 2011

Band/Volume: [2011\\_2](#)

Autor(en)/Author(s): Crailsheim Karl, Schmickl Thomas, Thenius Ronald, Möslinger Christoph, Radspieler Gerald, Szopek Martina, Hahshold Sibylle, Bodi Michael, Kengyel Daniela

Artikel/Article: [Schwarmingelligenz: gemeinsam statt einsam 30-31](#)