

THOMAS SCHMICKL

im Gespräch mit JAN MÜGGENBURG und MARTIN WARNEKE

PERVERSE BIENEN

Artificial Life und der Apfel der Erkenntnis

Jan Müggenburg Thomas, du bist Gründer und Leiter des Artificial Life Lab hier am Institut für Zoologie der Universität Graz.

Thomas Schmickl Sofern es das Artificial Life Lab überhaupt gibt, ja! Eigentlich handelt es sich bei dem Labor nämlich eher um eine Gruppe von Projekten. Ich habe ganz normal mein Doktorat hier gemacht und angefangen, Projekte einzuwerben. Und irgendwann waren wir so viele Leute und haben immer noch in einem sehr kleinen Raum gesessen. Weil wir so erfolgreich bei der Einwerbung von Drittmitteln waren, hat man uns dann irgendwann Räume zur Verfügung gestellt. Und dann haben wir gesagt: «Jetzt geben wir dem Ganzen aber auch einen Namen!» Und dann haben wir uns für den Namen «Artificial Life Lab» entschieden.

J.M. Wo wir gerade beim Namen sind: Wenn man euer Labor besucht oder im Internet danach sucht, dann begegnet man zuerst eurem spektakulären Logo mit einem klassischen biblischen Motiv. Es zeigt einen Apfel, um den sich eine Schlange schlängelt, die aus vier Segmenten besteht: Der Kopf ist der einer Roboterschlange mit rotglühenden Augen, dann folgt ein normaler Schlangenkörper. Die zweite Hälfte der Schlange stellt erst einen DNA-Strang dar und wird dann zu einer Kette aus Nullen und Einsen. Wie gefährlich ist der Verzehr der Artificial-Life-Früchte vom Baum der Erkenntnis für die Menschheit?

T.S. Artificial Life beschäftigt sich mit der Idee, künstliche Lebewesen zu schaffen. Nicht, weil man die Menschheit abschaffen möchte, sondern weil man ein gewisses ganzheitliches Verständnis von Leben gewinnen will. Und dieses Verständnis wiederum braucht man, um Leben erzeugen zu können. Der Begriff «Ganzheitlichkeit» wird ja heutzutage leider häufig von der Esoterik missbraucht. Aber für mich beschreibt er ein Phänomen, das so ähnlich ist wie die Geschichte von dem Esel und der Möhre: Verständnis und Konstruktion von Leben bedingen sich gegenseitig. Während die klassische Forschung reduktionistisch

¹ Vgl. Yuri Lazebnik: Can a Biologist Fix a Radio? – or, What I Learned while Studying Apoptosis, in: *Biochemistry*, Vol. 69, Nr. 12, 2004, 1403–1406.

verfährt und nach immer kleineren Einheiten sucht, versuchen wir einem vollständigen Verständnis des Lebens näherzukommen. Es gibt diesen Aufsatz «Wie Biologen ein Radio analysieren würden».¹ Der Autor stellt sich darin vor, wie es wäre, wenn Biologen und Biologinnen die Funktionsweise eines Radiogerätes nicht kennen würden und man ihnen sagt: Bitte findet heraus, wie das funktioniert. Dann würden diese Biologen den Apparat in die allerkleinsten Details zerlegen. Sie würden irgendwo etwas kaputtmachen und sagen: «Aha, wenn wir hier etwas kaputt machen, geht das Radio nicht mehr!» Dann würden sie ein zweites Gerät nehmen und an einer anderen Stelle etwas kaputtmachen und sagen: «Aha, wenn wir jetzt hier etwas kaputt machen, dann geht das Radio auch nicht mehr!» Aber auf diese Weise wird man niemals darauf kommen, wie ein Radio funktioniert! Und das ist das, was das Logo zeigen soll.

Martin Warnke Und was meinst du, wie weit seid ihr von eurem Ziel noch entfernt?

T.S. Natürlich würde kein Mensch die Roboter, die wir hier bauen, als Lebewesen bezeichnen. Wir schauen uns gewisse Grundprinzipien an und wollen einen Beitrag zu dem Ziel leisten, am Schluss alle Grundprinzipien in ein Ding umsetzen zu können, sodass dieses eine Ding dann ein Lebewesen ist. Beim Stand der 3D-Drucker, in der Erforschung evolutionärer Algorithmen sind wir noch lange nicht dort, wo wir hin wollen. Aber wir nähern uns unserem Ziel immer schneller an. Wenn wir zum Beispiel 3D-Drucker hätten, die sich selbst drucken, dann würde nicht mehr viel fehlen. Autonome Roboter haben wir ja bereits, und wenn man darauf einen selbstreplizierenden 3D-Drucker schnallen könnte, der seine Rohmaterialien selbst in seiner Umwelt findet, dann hätten wir fast ein Tier.



J.M. Was sind das für Grundprinzipien, die ihr erforscht?

T.S. Dazu gehören z.B. Vermehrung, Vererbung, Evolution, Wahrnehmung, Verhalten. Bei uns endet das meiste mit dem Wort «Feedback»; wir schauen uns Rückkopplungsschleifen an. Wenn diese sehr große Zeiträume umfassen, über Generationen zum Beispiel, dann reden wir von Evolution. Wenn sie viele verschiedene Lebewesen umfassen, dann reden wir von Ökologie. Wenn wir Rückkopplungsschleifen innerhalb eines Lebewesens betrachten, bewegen wir uns in der Physiologie. Wir finden Feedback auch im Verhalten. Wenn ich meine Umwelt wahrnehme und mich daraufhin bewege, dann werde ich sie im nächsten Schritt anders wahrnehmen, weil ich mich bewegt habe. Dann verläuft die

Rückkopplungsschleife durch die Umwelt. Kurz, wir schauen uns komplexe Systeme an, die aus verschachtelten Rückkopplungsschleifen entstehen. Die studieren wir, bis wir das Leben dann in 150 Jahren vielleicht verstanden haben [lacht].

M.W. Aber euer Logo ist schon als gezielte Provokation an die Adresse der religiösen Elemente auf dieser Welt gemeint, oder? Ihr esst vom Apfel der Erkenntnis und euch ist ganz egal, was die Theologie und Gläubigen dieser Welt dazu sagen!

T.S. Ja, klar. Ich bin ausgesprochen religionsfeindlich. Diesen Apfel der Erkenntnis halten wir in der Hand und den geben wir auch nicht mehr her.

J.M. In den aktuellen Debatten werden verwirrend viele Begriffe in den Ring geworfen. Inwiefern unterscheidet sich zum Beispiel Artificial Life von Artificial Intelligence?

T.S. Meiner Meinung nach haben die Begriffe kaum etwas miteinander zu tun, obwohl sie sehr oft synonym verwendet werden. Artificial Intelligence ist ein schwieriger Begriff, weil es sehr viele verschiedene Definitionen von Intelligenz gibt. Oft finden wir Dinge nicht mehr intelligent, wenn wir sie verstanden haben. Es gibt viele Beispiele, bei denen gesagt wurde, wenn das eine Maschine schafft, dann ist sie intelligent. Und sobald wir gesehen haben, dass die Maschine es doch kann und es sich letztlich mit dem *Brute-force*-Einsatz simpler Mechanismen realisieren lässt, sagen wir: Das ist doch keine Intelligenz! Beispiele sind das Schachspiel, das Go-Spiel oder maschinelles Fahren. Es ist sehr schwer greifbar zu machen, was künstliche Intelligenz eigentlich ist. Artificial Life hingegen ist sehr simpel – ein künstliches Lebewesen zu schaffen. Wir müssen uns nur einigen, was ein Lebewesen ist ...

J.M. Vielleicht kannst du noch einmal kurz sagen, was eigentlich im Vordergrund eurer Forschung steht. Euer Labor ist ja am Institut für Zoologie beheimatet und die Zoologie beschäftigt sich mit der Erforschung des Verhaltens, des Körperbaus, der Entwicklung, der Verbreitung usw. von lebendigen Systemen, den Tieren. Aber wie passt die Konstruktion künstlicher Lebewesen in dieses Bild?

T.S. Zunächst einmal wollen wir verstehen, wie Tiere funktionieren, was der Clou bei gewissen Mechanismen ist. Im nächsten Schritt wollen wir diese Mechanismen in etwas Technisches übersetzen. Dabei geht es bei diesem Übersetzungsprozess nicht darum, dass das technische System gleich aussieht wie das Tier. Es geht darum, dass dieser Clou, diese Quintessenz erhalten bleibt, sodass die technische Lösung einen gewissen Vorteil, eine gewisse Effizienzsteigerung hat. Die Erforschung des lebendigen Systems und die Konstruktion des technischen sind dann nicht mehr voneinander zu trennen. Auf der einen Seite gewinne ich Erkenntnis über den echten Organismus, andererseits muss bei der Übersetzung ins Technische eine gewisse Abstraktion stattfinden.

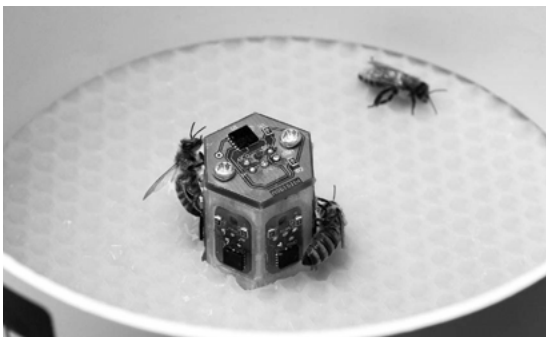
Man muss das Wesentliche rauskitzeln und von den physikalisch-verkörpernten Details trennen. Und damit habe ich noch mehr Erkenntnis gewonnen, noch generellere Erkenntnis über den Mechanismus. Das, was dann übrigbleibt, ist manchmal fast schon banal. Wenn man das jemandem zeigt, sagt der: «Ja und?» Aber unter Umständen hat es Jahre gedauert, um zu diesem Punkt zu kommen. Und wenn ich diese Banalität in etwas Technisches einbaue, dann mache ich das Technische etwas organismischer, ein bisschen lebendiger sozusagen.

M.W. Lässt sich Erkenntnis damit letztlich reduzieren auf eine Frage der Form? Ist die Tatsache, dass es ein physisches Ding gibt, das mit echten Lebewesen interagiert, die Form, in der sich Erkenntnis manifestiert?

T.S. Was ich mit «physikalisch-verkörpernten Details» gemeint habe, ist Folgendes: Wenn Bienen mithilfe ihrer sechs Beine im Experiment durch unsere Bienen-Arena laufen, dann unterliegen sie zunächst einer gewissen Physik des Gehens. Aber während sie gehen, interagieren sie auch miteinander. Wir lassen die Physik des Gehens außen vor und beschäftigen uns mit diesem Miteinander des Gehens: Machen die Bienen einen sogenannten *random walk* oder folgen sie bestimmten Trajektorien? Aus diesen Beobachtungen generieren wir ein Partikelmodell, in dem sich nur noch die einzelnen Partikel bewegen. Dieses Modell ist bis auf wenige Ausnahmen fast vollständig physikbefreit. Klar, manche Dinge müssen erhalten bleiben: Welche Drehwinkel sind möglich? Ist die Drehung limitiert? Wo liegt die Maximalgeschwindigkeit? Dieses Bisschen Physik bleibt erhalten, aber ein Großteil davon ist weg. Mithilfe dieses Modells suchen wir nach schwarmintelligenten Verhaltensweisen, um daraus einen relativ physiklosen Algorithmus zu konstruieren. Wenn ich nun diesen Algorithmus z.B. auf einen Roboter übertrage, der mit zwei Rädern fährt, dann ist der in seiner physikalischen Verkörperung total anders: Zwischen dem Gehen mit den sechs Beinchen der Bienen und dem fahrenden Roboter sind riesige Unterschiede. Aber das, worum es mir gegangen ist, diese Schwarmintelligenz des Algorithmus, die ist erhalten geblieben. Mit dem Roboter kann ich jetzt Experimente durchführen, die mich zu neuen Beobachtungen führen. Was wir noch nicht können, ist, die Bienen im Anschluss

Abb. 2 Versuchsarena aus dem EU-FET-Projekt ASSISIBf mit einer Robotereinheit

Abb. 3 Gruppe von Robotern aus dem FWF-Projekt REBODIMENT, die den BEECLUST-Algorithmus ausführen



entsprechend zu programmieren, da fehlen uns noch die gentechnischen Möglichkeiten. Wir haben aber trotzdem Rückschlüsse gewonnen über die Optimalität des Bienenverhaltens in der Gruppe und die Zusammensetzung der Gruppe. Das sind geschlossene Kreise der Erkenntnisgewinnung, durch die wir hindurchgehen.

J.M. Mich erinnert das stark an Heinz von Foerster und die Experimente an seinem Biological Computer Laboratory.² Foerster hat für die Bionik einen ähnlichen Erkenntniskreis beschrieben wie du gerade. Ihm zufolge existieren universale Prinzipien, die der eigentliche Untersuchungsgegenstand der Bionik sind, z.B. Rückkopplung, Selbstorganisation oder Adaptation. Die Forschung am lebendigen Organismus, die Konstruktion von Maschinen sowie die theoretischen Überlegungen greifen ineinander und nähern sich in einer kreisförmigen Bewegung an diese Prinzipien an.

T.S. Aber das klingt mir zu sehr danach, als würde sich die Erkenntnis auf einen Punkt einspiralisieren. Man kann nämlich auch explorativ vorgehen, sodass die Kreise immer größer werden. In unseren Bienenexperimenten haben wir z.B. beobachtet, dass ein Großteil ihrer Bewegungen *random walks*. Dann haben wir den von uns sogenannten BEECLUST-Algorithmus konstruiert, der nur auf *random walks* basiert. Aber nach einiger Zeit haben wir uns gefragt: Aber was ist denn mit anderen Bewegungsmodellen? Was passiert in einer Gruppe von Bienen, wenn einzelne Bienen keine *random walks* machen. Wird das Verhalten der Gruppe dadurch vielleicht noch besser? Anstatt uns also auf das Prinzip des *random walks* einzuspiralisieren, haben wir andere, nicht so häufig auftretende Bewegungsprogramme mit in unser Modell einbezogen und es schrittweise komplexer gemacht – schrittweise, um die Auswirkungen dieser Erweiterung genau beobachten zu können.

J.M. Du hast den BEECLUST-Algorithmus erwähnt, wie sieht der genau aus?

T.S. In unseren Experimenten untersuchen wir junge Bienen, deren Flugmuskulatur noch nicht ausgebildet ist. Diese Jungtiere können weder fliegen noch sonderlich weit sehen. Anders als erwachsene Tiere können sie ihre Flügel auch noch nicht einsetzen, um ihre Körpertemperatur zu regulieren. Nun hat man schon immer gewusst, dass sich solche Jungbienen in der Regel in den wärmeren Bereichen eines Bienenstocks aufhalten. Dazu gibt es einen klassischen Versuch, mit dem man dieses Verhalten früher erklärt hat: Mithilfe einer Temperaturorgel – eine Vorrichtung mit einem Wärmegradienten zur Feststellung der bevorzugten Umgebungstemperatur von Tieren – hat man festgestellt, dass einzelne Bienen gezielt in den Bereich mit einer Umgebungstemperatur von genau 36 Grad Celsius gehen. Man hat deshalb gesagt: Weil jede einzelne Biene gezielt diese Wohlfühltemperatur ansteuert, versammeln sich die Jungbienen im Bienenstock immer in einem Bereich mit der für sie optimalen Umgebungstemperatur. Was man in diesem Versuch allerdings nicht berücksichtigt hat, ist

² Vgl. Jan Müggenburg: Lebhaftes Artefakte. Heinz von Foerster und die Maschinen des Biological Computer Laboratory, Göttingen 2018.

der Umstand, dass die Temperaturorgel unnatürliche Bedingungen herstellt: Auf der einen Seite herrschen 10 Grad Celsius oder kälter und auf der anderen 70 Grad oder mehr. Dadurch entsteht ein sehr steiler Temperaturgradient. Die Temperaturen im Bienenstock sind in der Regel aber viel flacher verteilt. Wir haben deshalb den Versuch mit diesen natürlichen Bedingungen wiederholt und mussten feststellen, dass so gut wie keine Biene in der Lage war, alleine den Bereich mit der optimalen Umgebungstemperatur zu erreichen. Setzt man aber eine Gruppe von Bienen in die Versuchsanordnung, versammelt sich diese Gruppe mit der Zeit immer im Optimum von 36 Grad. Durch diesen Versuch haben wir zeigen können, dass der klassische Versuch mit der Temperaturorgel eben nur scheinbar, aber nicht wirklich erklärt, wie die Bienen das machen. Es musste einen anderen Mechanismus geben, der durch die klassische Versuchsanordnung verdeckt wurde.

M.W. Und um diesen Mechanismus zu finden, habt ihr künstliche Bienen konstruiert?

T.S. Ja, wir haben eine Arena gebaut und den einzelnen Robotern folgende einfache Anweisungen gegeben: erstens: Fahre zufällig herum. Zweitens: Wenn du einen anderen Roboter triffst, bleib stehen und messe die Umgebungstemperatur. Drittens: Je nachdem, wie die Messung ausgefallen ist, bleibe länger stehen oder fahre weiter. Auf diese Weise haben wir herausgefunden, dass es sich um einen kollektiven Mechanismus handelt, den die einzelne Biene nicht ausführen kann. Und dieser Mechanismus lässt sich mit drei Sätzen beschreiben: Alle Bienen einer Gruppe laufen zufällig herum. Wenn sich zwei Bienen treffen, dann halten sie an und warten. Sie warten umso länger, je näher ihre aktuelle Umgebungstemperatur an die optimale Temperatur von 36 Grad heranreicht. Fertig, mehr nicht. Das ist der BEECLUST-Algorithmus – eine sehr präzise Handlungsanweisung von drei Sätzen, an die sich alle Akteure halten.

J.M. Warum habt ihr den Begriff <Cluster> verwendet?

T.S. Wir haben den Algorithmus so genannt, weil es mit der Zeit zu einer Art Kondensationsprozess kommt und verschiedene Cluster entstehen. Aber im Unterschied zu einem echten Kondensationsprozess lösen sich die Cluster mit der Zeit wieder auf, weil die Bienen irgendwann weitergehen. Dabei bleiben die Bienen länger in wärmeren Clustern mit wärmerer Umgebungstemperatur und verlassen die kühleren Cluster. Am Schluss gewinnt der wärmste Cluster, weil er die Bienen länger an sich bindet. Wir sprechen in diesem Zusammenhang von einer kompetitiven Hemmung. Der optimale Cluster frisst zwangsläufig die weniger optimalen auf. Es kommt zu einem Prozess der Selbstverstärkung. Wenn man lang genug wartet, sitzen alle Bienen in der Zone mit der optimalen Umgebungstemperatur, ohne dass auch nur eine von ihnen in der Lage sein muss, gezielt eine wärme Zone anzusteuern.

J.M. Würdest du sagen, der BEECLUST-Algorithmus ist ein Beispiel für Schwarmintelligenz? Das ist ja zunächst einmal kontraintuitiv, weil Bienen als staatenbildende Insekten eben kein Kollektiv ohne Zentrum sind. Die Biene ist doch eigentlich kein typisches Schwarmtier, oder?

T.S. Für mich ist der BEECLUST-Algorithmus klassische Schwarmintelligenz, weil eine Aufgabe gelöst wird. Natürlich gibt es manche Aspekte bei dem Verhalten der Biene, die sehr zentralisiert sind, und es gibt manche, die sind sehr dezentral. Es entsteht ein globales Optimum, das aus einem Set verschiedener Optima ausgewählt wird, ohne Vorwissen, ohne Vorbildung, ohne Karte, ohne all das. Das Problem wird in der Gruppe gelöst, und je größer die Gruppe, umso besser. Und es gibt sogar eine minimale Gruppengröße, unter der funktioniert es nicht. Bei zwei, drei oder vier Bienen funktioniert dieser Schwarmeffekt nicht. Es gibt eine gewisse Schwelle der Gruppengröße, die überschritten werden muss, damit das Ganze funktioniert. Dann aber geht es recht schnell, und je mehr Bienen ich hinzugebe, umso besser funktioniert es. Das ist Schwarmintelligenz, weil es diese Untergrenze gibt. Sehr im Unterschied zu den berühmten Ameisenstraßen, die jahrzehntelang als Schwarmintelligenz gehypt wurden. Das ist eindeutig keine Schwarmintelligenz, eine einzelne Ameise kann das auch. Es gibt sogar einen Versuch mit einem einzelnen Roboter, der einen Strich hinter sich herzieht, welcher die Pheromonspur simulieren soll. Kommt er an eine Kreuzung, folgt er dem Weg mit mehr Strichen. Sobald ein einzelnes Individuum das Gleiche kann wie die Gruppe, handelt es sich nicht mehr um Schwarmintelligenz.

J.M. Ist das, was der BEECLUST-Algorithmus beschreibt, aus deiner Sicht eine Form von Kommunikation?

T.S. Nein, genau das Gegenteil ist der Fall! Der Algorithmus funktioniert absolut kommunikationsfrei, da redet keiner mit dem anderen. Es handelt sich um einen Schwarmalgorithmus ohne explizite Kommunikation! In unseren Versuchen mit den Robotern gibt es Interaktion, weil sie stehenbleiben. Aber es wird keine Botschaft übertragen. Kein Roboter sagt dem anderen: «Hier ist es wärmer als das, was ich vorher erlebt habe!»

M.W. Aber könnte man nicht sagen, dass der Inhalt der Botschaft die Länge des Aufenthaltes ist?

T.S. Den entscheidet aber jeder nur für sich selber. Die Roboter teilen sich gegenseitig nicht die Länge ihres Aufenthaltes mit. Die einzige Interaktion ist die, dass sie stehenbleiben, wenn sie sich treffen. Aber wenn das Kommunikation ist, dann kommuniziert der Sessel auf dem du sitzt, jetzt gerade auch mit dir! Das ist reine physikalische Kollision. Wenn du das als Kommunikation siehst, dann ist alles Kommunikation. Aber ihr seid nicht die Ersten, die diese Fragen stellen. Wir hatten hier schon endlose Diskussionen mit unserem Kommunikationsprofessor, ob das jetzt Kommunikation ist oder nicht. Aber

für Biologinnen und Biologen ist das eben keine Kommunikation. Die biologische Definition lautet: Es muss eine Quelle, einen Sender, einen Empfänger und einen Kanal geben. Natürliche Selektion muss auf den Sender, auf das Signal und den Empfänger gewirkt haben. Nur dann ist es biologisch gesehen Kommunikation. Im Fall unserer Roboter gibt es keinen Kommunikationskanal, auf den die Selektion gewirkt haben könnte. Man kann sich das vielleicht einreden, aber es handelt sich nicht wirklich um Kommunikation. Der BEECLUST-Algorithmus ist ein kommunikationsfreier Schwarmalgorithmus. Und das ist eigentlich ein Widerspruch! Aber der Algorithmus hat alle Eigenschaften, die man üblicherweise einem Schwarmalgorithmus abverlangt. Wir kommen hier wieder in einen Bereich, in dem man an den Definitionen rütteln muss, nicht wahr?

M.W. Aber hättet ihr den BEECLUST-Algorithmus nicht auch allein aus der Beobachtung der echten Bienen gewinnen und falsifizieren können? Wozu die künstlichen Agenten?

T.S. Wir haben den Algorithmus auf Roboter übertragen, haben sie laufen lassen und ihr Verhalten massenweise evaluiert. Dabei wissen wir genau, was wir in den Roboter hineingesteckt haben und was nicht. Das weiß ich über die Biene nicht! Da könnten ganz viele Faktoren eine Rolle spielen, die wir beim Herausschneiden des BEECLUST-Algorithmus nicht berücksichtigt haben. Wir vermuten, dass es diese von uns mathematisch formulierte Hypothese ist – Zeile 1, Zeile 2, Zeile 3 –, welche den Bienen zu dieser Intelligenzleistung verhilft. Ich nehme diese drei Zeilen, stecke sie in den Roboter hinein und lasse sie in der Gruppe laufen. Danach probiere ich verschiedene Gruppengrößen durch. Wenn ich das immer wieder mache, dann validiere ich immer mehr meine Ausgangshypothese. Ich kann mir immer sicherer werden, dass das, was ich da herausextrahiert hab, des Pudels Kern ist. Und damit wären wir wieder beim Teufel.

M.W. Und wo liegt der Vorteil gegenüber einer reinen Software-Simulation?

T.S. Natürlich kann man den BEECLUST-Algorithmus in ähnlicher Weise mit simulierten Agenten testen. Der Vorteil der materiellen Roboter ist, dass ich die physikalischen Bedingungen quasi umsonst dazubekomme. In der Simulation habe ich zunächst keine Physik und muss sie mithilfe einer Physik-Engine hinzufügen. Dann treffe ich aber wieder Grundannahmen darüber, welche Eigenschaften der physikalischen Welt für mich wichtig sind und welche nicht. Viele der überstrapazierten Schwarmintelligenzkonzepte, die in der Vergangenheit für so viel Aufsehen gesorgt haben, waren körperlose Modelle. Aber solche simplifizierten Modelle transportieren die falsche Botschaft! Man hat ja inzwischen herausgefunden, dass längst nicht alle Vogelschwärme gleich sind. In manchen gibt es soziale Strukturen, sodass manche Tiere viel mehr Einfluss haben als andere. In dem altmodischen Schwarmbild sind alle Akteure gleich. Es gibt keine zentrale Steuerung, es gibt simple Regeln und rein

reaktive Akteure. Und wenn man genauer hinschaut, muss man sagen: Nein, so funktioniert das nicht. Das ist reine Schwarmromantik. Das, was wir extrahiert haben, ist auch abstrakt, eine Reduktion. Aber wir stecken diese Abstraktion absichtlich wieder in Roboter, die physikalisch verkörpert sind. Erst wenn ich es nachgebaut habe, weiß ich, dass mein Algorithmus auch wirklich funktioniert und kompatibel ist.

J.M. Der Wissenschaftsforscher Bruno Latour hat den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess am Beispiel der Bodenkunde als eine Kaskade von verschiedenen Repräsentationsverfahren beschrieben.³ Er folgt diesem Prozess von der Expedition in den Urwald, über verschiedene Verfahren des Sammelns, Sortierens und Dokumentierens bis hin zu dem in einer Fachzeitschrift veröffentlichten Aufsatz am Ende dieser Kette. Laut Latour lässt sich der Weg vom eigentlichen Phänomen bis zu den niedergeschriebenen Ergebnissen als ein Weg der zunehmenden Abstraktion bei abnehmender Materialität beschreiben. Dabei muss die Kette der Referenz stabil und reversibel bleiben. Es muss jederzeit möglich sein, den Weg bis zum Phänomen zurückzuverfolgen. Nur dann, so Latour, kann Referenz zirkulieren. Mir scheint es jetzt so, dass ihr diesen Weg weitergeht, und zwar indem ihr das Verhältnis von Abstraktion und Materialität umkehrt: Auch in der Artificial-Life-Forschung wird zuerst die Materialität und Konkretheit beiseite geräumt. Aber nachdem ihr bei dem nackten Algorithmus angekommen seid, fügt ihr wieder Materialität hinzu und erhöht die Konkretheit. Die entscheidende Frage ist doch nun, ob eure Referenzkette durch diese Rematerialisierung geschlossen wird oder offen bleibt. Handelt es sich bei dem Ausgangspunkt, dem Tier, und dem Endpunkt, dem Roboter, um den gleichen Punkt der Referenzkette? Kommt ihr am Ende wieder in derselben Natur an?

T.S. Nun, wenn die Kette nicht geschlossen ist, dann ist wohl etwas abstrahiert worden, das essenziell war. Das ist der Punkt! Natürlich wissen wir, dass unsere Roboter anders gebaut und zusammengesetzt sind als die Bienen. Ich sehe das eher so: Bei den Robotern weiß ich, was ich hineingesteckt habe, und ich kann mit den Robotern jetzt Dinge machen, die mit den echten Bienen entweder ethisch nicht vertretbar wären oder technisch nicht machbar. Zum Beispiel kann ich im Winter keine Bienenversuche machen, Roboterversuche aber schon. Bienen kann ich nicht programmieren, Roboter schon. In Bezug auf die Frage nach dem Verhältnis von Tier und Roboter würde ich sagen, dass ich eine Analogie geschaffen habe, von der aus ich weiter explorieren kann. Es fällt uns leichter, mit den Robotern zu forschen und neue Phänomene zu finden, die ich bei meiner ursprünglichen Beobachtung des natürlichen Phänomens nicht berücksichtigt habe. Jetzt habe ich aber eine starke Verbindung zwischen den zwei Systemen und kann zu den Bienen zurückkehren und weiterführende Versuche machen, weil uns die Arbeit mit den Robotern in diese Richtung geführt hat. Wir haben uns von den Robotern inspirieren lassen.

³ Vgl. Bruno Latour: Zirkulierende Referenz. Bodenstichproben aus dem Urwald am Amazonas, in: ders.: *Die Hoffnung der Pandora*, Frankfurt / M. 2002, 36–96.

⁴ *Animal and Robot Societies Self-organise and Integrate by Social Interaction*, vgl. Thomas Schmickl u. a.: *Mixing Animals with Robots in a Hybrid Society*, in: Nathan F. Lepora u. a. (Hg.): *Living Machines*, Heidelberg 2013, 441–443.

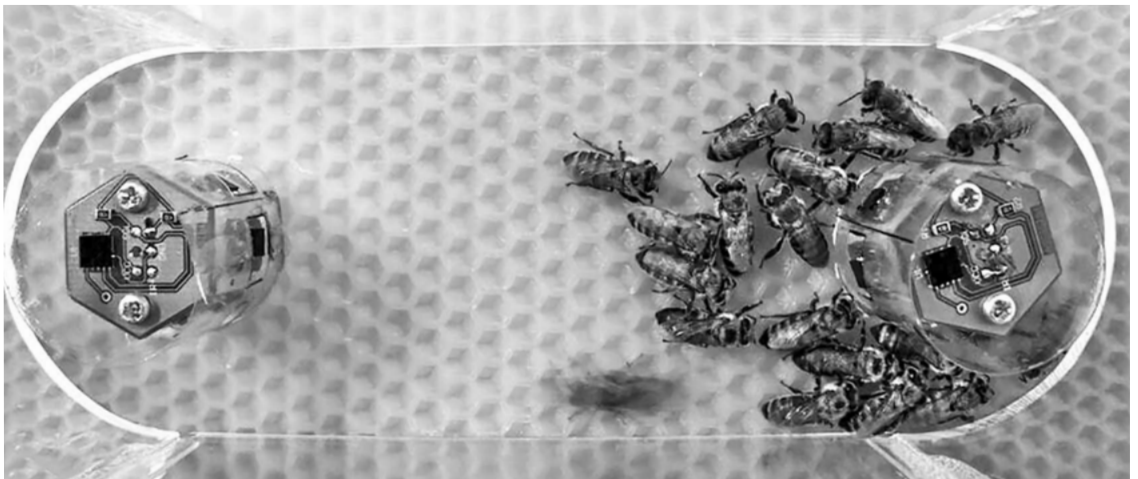
J.M. In einem anderem Projekt habt ihr euch für einen sehr speziellen Weg der Rematerialisierung eurer Algorithmen entschieden: Anstatt bienenähnliche Roboter zu bauen, habt ihr echten Bienen die Anwesenheit künstlicher Bienen vorgetäuscht.

T.S. Ja, dabei handelt es sich um das Projekt ASSISI.⁴ Das Akronym ist eine Anspielung auf Franz von Assisi, der mit den Tieren sprach. Das Ziel des Projektes besteht in der Vergesellschaftung von Bienen mit künstlichen Bienen. Dazu hätten wir gerne kleine Roboter in der Größe von Bienen verwendet, mit vibrierenden Beinchen, ähnlicher Oberflächenbeschaffenheit usw. Solche Roboter müssten in der Lage sein, sich auf Wachsplatten zu bewegen, denn das ist nun mal der bevorzugte Untergrund von Bienen. Die Roboter dürften die echten Bienen nicht verletzen oder gar zerquetschen. Sie müssten Geruchs- und Geschmacks-tests bestehen, kurz: von echten Bienen vollständig akzeptiert werden. Weil es aber technisch nicht machbar ist, solche maßstabsgetreuen Roboterbienen zu konstruieren, mussten wir uns mit einem Trick helfen. Ich würde das gerne als einen Geniestreich bezeichnen, aber in Wirklichkeit war es eine Notlösung.

M.W. Wie sah dieser Trick aus?

T.S. Wir hatten die Idee, ortsstabile Module zu verwenden. Diese Robotereinheiten geben den Bienen gewisse Reize, welche die Interaktion der Tiere untereinander beeinflussen. Wir haben ja schon darüber gesprochen, dass Wärme für das Verhalten junger Bienen eine große Rolle spielt. Ältere Bienen sind außerdem in der Lage, Wärme selbst zu erzeugen, um die jüngeren zu beeinflussen. Vibration und Luftzug beeinflussen ebenso das Bewegungs- und Ansammlungsverhalten von Bienen im Bienenstock. Wenn es zum Beispiel zu warm ist im Bienenstock, fächeln Bienen mit ihren Flügeln und ventilieren. Unsere Module können diese drei Stimuli erzeugen und haben außerdem Sensoren, die ihnen die Anwesenheit von Bienen melden. Indem die Module Wärme ausstrahlen, vibrieren und

Abb. 4 Versuchsarena aus dem EU-FET-Projekt ASSISIb mit zwei Robotereinheiten: Eine Gruppe von Bienen entscheidet sich für das lokale Optimum



einen Luftzug erzeugen, emulieren sie z. B. die Anwesenheit einer Gruppe älterer Bienen. Wenn die echten Bienen nahe sind, können die Module sie wahrnehmen und reagieren mit Reizen, welche die Bienen wegscheuchen oder herlocken. Dieses veränderte Verhalten der Bienen wird wiederum von den Modulen wahrgenommen. Und damit ist diese Feedback-Schleife zwischen Bienen und Robotern geschlossen. Wenn man nun viele solcher Module in einem Gitter räumlich verteilt, kann man in einer Art Computersimulation virtuelle Bienen emulieren, die durch die mit den echten Bienen bevölkerte Arena wandern. Je nachdem, wo sie sind, deuten die dazugehörigen Module die Präsenz dieser virtuellen Bienen an. Wir haben es also nicht mit wandernden Robotern zu tun, sondern mit einem durch die Arena wandernden Muster an Reizen. Da es ja im Bienenstock dunkel ist und die Tiere eh nur Wärme, Vibrationen und Luftzug wahrnehmen, nehmen wir an, dass unsere mobilen Agenten von den echten Bienen als Artgenossen wahrgenommen werden. Wir können aber auch anders vorgehen und von der Interaktion der Module untereinander ausgehen. Wir stellen einfache Nachbarschaftsregeln auf, nach denen sich die Module verhalten sollen – so ähnlich wie John von Neumanns zelluläre Automaten. Ein auf diese Weise vernetzter Automat bildet Verhaltensmuster, die sich in Wellen ausbreiten. Jetzt können wir eine evolutionäre Schleife in unsere Versuche einbauen und dem Automat sagen: Finde mir jene Regeln, mit denen die vernetzten Module solche Muster erzeugen, welche die Bienen dazu bringen, gewisse Dinge zu tun oder nicht zu tun. Normalerweise gehen die Bienen zum globalen Wärmeoptimum. Finde in einer evolutionären Schleife Regeln, die dazu führen, dass die Bienen genau das Gegenteil machen und sich im kältesten Bereich des Bienenstocks versammeln.

J.M. Ist das eine mögliche Anwendung eurer Forschung? Z.B. für den Einsatz in der Imkerei?

T.S. Ja! Ein Vorteil des Projektes liegt darin, dass wir Module erzeugen, die das Verhalten von Bienen beeinflussen können. Diese Module könnte man in einen echten Bienenstock einbringen. Denn selbst wenn wir maßstabsgetreue Roboter konstruieren könnten, die sich in einer Arena mit echten Bienen vergesellschaften lassen, heißt das noch lange nicht, dass ich die in den Bienenstock einführen kann, damit sie dort irgendetwas Sinnvolles tun. Aber solche kleinen Module, so kleine Knödel im Bienenstock, das wäre doch möglich! Die machen übrigens nur eine Hälfte des ASSISI-Projektes aus. In der zweiten Hälfte befassen wir uns mit Fischrobotern. Dort haben wir einen Fischroboter mit einem kleinen Fisch, der mit den Fischen durch die Gegend fährt.

J.M. Nochmal zurück zu euren Versuchen. Implementiert ihr in eurer Emulation der virtuellen Bienen auch den BEECLUST-Algorithmus?

T.S. Nun, der BEECLUST-Algorithmus ist das, was die echten Bienen natürlicherweise tun. Würden sich die virtuellen Bienen nun auch gemäß dieser Regel verhalten, würde sich nichts im Gesamtverhalten ändern. Das wäre dann

der Idealfall, dass ich einfach mehr Bienen habe. Aber natürlich wäre das kein besonders spannender Versuch. Viel interessanter ist es doch, perverse Bienen zu simulieren!

M.W. Perverse Bienen?

T.S. Perverse Bienen, die eben nicht den BEECLUST-Algorithmus anwenden, sondern Varianten davon. Zum Beispiel experimentieren wir mit virtuellen Bienen, die keine *random walks* machen. Die Frage bei der Interaktion mit solchen perversen Bienen wäre dann: Wie müssen sie sich verhalten, damit die echten Bienen von ihrem normalen Verhalten abweichen. Wie groß muss die Gruppe der simulierten Bienen sein, um die große Masse zu lenken. Der Einsatz von Provokateuren, Störungsexperimente, sind gang und gäbe in der Biologie. Und dann bringe ich Störungen ein oder schalte eine Komponente aus oder behindere irgendwie eine Interaktion. Und dann schaue ich, was macht denn das System jetzt. Und wenn ich das immer wieder mache, dann lerne ich immer mehr über das System, das ich untersuche.

J.M. Aber ist das noch Artificial Life im engeren Sinne? Für mich klingt das eher nach einer gezielten Intervention in Real-Life-Systeme! Ihr sprecht in eurem Aufsatz ja auch von <hybriden Gesellschaften> ...

T.S. Ja, wenn man das weitertreiben würde, wäre man am Ende bei einem Cyborg-Bienenstock, halb Maschine, halb Organismus. Eine unserer Mitarbeiterinnen arbeitet mithilfe eines 3D-Druckers daran, künstliche Bienenstockelemente für zukünftige ASSISI-Projekte zu synthetisieren. Das sind künstliche Artefakte, die man in den Bienenstock einfügen kann. Dann schauen wir, wie die Bienen darauf reagieren. Im Idealfall fangen die Bienen an, an diese Elemente anzubauen, dann kann man mit dem 3D-Drucker wieder neue passende Elemente drucken. So bauen die Bienen einen Teil des Bienenstocks und den anderen Teil baut der 3D-Drucker, wobei hier die Grenzen schwimmend sind zwischen Kunstprojekt und Anwendung.

J.M. Einige eurer Projekte wurden z.B. bei der Ars Electronica ausgestellt. Welche Rolle hat Medienkunst für euch? Ist das bloße Popularisierung? Oder könnt ihr von Artistic Research profitieren?

T.S. Wir haben immer wieder Künstler und Künstlerinnen, die sich für unsere Arbeit interessieren und dann basierend auf unserer Forschung ganz tolle Dinge machen. Wir profitieren von den Gesprächen mit ihnen. Sie stellen viele, viele Fragen, die uns zum Nachdenken zwingen. Teilweise haben sie kreative Ideen, die dann uns in der Arbeit helfen. Manchmal haben sie die Gabe, ganz einzigartige Aspekte herauszupicken, die man als Nichtkünstler gar nicht sieht. Das gibt uns einen neuen Blick auf die Arbeit, die wir machen. Aber am wichtigsten ist natürlich, dass wir unser Projekt damit bekanntmachen. Das wird nicht zuletzt vom Fördermittelgeber verlangt.

M.W. Mich würde abschließend noch interessieren, wie du den Begriff ›Leben‹ für dich selbst definierst.

T.S. Ich würde sagen, dass man Leben so definieren muss, dass es die relevanten Dinge einschließt und die irrelevanten ausschließt. Wenn ich über Leben auf der Erde rede, dann sollen Steine und Gasmoleküle als Lebewesen ausgeschlossen sein. Wenn ich aber über potenzielle Lebensformen auf anderen Planeten rede, dann könnte ich mich zum Beispiel fragen, ob die Wirbelstürme auf dem Jupiter nicht auch als Lebewesen betrachtet werden könnten. Und dann will ich, um das Ergebnis nicht dogmatisch vorwegzunehmen und um die akademische Diskussion zu ermöglichen, eine weiter gefasste Definition verwenden. Man benötigt also eine Art Arbeitsdefinition für den Bereich, in dem man gerade arbeitet. Die NASA hat für die Forschung nach extraterrestrischem Leben zum Beispiel folgende Definition: ein biochemisches Gebilde, das darwinistischer Evolution unterliegt. Das ist sehr eng gefasst auf das Leben, wie wir es auf der Erde kennen. Ein Science-Fiction-Autor wäre damit wahrscheinlich nicht zufrieden. Und auch wenn wir uns die Frage stelle, wann ein Roboter zu einem Lebewesen wird, reichen konventionelle Definitionen vielleicht bald nicht mehr aus. Wenn ich selbstreplizierende Roboter aus Chrom, Stahl oder Plastik mit künstlicher Intelligenz und evolutionäre Algorithmen habe, wird man an irgendeiner Stelle eine Grenze überschreiten und ein Lebewesen schaffen. Das ist vielleicht nicht der darwinschen Evolution unterworfen, weil der Roboter keine Gene hat, keine Basenpaare, keine DNA. Aber dieser Roboter hat dann halt eine Config-Datei, welche die Aufgabe der DNA übernimmt. Dann werden wir uns andere Definitionen für das Leben suchen müssen. In dem Moment, wo selbstreplizierende Roboter in die freie Natur entkommen und dort bleiben, werden sie Teil dieser Ökologie. Sie werden anfangen, mit den uns bekannten – nennen wir sie Typ-A-Lebewesen – zu interagieren. Die neuen Lebewesen – Lebewesen vom Typ B – werden mitmischen und wir werden diese neuen Lebewesen in unsere Definitionen einbeziehen müssen. Vielleicht untersuchen wir in der Biologie dann nicht mehr nur die Evolution der DNA, sondern auch die der Config-Datei. Wir werden eine Mischökologie haben zwischen den Lebewesen Typ A und Lebewesen Typ B.

Das Gespräch fand am 28.8.2017 in Graz statt