

## Bio-Inspiration als Weg zu intelligenten Roboterschwärmen

T. SCHMICKL, R. THENIUS, C. MÖSLINGER & K. CRAILSHEIM

Junge Honigbienen haben die Fähigkeit, in einer sogenannten Temperaturorgel eine bestimmte Position, an der eine bevorzugte Temperatur herrscht, innerhalb weniger Minuten zu finden. Wenn man das Verhalten der Bienen in einer zweidimensionalen Temperaturarena statt einer eindimensionalen Temperaturorgel beobachtet, stellt sich heraus, dass nur eine Minderheit der Bienen den Ort mit der angenehmsten Temperatur findet. Je mehr Bienen man aber in der Temperaturarena aussetzt, desto schneller findet ein Großteil der Bienen den Ort der optimalen Temperatur. Unseren Beobachtungen zufolge bewegen sich jedoch die meisten Bienen ungerichtet in der Arena, nur wenige bewegen sich zielgerichtet zum Optimum. Allerdings sind Ansammlungen von mehreren Bienen zu beobachten, die sich immer mehr zum Punkt der optimalen Temperatur bewegen. Durch genauere Untersuchungen dieses Phänomens haben wir einen äusserst einfachen, robusten und effizienten Aggregationsalgorithmus abgeleitet. Dieser wurde für einen Roboterschwarm, bestehend aus 15 Robotern, angepasst. Hierfür wurde der Wärmegradient durch einen Lichtgradienten ersetzt. Der Algorithmus ermöglicht den autonomen Robotern in einer veränderlichen Umwelt gemeinsame Entscheidungen treffen. Aufgrund seiner Einfachheit ist der Algorithmus leicht umzusetzen und anzupassen. Es gibt lediglich zwei Zustände in denen sich ein Roboter befinden kann: Zufallsbewegung und Wartezustand. Jeder Roboter bewegt sich in der Testarena zufällig und dreht sich zufällig von Hindernissen weg. Weiters kann jeder Roboter zwischen Hindernissen und anderen Robotern unterscheiden. Wenn ein Roboter auf einen anderen Roboter trifft (und diesen als solchen erkennt), geht er in den Wartezustand über und berechnet seine Wartezeit folgendermassen: Je höher die lokale Lichtintensität desto höher die Wartezeit. Obwohl dieser Algorithmus keinerlei Kommunikation zwischen den Robotern verwendet, entstehen charakteristische Schwarmeffekte: Aggregation an bestimmten Orten, gemeinsame Umentscheidung bei Umweltveränderungen, etc. Die von uns verwendeten Roboter (Jasmine III) sind sehr klein (3x3x3cm) und deswegen für Schwarmexperimente sehr gut geeignet. Jeder Roboter ist mit 6 horizontalen IR-Sensoren ausgestattet, die eine Reichweite von bis zu 10cm haben und vollständige "Rundumsicht" ermöglichen. Zur Messung der lokalen Lichtintensität hat jeder Roboter zusätzlich ein vertikales Lichtsensormodul, welches auf den Roboter gesteckt wird. Für unsere Experimente verwendeten wir eine 150x100cm große Testarena. An zwei gegenüberliegenden Seiten dieser Arena wurde in 30cm Höhe jeweils eine Lampe amgebracht mittels derer die Arenausleuchtung variiert werden konnte. Jede Lampe konnte drei Helligkeitsstufen erzeugen: "hell", "gedimmt" und "aus". Zuerst wurde der Roboterschwarm in einer statischen Testarena mit nur einer Lampe getestet um das Aggregationsverhalten unter verschiedenen Lichtintensitäten zu untersuchen. Die Testarena wurde in vier konzentrische Zonen (mit jeweils größer werdendem Abstand zum hellsten Punkt direkt unterhalb der Lampe) unterteilt. Während der Experimente wurden die Positionen aller stehenden Roboter ermittelt und der jeweiligen Zone zugeordnet. Die Experimente wurden jeweils sechs mal mit einer hellen Lampe oder einer gedimmten Lampe durchgeführt. Die nachfolgenden statistischen Auswertungen zeigten, dass sich das Aggregationsverhalten des Roboterschwarms unter einer gedimmten Lampe signifikant vom Aggregationsverhalten unter einer hellen Lampe unterscheidet. Während die Roboter unter einer hellen Lampe vermehrt in den äußeren Zonen aggregieren, sind bei einer gedimmten Lampe die meisten

Roboter in den Zonen direkt unter der Lampe aufzufinden. Nach dieser Auswertung wurden Experimente in einer veränderlichen Umwelt durchgeführt wobei zwei Lampen, die periodisch ihre Lichtintensität veränderten, verwendet wurden. Die vier Phasen eines solchen Experiments hatten folgende Lichtintensitäten auf der linken und rechten Seite: 1) L:aus R:gedimmt; 2) L:hell R:gedimmt; 3) L:gedimmt R:hell; 4) L:gedimmt R:aus. Die nachfolgenden statistischen Auswertungen zeigten unter anderem, daß ein Roboterschwarm der bereits unter einer gedimmten Lampe (in Phase 1 rechts) aggregiert ist, sich in kurzer Zeit für die hellere Lampe (in Phase 2 links) umentscheidet. Untersucht man nur die Anzahl der aggregierten Roboter unter der gedimmten Lampe ist ein weiterer signifikanter Effekt ersichtlich: Wenn eine zusätzliche, "konkurrierende" helle Lampe (in Phase 2 und 3) vorhanden ist, nimmt die Anzahl der aggregierten Roboter unter der gegenüberliegenden, gedimmten Lampe ab. Diese Ergebnisse bestätigen, daß der von Honigbienen inspirierte Algorithmus einem Roboterschwarm ermöglicht mit einfachsten Mitteln flexibel und robust auf veränderbare Umwelten zu reagieren. In neueren Experimenten mit Bienen in einer Testarena mit veränderbaren Temperaturgradienten ist ein solches Schwarmverhalten ebenfalls zu beobachten.

Das Thema wurde im Rahmen folgender Projekte erarbeitet:

EU-IST FET Projekt I-Swarm, no. 507006 (Leiter: Univ.-Prof. Dr. H. Römer & Univ.-Prof. Dr. K. Crailsheim)

FWF-Projekt P19478-B16: Aggregation junger Honigbienen in einem Temperaturgradienten (Leiter: Dr. T. Schmickl).

Anschrift der Verfasser: Dr. Thomas SCHMICKL  
Mag. Dr. Ronald THENIUS  
Univ.-Prof. Dr. Karl CRAILSHEIM  
Institut für Zoologie  
Karl-Franzens-Universität  
Universitätsplatz 2  
8010 Graz, Austria  
E-Mail: [thomas.schmickl@uni-graz.at](mailto:thomas.schmickl@uni-graz.at)

Christoph MÖSLINGER  
Fachhochschule St. Pölten  
Matthias-Corvinus-Straße 15  
3100 St. Pölten, Austria

## **Energetik und Thermoregulation sammelnder Honigbienen**

A. STABENTHEINER & H. KOVAC

Endotherme Insekten wie Honigbienen haben, auf Grund ihrer geringen Körpergröße mit enormen Wärmeverlusten zu kämpfen. Beim Sammeln verringern diese Verluste die Rentabilität und fordern daher Optimierung. Um aber möglichst große Nektarmengen in möglichst kurzer Zeit sammeln zu können, müssen Bienen ihre Flugmuskulatur auf möglichst hoher Temperatur halten. Neben der endogenen Wärmeproduktion können sie

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Entomologica Austriaca](#)

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: [0016](#)

Autor(en)/Author(s): Schmickl Thomas, Thenius Ronald, Möslinger Christoph,  
Crailsheim Karl

Artikel/Article: [Bio-Inspiration als Weg zu intelligenten Roboterschwärmen. 151-152](#)