

## COPYRIGHT

Dieses Manuskript ist urheberrechtlich geschützt. Es darf ohne Genehmigung nicht verwertet werden. Insbesondere darf es nicht ganz oder teilweise oder in Auszügen abgeschrieben oder in sonstiger Weise vervielfältigt werden. Für Rundfunkzwecke darf das Manuskript nur mit Genehmigung von Deutschlandradio Kultur benutzt werden.

Deutschlandradio Kultur  
Forschung und Gesellschaft  
14.2.2013, 19.30 Uhr

## Das Versprechen der Schwärme

### Kollektive Intelligenz im Test

Von Frank Kaspar  
Redaktion: Jana Wuttke

-- Manuskript Sendung --

#### Musik 1 – A. Silvestri: „The Abyss“ / Soundtrack

#### ZITATOR (1)

Ich sah etwas, das aussah wie eine kleine, wirbelnde Wolke aus dunklen Partikeln.  
(...) Die Umrisse verwandelten sich ständig, gestalteten sich immer wieder neu.

(Michael Crichton, Beute, S. 182)

#### O-Ton 1 – Verena Hafner, Professorin für kognitive Robotik (DR 723 / (10:26)

Was an Schwärmen so faszinierend ist: dass aus relativ einfachen Regeln dann ein sehr, sehr komplexes Verhalten für den Gesamt-Schwarm entsteht.

#### O-Ton 2 – Bert Hölldobler, Biologe (OT „Allein“: 26)

Ich benütze gerne für solche Sozietäten den Begriff eines „Superorganismus“.

#### ZITATOR (2)

Hier schien verwirklicht, was man zuweilen im Traum zu fassen glaubte: daß die Materie denkt.

(Ernst Jünger, Gläserne Bienen, S. 30)

#### O-Ton 3 – Sebastian Vehlken, Medienwissenschaftler (14:15)

Hier regelt quasi das System sich selbst, hier wird so etwas wie eine Programmier-Intelligenz in das System abgegeben, und es pendelt sich dann in Bezug auf dynamische Umweltbedingungen selbst ein.

#### **O-Ton 4 – Tobias Harks, Mathematiker (DR 691 / (40:21)**

Und wie man das erreicht, das sind eigentlich die Fragen, mit denen wir uns beschäftigen, die auch die Biologen stellen: Wie kann man solche verteilten Systeme eigentlich steuern?

#### **O-Ton 5 – Bert Hölldobler, Biologe (OT „Allein“)**

Wie funktioniert denn das? // Diese enorme Koordination! // Das alles hat in mir natürlich eine enorme Faszination ausgelöst!

**Musik 1 – Ende**

#### **SPRECHERIN (1)**

Schwärme haben Naturbeobachter seit der Antike fasziniert. Aus dem Flug der Vögel versuchten Auguren die Zukunft zu lesen. Die blitzschnellen Manöver großer Fischschwärme, in denen jeder Leib einem einheitlichen Willen zu gehorchen schien, gaben den Seeleuten Rätsel auf. Die Raubzüge der Wanderameisen oder die raffinierte Architektur von Termitenhügeln ließen Forschungsreisende über Gemeinschaftsleistungen staunen, die man keiner einzelnen Ameise oder Termite je zugetraut hätte.

#### **AUTOR (1)**

Der Schwarm galt lange Zeit als unergründlich, ungreifbar, unkalkulierbar, als form- und regelloses Phänomen schlechthin, kurz: als Inbegriff des Chaos.

Bis um das Jahr 2000 auf einmal ganz andere Schlagworte die Runde machten, die Schwärme in ein neues, viel versprechendes Licht rückten.

#### **SPRECHERIN (2)**

Von „Schwarmintelligenz“ und „Selbstorganisation“ war jetzt die Rede. Trendforscher warben für die „Macht der smarten Mehrheit“. Informatiker und Biologen, Ökonomen, Ingenieure und Soziologen analysierten das Schwarm-Verhalten von Tieren, um menschliche Angelegenheiten besser regeln zu können – von der Steuerung des Straßenverkehrs bis zur Abstimmung gemeinsamer Entscheidungen, von der Planung sicherer Fluchtwege bis zur Konstruktion kooperativer Roboter.

#### **AUTOR (2)**

Als ob das Unberechenbare berechenbar geworden wäre, hat sich das Bild des Schwarms gewandelt: vom unheimlichen Naturphänomen zu einem Vorbild für technische Anwendungen und effiziente Organisation – vom Mysterium zum Erfolgsprinzip.

### **O-Ton 6 – Andreas Neef, Zukunftsforscher („Allein“ OT 34)**

Ich denke, eine wichtige Eigenschaft des Schwarms ist eben, in der Lage zu sein, mit einer hohen und dynamischen Umwelt-Komplexität fertig zu werden. Das ist ganz zentral. Der Schwarm ist insofern eine Form, mit der Komplexität bewältigt werden kann, ohne sie zu vereinfachen.

### **SPRECHERIN (3)**

Andreas Neef ist Zukunftsforscher und einer der Geschäftsführer der Agentur Z\_Punkt. Im Auftrag großer Unternehmen macht Z\_Punkt Voraussagen über die Entwicklung von Märkten und gesellschaftlichen Trends.

### **O-Ton 7 – Andreas Neef (“Allein”: OT 19)**

Für unser Denken und für unsere Arbeitsweise spielt der Begriff der Metapher eine sehr große Rolle, denn die Metapher ist eine kreative Art und Weise, die Evolution der Gesellschaft voranzutreiben.

### **AUTOR (3)**

Die Bilder, mit denen wir unsere Welt beschreiben, sagt Andreas Neef, wechseln mit den jeweils vorherrschenden Technologien.

### **SPRECHERIN (4)**

Im Industriezeitalter prägte die Mechanik das Bild von Leben und Arbeit.

### **O-Ton 8 – Andreas Neef (“Allein”: OT 21 / ca. 0:25ff.)**

In der Industriegesellschaft hat man ein Unternehmen aufgebaut wie eine Maschine. Die musste im Takt funktionieren, am Fließband, hier sind praktisch starke Hierarchien, hier wurde von oben zentral gesteuert, und die Teile mussten zusammenpassen möglichst optimal, wie Rädchen in einer Maschine. Und genauso wurden die Menschen betrachtet, eben als Rädchen in dieser Maschine Unternehmen.

### **AUTOR (4)**

Dann kam der Computer und mit ihm die Metapher des Netzwerks.

### **O-Ton 9 – Andreas Neef (“Allein”: OT 22)**

Heute spricht man bei Unternehmen von „vernetzten Unternehmen“, von „Netzwerk-Unternehmen“, man hat Veränderungen der Organisationsstruktur, es gibt flache Hierarchien, es gibt Teamorganisation, es gibt flexible Formen auch Prozesse zu organisieren, (...) aber wir sehen eben, dass diese Netzwerkmetapher sozusagen ihren Zenit überschritten hat, an Kraft verliert ...

### **SPRECHERIN (5)**

Je dichter die Netze geknüpft sind, desto starrer und unübersichtlicher drohen sie zu werden. Es wurde Zeit für ein dynamisches, lebendiges Leitbild, sagt Andreas Neef. Drei Kern-Ideen haben das Bild des Schwarms attraktiv gemacht.

### **O-Ton 10 – Andreas Neef (“Allein”: OT 44 / 0:18)**

Das erste ist das Primat der Dezentralität, nämlich der Verzicht auf zentrale Planung, zentrale Lenkung, Verzicht auf Hierarchie, der zweite ist das Prinzip der Selbstorganisation, das eben sowohl der einzelne selbstverantwortlich in seinem Handeln ist und gleichzeitig sich eben koordiniert mit anderen in seinem direkten Umfeld, und das Dritte ist die direkte Kommunikation untereinander als Voraussetzung. Und gerade diese drei Aspekte finden sich wieder in einer ganzen Menge von Konzepten, von Bewegungen, die man sieht in der Gesellschaft und die man unter diesem Oberbegriff des Schwarms auch zusammenfassen könnte.

### **O-Ton 11 – „Quadrokopter“: HU, Lehrstuhl für Kognitive Robotik (DR 720)**

*Start-Signale Gerät – (DR 720 / 0:08) weitere Signale ...*

### **AUTOR (5)**

Die Schwarmforscher von heute erproben ganz pragmatisch, wie sich das Wissen der Schwärme auf künstliche Systeme übertragen lässt. Für sie ist der Schwarm keine Metapher, sondern ein Modell.

### **O-Ton 12 – Oswald Berthold, Doktorand HU Berlin (DR 721 / 1:08)**

Das sind schon unterschiedliche Komponenten, die da piepen, also, wir hören ...

*Geräusch: Bereitschafts-Signale -*

Das erste Piepen kommt von der Flug-Elektronik, und dieses: vier Mal, diese Sequenz, die kommt direkt aus den Motoren,...

### **AUTOR (6)**

Berlin Adlershof, im Institut für Informatik der Humboldt-Universität, erste Etage links. Auf dem Flur wird ein ungewöhnliches Flugobjekt startklar gemacht.

... (0:12ff.) *Start-Geräusch Rotoren ...*

Vier Propeller heben den „Quadrokopter“ in die Höhe. Doktorand Oswald Berthold manövriert die Maschine per Fernbedienung durch den Korridor. Verena Hafner, die Leiterin der Forschungs-Gruppe, erläutert die Technik an Bord.

#### **O-Ton 13 – Verena Hafner (DR 719 / (ca. 4:00)**

Hier auf den großen, da sind verschiedene Boards drauf, einmal die Flight Control, die von diesen „Mikro-Kopter“-Fluggeräten kommt, die ist nur zur Stabilisierung da, und wir haben zusätzlich da weitere Prozessoren drauf, (...) auf denen läuft Embedded Linux, und da geschieht auch die ganze Bildverarbeitung und die Steuerung des Kopters. // (3:40) Da können wir auch *indoor*, in einem Raum, mal Experimente machen oder mit einem ganzen Schwarm von Robotern, ohne dass wir erst mal das passende Testgelände brauchen.

#### **SPRECHERIN (6)**

Verena Hafner ist Juniorprofessorin für Kognitive Robotik. Mit ihrem Team baut sie Maschinen, die lernen sollen, selbständig zu navigieren, zunächst allein und in Zukunft auch im Schwarm.

#### **O-Ton 14 – Verena Hafner (DR 723 / (29:54)**

In der kognitiven Robotik geht es darum, künstliche intelligente Wesen zu schaffen und intelligentes Verhalten zu verstehen ...

#### **SPRECHERIN (7)**

Die Flugmaschinen, die sich intelligent verhalten sollen, heißen „Multikopter“: Es sind Hubschrauber mit vier, sechs oder acht Rotoren und genau so vielen Beinen. Verena Hafner und ihr Team haben Bausätze für Modell-Flieger mit kleinen Bord-Computern nachgerüstet, damit die Geräte lernen können, irgendwann ohne die Fernbedienung der Forscher zurecht zu kommen.

#### **O-Ton 15a – kleinerer „Quadrokopter“, HU (DR 719)**

*Fluggeräusch: insektenhaftes Summen*

#### **SPRECHERIN (8)**

Für die Navigation verwenden die Roboter Methoden aus der Insektenwelt. Bevor sie los fliegen, speichern sie den Schnappschuss einer 360-Grad-Kamera, die dem Facettenauge eines Insekts entspricht. So lange sie in Sichtweite des

Ausgangspunktes bleiben, können sie im Verhältnis zu diesem Bild jederzeit ihre Position bestimmen. Biologen gehen davon aus, dass Ameisen und Bienen im Gelände auf dieselbe Art zu ihrem Bau oder Stock zurück finden.

### **AUTOR (7)**

Für einen Flug-Roboter, erst recht, wenn er lernen soll, im Schwarm zu fliegen, bedeutet "Intelligentes Verhalten", die Fähigkeit, sich zu orientieren, sagt Verena Hafner. Das kann die Maschine nur durch Versuch und Irrtum lernen, indem sie Kamera-, Geschwindigkeits- und Richtungs-Daten speichert und mit der eigenen Bewegung ständig abgleicht – wie ein Kind, das Laufen lernt.

### **O-Ton 17 – Verena Hafner (DR 723 / (3.50)**

Die sind jetzt so weit autonom, dass sie zum Beispiel (...) starten und landen können, und auch sich an einer Stelle stabil positionieren, das Ganze ohne GPS, also indoor, nur mit Hilfe der Kameras. // (17:54) Im Moment sind wir noch hauptsächlich daran, die Navigations-Strategien der einzelnen Flug-Roboter entsprechend zu verbessern oder auszutesten. Und das ist auch im Grunde die Voraussetzung für einen Schwarm an fliegenden Robotern. Einerseits müssen die natürlich selbst stabil fliegen können, und dann aber auch andere erkennen können, Hindernisse erkennen können und entsprechend vermeiden können, und wenn man diese Grundvoraussetzung hat, dann kann man wirklich erst das Schwarmverhalten testen.

### **O-Ton 15b – kleinerer „Quadrocopter“, HU (DR 719)**

*Looping und Absturz*

### **AUTOR (8)**

Und warum sollten fliegende Roboter überhaupt gemeinsam ausschwärmen?

### **SPRECHERIN (9)**

Im Schwarm könnten sie noch besser leisten, was Verena Hafner zurzeit in einem Einzel-Test erprobt. Zusammen mit Agrarwissenschaftlern und -ingenieuren bereitet ihre Forschungsgruppe einen „Agricopter“ auf seinen Einsatz vor: Als „fliegendes Auge“ soll der Roboter ausgewählte Felder begutachten, damit Düngemittel präziser dosiert werden können. Im Überflug registriert eine Kamera den Zustand des Bodens und das Wachstum der Pflanzen.

### **O-Ton 18 – Verena Hafner (DR 723 / (26:20)**

In unserem „Agricopter“-Projekt, das ist jetzt erst mal nur mit einem Flugroboter gedacht, aber wenn man dafür mehrere einsetzen könnte, das wäre natürlich von

Vorteil. Erstens ginge es schneller, und das ist natürlich gut, wenn ein ganzes Feld jetzt zum Beispiel in 20 Minuten abgeflogen werden kann, anstelle von 3 Stunden, weil sich da natürlich auch die Sonnen-Einstrahlung ändert und dann entsprechend die Bilder nicht mehr so gut vergleichbar sind. Oder wenn ein ganzer Schwarm an Robotern so ein Feld abfliegen würde, dann könnte man natürlich auch noch die Kamera-Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln zum exakt gleichen Zeitpunkt vergleichen und könnte dadurch bessere Aufnahmen bekommen.

**Musik 2 – B. Coulais: «L'heure chaude» (Aus: „Mikrokosmos“)**

**Atmo 1 – „Krähenschwarm“ (Geräusch-Archiv)**

### **SPRECHERIN (10)**

Wenn es soweit ist, braucht kein Landwirt Flugstunden zu nehmen, um die Roboter zu bedienen: Sobald der „Agricopter“ sein Ziel kennt, soll er selbständig los fliegen, um Daten zu sammeln.

### **AUTOR (9)**

Ein Bauer, der Roboter ausfliegen lässt wie der Imker sein Bienenvolk – noch ist das eine Zukunfts-Vision.

### **SPRECHERIN (11)**

Eine Vision, die der Schriftsteller Ernst Jünger in seinem Roman „Gläserne Bienen“ schon in den 50er Jahren beschrieb. Der Erzähler ist ein preußischer Kavallerie-Offizier, dem die technisierte Welt der Moderne fremd geblieben ist. Als er bei einem exzentrischen Erfinder anheuert, sieht er auf dem Anwesen seines Arbeitgebers ein höchst seltsames Bienvolk ausschwärmen.

### **ZITATOR (3)**

Die Flügel waren nicht beweglich wie Vogel- oder Insektenflügel, sondern sie waren als starrer Saum um den Körper herumgeführt, also eher Stabilisierungs- und Tragflächen. (...) Ich hörte nun auch ihr zartes Pfeifen, das sich kurz überschlug, wenn sie kurz vor den Blüten abbremsten. (...) Ich erfaßte verschiedene Modelle, verschiedene Automatenvölker, die Feld und Büsche abweideten. Besonders stark gebaute Tiere trugen eine ganze Garnitur von Rüsseln, die sie in Dolden und Blütentrauben eintauchten. Andere waren mit Greifarmen ausgerüstet, die sich als zarte Zangen um die Blütenbüschel legten und den Nektar herauspreßten. (...), ohne

Zweifel befand ich mich auf einem Versuchsfeld, auf einem Flugplatz für Mikroroboter.“

(Ernst Jünger, Gläserne Bienen, S.86f. / 95)

## **Atmo 2 – Insekten-Summen (Takeband Geräuscharchiv)**

### **O-Ton 19 – Sebastian Vehlken (44:30)**

Ich glaube auf jeden Fall, dass Schwarmintelligenz eine ganz bestimmte Art von Intelligenz ist, (...) ich habe diese Art von Schwarmintelligenz beschrieben als „Bewegungs-Intelligenz“ – (45:04) Also, da, wo es um Raum-Koordination geht, um Koordination von Objekten im Raum, (...) Zusammenstellung von Objekten im Raum zu einer Kollektiv-Struktur, zu etwas sich Verfestigendem etc. oder zu etwas, das fluider werden soll, dort kann Schwarmintelligenz eine große Rolle spielen ...

### **SPRECHERIN (12)**

Dass „Schwarmverhalten“ und „Schwarmintelligenz“ heute in aller Munde sind, ist einer relativ neuen Allianz von biologischer Schwarmforschung mit Informatik zu verdanken, sagt der Lüneburger Medienwissenschaftler Sebastian Vehlken. In einer umfangreichen Studie hat er die Geschichte der Schwarmforschung nachgezeichnet. Erst seitdem Schwarm-Formationen auf einfache Formeln gebracht und in Computer-Simulationen künstlich erzeugt werden können, sind sie als Experimentierfeld für so unterschiedliche Akteure wie Künstler und Soziologen, für Trendforscher, politische Aktivisten oder Militär-Strategen attraktiv geworden.

### **O-Ton 20 – Sebastian Vehlken (8:46)**

Ich brauche eine dritte Ebene, eine technische Ebene, die mir ermöglicht, den Vergleich von Schwärmen in der Natur mit *Swarm Intelligence* im menschlichen Bereich erst hinzubekommen, (...) und vorher geht das nicht. // (8:28) Man hat nicht eine Zoologie und eine Soziologie, die miteinander verschränkt werden können, sondern es braucht technische Anwendungen – deswegen dann halt der Begriff der „Zootechnologie“ –, über die diese Vergleiche erst vermittelt werden können.

### **AUTOR (10)**

„Zootechnologien“ heißt auch Vehlkens Studie. Das Naturphänomen „Schwarm“, schreibt er, konnte erst in dem Moment von der Metapher zum Modell werden, als es aufhörte, Natur zu sein.

### **ZITATOR (4)**

„Schwärme wandelten sich (...) erst durch eine *Streichung* der Natur, durch einen *Entzug von Natürlichkeit* zu operativen Kollektivmodellen. *Schwarmintelligenz* beruht auf einer Optimierung formaler Beziehungen in geeigneten Modellen“.

(Vehlken, Zootechnologien, S. 12)

### **O-Ton 21a – Bert Hölldobler (Jana) (4:32)**

Das würde ich schon sehen, und viele Modelle, die in der IT-Welt entwickelt wurden, die haben sich zunächst an das angelehnt, was bei den Ameisen gefunden wurde.

### **SPRECHERIN (13)**

Was Ameisen uns zu sagen hätten, sagt der Ameisenforscher Bert Hölldobler, zeigt sich in der Übersetzung ihrer Schwarmtaktiken in technische Anwendungen.

### **O-Ton 21b – Bert Hölldobler (Jana) (4:44)**

Auch zum Beispiel die schnelle Kommunikation entlang langer Ameisen-Straßen, dieser fast reibungslose Verkehr, der ist dann entwickelt worden in der Faser-Entwicklung für schnelle Kommunikations-Systeme. Ich verstehe zu wenig von dem technischen Bereich, weiß aber von den Kollegen, die auf diesem Gebiet arbeiten, dass sie immer sehr viele Anregungen aus dem Modellieren – ich meine, was wir machen: Wir sammeln ja die empirischen Daten und versuchen dann das Ganze auch in ein System zu bringen, indem wir Modelle entwickeln. Und diese Modelle, die waren dann zum Teil sehr wertvoll für unsere Kollegen, die dann eigentlich in der Technologie arbeiten. // (6:10) speziell in der Kommunikations-Technologie haben die sozialen Insekten manches dazu geliefert.

### **AUTOR (11)**

Wenn man die wesentliche Qualität des Ameisen-Kollektivs erfassen und die einzelne Ameise zu den erstaunlichen Leistungen der Kolonie ins Verhältnis setzen will, meint Bert Hölldobler, dann kommt man um den Vergleich mit anderen Disziplinen ohnehin nicht herum.

### **O-Ton 22 – Bert Hölldobler – ("Allein": OT 21 / 0:08ff.)**

Die Ameisen sind ganz einfach ideale Modellsysteme für bestimmte Fragen, die Sie beantwortet haben wollen, und da eignen sich eben die Ameisen und andere soziale Insekten besonders gut. // („Allein“: OT 26) Ich benütze gerne für solche Sozietäten den Begriff eines „Superorganismus“. // („Allein“: OT 27 / 0:30ff.) So ein Ameisen-Staat, der wird oft verglichen, und zu Recht, mit einem Gehirn. Ein Gehirn besteht aus vielen Neuronen, also Nervenzellen, jede einzelne Nervenzelle ist ziemlich dumm, aber wenn Sie einige Millionen oder gar Milliarden zusammenschalten in einer Weise, wie es die Neurobiologen auch noch nicht ganz verstehen, dann kommen emergente Leistungen hervor, die kein einzelnes oder noch nicht einmal ein paar Neuronen zusammen leisten können. So ist es im Ameisen-Staat.

### **O-Ton 23 – Verena Hafner (DR 723 / (11:24)**

Und das ist eben so faszinierend, dass jedes einzelne Individuum gar keine besonders große Intelligenz benötigt, um eben dieses schon intelligente Schwarmverhalten entstehen zu lassen. (11:37) Und in der Natur gibt es dafür natürlich viele Beispiele ...

### **O-Ton 24 – Bert Hölldobler – ("Allein": OT 27 / 1:02ff.)**

Die emergenten Strukturen, die aus dieser Interaktion von Millionen von Ameisen herauskommen, sie sind nicht so komplex wie unsere Gehirnleistungen, aber wenn Sie sich so ein Ameisennest anschauen, speziell von den Blattschneiderameisen, dann kann man nur erstaunt sein: ein unglaubliches Kanalsystem mit Entlüftungsschächten und allem, und das alles ohne Architekt!

### **O-Ton 25 – Verena Hafner (DR 723 / (11:24)**

... da gibt es keinen Bauplan, (...) sondern es entsteht eben aus der Zusammenarbeit vieler, vieler einzelner.

### **ZITATOR (5)**

„Die Bevölkerung des Ameisenhügels, des Bienestocks, des Termitennestes scheint [...] ein einziges Individuum, ein einziges lebendes Wesen zu sein, dessen Organe aus unzähligen Zellen gebildet, nur dem Anschein nach verstreut sind, aber stets derselben vitalen Energie oder Persönlichkeit, demselben Zentralgesetz unterworfen bleiben.“

(Maeterlinck: Termiten, 205)

### **SPRECHERIN (14)**

Der Schriftsteller Maurice Maeterlinck hat schon vor hundert Jahren über die Gesellschaften der Insekten nachgedacht. 1901 schreibt er über das Leben der Bienen, 1926 über Termiten und 1930 auch ein Buch über Ameisen. Immer wieder stellt er die Frage nach der verborgenen Kraft, die das Gewimmel in geordnete Bahnen lenkt.

### **ZITATOR (6)**

Wer herrscht und regiert in der Gemeinde? Wo verbirgt sich der Kopf oder Geist, der befiehlt und dem ohne Widerrede gehorcht wird?“

„Im *Leben der Bienen* habe ich mangels einer besseren Erklärung die Leitung, die voraussehende und geheimnisvolle Verwaltung des Gemeinwesens dem ‚Geist des Bienestocks‘ zugeschrieben. Aber das ist nur ein Wort, das eine unbekannte Wirklichkeit umkleidet und nichts erklärt.“

**O-Ton 26 – Hölldobler („Allein“ OT 24)**

Na ja, Maeterlinck hat von dem „Geist im Bienenstock“ gesprochen, // (0:15) Wir benutzen heute genauso so eine Metapher, wir sprechen von „Selbstorganisation“. Das ist auch nur ein Wort. Ich bin immer recht unzufrieden, wenn man sagt, das sind selbst organisierende Systeme. Das sind sie natürlich. Aber ich als experimenteller Verhaltensbiologe möchte gern die Signalketten verstehen, die zu dieser so genannten Selbstorganisation führen.

**AUTOR (12)**

Über die Natur der Anziehungskräfte, die in der Natur wirksam sind, haben Biologen seit langem spekuliert.

**SPRECHERIN (15)**

Erste Versuche, diese Anziehungs-Kräfte zu berechnen, gab es in den dreißiger Jahren. Aber erst in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts ist die Forschung dabei einen wesentlichen Schritt weiter gekommen.

**O-Ton 27 – Sebastian Vehlken (ca. 23:35)**

– und interessanterweise sind es da nicht Biologen, die jetzt maßgeblich an der Entwicklung neuer Modelle beteiligt sind, sondern es sind Grafik-Designer, und zwar Grafik-Designer, die für Animationen, also für Special Effects, Schwärme oder Schwarm-Kollektive ins Bild bringen wollen. Und die sagen sich, es ist total mühsam, wenn ich jetzt hier anfangen, tausend Individuen zu haben und für jedes Individuum einen Bewegungs-Pfad zu schreiben, vorzuprogrammieren. Dann muss ich unter Kontrollen halten, dass im Laufe der Zeit, über die Filmbilder hinweg, diese Agenten nicht miteinander kollidieren etc., und das ist extrem arbeitsaufwändig und rechenintensiv. Und die modellieren dann, weil es einfacher ist, genau dieses Kollektivsystem aufgrund ganz einfacher Algorithmen, die teilweise, wie gesagt, in der Biologie auch schon angedacht wurden.

**SPRECHERIN (16)**

Flieg oder schwimm in dieselbe Richtung wie dein Nachbar! Bewege dich in die Mitte des Schwarms! Stoße mit niemandem zusammen! Das sind die drei Grundregeln, mit denen der Designer Craig Reynolds die Fledermaus-Schwärme für Tim Burtons Film „Batman Returns“ programmiert hat. Derart instruiert, bewegten die animierten Tiere sich äußerst lebensecht – und sie umflogen Hindernisse, ohne dass ihnen dies irgend jemand zusätzlich eingeben musste.

**O-Ton 28 – Sebastian Vehlken (26:42)**

Und das ist nicht nur interessant für Filmproduzenten, die dann einfach die Bilder machen und benutzen, sondern Biologen gucken sich das an und denken sich: Klar, das wäre eine Strategie, die mir ermöglicht, zusätzlich zu den Labor-Forschungen, wo ich schon seit 50 Jahren versuche, Schwärme zu filmen, und das irgendwie extrem schwierig ist, zusätzlich zu Forschung im offenen Ozean, wo ich versuche, mit Sonar-Systemen Schwärme abzutasten, hier eine neue Art von (...) Strategie zu implementieren, die Wissen über Schwärme erzeugen kann. // (ca. 26:35) Also, man hat so etwas wie eine virtuelle Experimental-Umgebung.

### **SPRECHERIN (17)**

So schließt sich der Wissens-Zyklus der Computer-Schwärme: Programmierer, die einen künstlichen Schwarm überzeugend darstellen wollen, lesen nach, welche Vermutungen Biologen über die Bindekräfte im Schwarm angestellt haben. Sie speisen diese spekulativen Regeln in Programme ein und testen, welches Schwarmverhalten dabei heraus kommt. Die Biologen sind begeistert, denn damit bekommen sie ein Werkzeug an die Hand, mit dem sie in einer künstlichen Parallelwelt durchspielen können, was sich in Lebend-Experimenten nur schwer untersuchen lässt.

### **AUTOR (13)**

Schwärme, sind dabei nicht nur Objekte, schreibt Sebastian Vehlken, sondern auch Verfahren der Forschung. Die Folge: Man kann zumindest immer raffinierter spekulieren.

### **Atmo 4 – Autoverkehr, letzter Track)**

#### **O-Ton 30a – Tobias Harks. Mathematiker (DR 691 / 3:07)**

Verkehrsflüsse, // (22:43) ähnlich wie auch Datenflüsse im Internet, // (35:22), ich denke, das sind mit die spannendsten von Menschen gemachten autonomen Systeme, die wir in dieser Zeit haben. // (35:10) Das sind sozusagen vom Menschen gemachte, künstliche Schwärme oder künstliche Systeme, die wir ja zunächst verstehen wollen. // (ca. 23:55) Und sobald wir Modelle haben, um diese Formationen zu beschreiben, möchten wir natürlich auch diese Formationen verändern oder beeinflussen, in dem Sinne, dass wir Stau reduzieren wollen, in dem Sinne, dass wir Verkehrszeiten oder Fahrzeiten reduzieren wollen. Das ist eigentlich das Ziel in der Verkehrs-Optimierung.

### **SPRECHERIN (19)**

Tobias Harks untersucht als Mathematiker an der Universität Maastricht, wie man mit künstlichen Schwärmen umgehen kann, wenn sie sich nicht intelligent verhalten.

### **O-Ton 31 – Tobias Harks (DR 691 / (3:03)**

Die biologischen Vorbilder sind ganz klar, dass man versucht, Verkehrsflüsse erst mal zu erfassen und zu modellieren. Und dazu nimmt man ganz bewusst die Analogie zum Schwarm, dass jeder Verkehrsteilnehmer eigentlich eine autonome Entscheidung trifft, (...) und man trotzdem aus globaler Sicht immer wiederkehrende Flussmuster erkennt, die global gesteuert scheinen – es aber nicht sind. // (ca. 23:30) Also, der Morgenverkehr in der Großstadt erfolgt eigentlich nach immer den gleichen Flussmustern wie der Abendverkehr. Das sind stabile Zustände, die man durchaus als Schwarm-Formationen bezeichnen kann. (23:45)

### **AUTOR (14)**

In der Großstadt, wo keiner den anderen kennt, sagen Biologen, verhalten Menschen sich ähnlich wie Fisch- oder Vogelschwärme.

### **SPRECHERIN (20)**

Allerdings gehört das Schwarm-Dasein nicht zu unserer Natur – und das Verhalten, das Menschen dabei an den Tag legen, führt keineswegs ganz von allein zum besten Ergebnis für die Gemeinschaft.

### **O-Ton 32 – Tobias Harks (DR 691 / ca. 5:20)**

Ein Autofahrer macht das für sich bestmögliche. Ein Autofahrer nutzt beispielsweise ein Navigationssystem, was für ihn einfach die beste Route unter aktuellen Verkehrsbedingungen berechnet. (5:34) Leider ist diese Lösung nicht immer optimal im Sinne der Gesamtfahrzeit für alle Autofahrer. // (6:04) Und das ist genau der Widerspruch, mit dem wir uns befassen: Wie kann man ein System verändern – vielleicht durch Straßenbau, vielleicht durch eine Ampelschaltung, vielleicht durch die Erhebung von Mautgebühren –, so dass, wenn Autofahrer sich auf dem neuen System wieder egoistisch verhalten, etwas sozial Gutes heraus kommt?

### **SPRECHERIN (21)**

Wie man Verkehr in bessere Bahnen lenkt, versteht sich nicht von selbst. Manchmal haben Eingriffe ins Netz völlig andere Effekte als man auf den ersten Blick erwarten würde. Das zeigt ein Beispiel aus New York, das Stadtplanern zu denken gibt.

### **O-Ton 33 – Tobias Harks (DR 691 / ca. 12:00)**

In New York gab es mal das Phänomen, dass die 42. Straße für einen gewissen Zeitraum geschlossen wurde wegen Bauarbeiten, und sich eigentlich der Großteil der New Yorker gefreut hat, weil alle kürzere Wege erfahren haben, // (13:05) Eigentlich

ein Paradox: Man verkleinert die Infrastruktur, erzielt aber einen positiven Effekt für alle Verkehrsteilnehmer. // (ca. 12:42) Das Problem bei der 42. in New York war, dass das (...) eine vermeintliche Abkürzung für viele Menschen war, die dann auch von vielen Menschen genutzt wurde, weil aber zu viele Menschen nun diese Abkürzung genutzt haben, ist sie keine Abkürzung mehr, weil jetzt dort Stau herrscht und die Situation eigentlich für alle schlechter ist als sie wäre, wenn diese Straße geschlossen ist.

### **SPRECHERIN (22)**

Die Verkehrs-Planer fahren gut damit, in ihren Simulations-Spielen mit Egoisten zu rechnen. Aber Tobias Harks hat andere Ziele. Um wirklich etwas zu verbessern, sagt er, bräuchte es eine elektronisch gestützte Solidarität auf der Straße.

### **O-Ton 34 – Tobias Harks (DR 691 / (41:23))**

Ich denke, wenn man es schafft, ein Bewusstsein bei Autofahrern zu schaffen, dass, wenn sie gewissen Routen folgen, (...) dadurch zum Beispiel der Schadstoff-Ausstoß reduziert werden kann, wenn man dieses Bewusstsein schafft, dann, denke ich, gewinnen solche optimierte Routenvorschläge auch mehr an Akzeptanz. // (42:33) Ich könnte mir vorstellen, dass (...) ein Navigationsanbieter eine Fahrzeit-kürzeste Route anbietet aber alternativ auch eine „Grüne Route“, die vielleicht Fahrzeit-mäßig ein bisschen länger, dafür aber CO<sup>2</sup>-sparender ist.

### **AUTOR (15)**

Überraschungen wie das Paradox der 42. Straße kann man auch erleben, wenn Schwärme von programmierten Verkehrsteilnehmern zu Fuß unterwegs sind.

### **SPRECHERIN (23)**

Computersimulationen helfen Architekten oder Organisatoren von Massen-Veranstaltungen, sich in Notsituationen hinein zu denken, in denen Menschen schneller handeln als sie denken können.

Dabei kann Schwarmintelligenz Lösungen ins Spiel bringen, auf die ein vernünftiger Mensch nie gekommen wäre, sagt Verena Hafner.

### **O-Ton 35 – Verena Hafner (DR 723 / (14:41))**

Man konnte mit Computersimulation zum Beispiel feststellen, dass bei einem Notausgang, wenn man vor diesen Notausgang ... eine Betonsäule stellt, dass es dann von Vorteil ist, dass die Leute schneller den Raum verlassen können: (...) diese Säule nimmt einerseits den Druck der Masse ab, und sie teilt die Menschenmenge in die richtige Richtung, und von daher ist es sinnvoll, da so eine Säule, eine runde Säule vor diesen Notausgang zu stellen.

## **SPRECHERIN (24)**

Wenn Konzertbesucher nur noch kopflos regieren, müssen die Wände schlauer sein als die Menschen. „Panikforschung“ oder „Crowd Control“ hat wenig mit Psychologie zu tun, sagt Sebastian Vehlken, und umso mehr mit Statistik und mit den einfachen Grundregeln einer Computersimulation, wie man sie aus dem Kino kennt.

### **O-Ton 36 – Sebastian Vehlken (31:42)**

Ein Beispiel wäre (...) ein großes Software-Tool, das für die Animation von „Der Herr der Ringe“, also von dieser Trilogie von Peter Jackson, (...) produziert wurde (...). Das Programm nennt sich „Massive“, und damit kann man halt Animationen machen. Damit kann man aber auch, wenn man es ein bisschen anpasst, so was wie „Crowd Control“ und Panikforschung betreiben. // (32:16) Und da hat man quasi auf der gleichen Plattform diese Anwendungs-Ebene direkt zur Verfügung und folgt der gleichen Logik, wenn ich damit jetzt auf einmal nicht Schlachten im Film simulieren will bzw. animieren will, sondern wenn ich quasi die Schlacht nach dem Fußballspiel vermeiden will, beim Menschen.

### **Musik 2 – B. Coulais: «L’heure chaude» (Aus: „Mikrokosmos“)**

## **ZITATOR (8)**

Die Kamera zeigte jetzt ein ebenerdiges Bild von der Staubwolke, die wirbelnd auf uns zukam. Das Schlängeln, das Hin und Her, war offenbar nur ein Teil der Fortbewegung. Ich erkannte auch ein rhythmisches Ausdehnen und Zusammenziehen, ein Pulsieren, fast wie Atmung. // Als ich die Wolke beobachtete, (...), sah ich, dass Teile von ihr hin und wieder das Sonnenlicht auffingen, sie glänzten und schillerten silbrig. Dann verblasste die Farbe, und der Schwarm wurde wieder schwarz. Das mussten die Piezo-Plättchen sein, die die Sonne spiegelten.

(Michael Crichton, Beute, S. 186/188)

## **SPRECHERIN (25)**

Michael Crichtons Roman „Beute“ erzählt von einem Biologen und Programmierer der in ein militärisches Geheimprogramm mit fliegenden Robotern hinein gerät und mit knapper Not eine Katastrophe verhindern kann, als einer der Roboter-Schwärme aus der Fabrik entkommt und beginnt, ein gefährliches Eigenleben zu führen.

## **AUTOR (16)**

Müssen wir auf das Schlimmste gefasst sein, wenn demnächst unbemannte Drohnen als Erntehelfer eingesetzt werden und Roboter-Schwärme in der Rush Hour über verstopfte Straßen herfallen, um den Berufsverkehr zu regeln oder genervten Autofahrern Snacks und Getränke anzubieten?

### **SPRECHERIN (26)**

Im Gegenteil, sagt Verena Hafner, es wurde höchste Zeit, dass Fluggeräte wie der „Quadroptopter“ so erschwinglich geworden sind, dass nicht nur das Militär damit experimentieren kann. Wenn die Maschinen aus ihrem Labor für „Kognitive Robotik“ erst richtig flügge und manövrierfähig sind, dann gibt es für sie jede Menge zivile Ziele anzufliegen.

### **O-Ton 37 – Verena Hafner (DR 723 / (21:15)**

Wir haben auch noch ein Projekt im Rahmen des Graduiertenkollegs Metrik, hier im Institut. Und zwar geht es darum, Erdbeben zu analysieren und früh zu erkennen mit bestehenden Sensor-Netzwerken. Und diese Sensor-Netzwerke, die sind jetzt erst mal statisch, also, die stehen an bestimmten Stationen, das sind Mess-Stationen, die sich automatisch als Netzwerk zusammen verbinden. (21:37) Und im Katastrophenfall kann es dann natürlich sein, dass einzelne dieser Knoten ausfallen, und dann wäre es sehr sinnvoll, wenn man mobile Sensor-Knoten hat, die dann entsprechend die einzelnen Teilnetze überbrücken könnten und dann auch Informationen zwischen den einzelnen Teilnetzen austauschen könnten. // (21:56) Und als mobile Sensor-Knoten sehen wir natürlich unsere Flugroboter, die dann zusätzlich auch noch Luftaufnahmen machen könnten und diese dann weiter schicken könnten.

### **Musik 2 – B. Coulais: «L'heure chaude» (Aus: „Mikrokosmos“)**

### **O-Ton a – kleinerer „Quadroptopter“, HU (DR 719)**

*Fluggeräusch: insektenhaftes Summen*

### **Atmo 1 – Krähenschwarm (Geräuscharchiv)**

### **AUTOR (17)**

Und, wer weiß, nach ein wenig mehr Navigations-Training warten vielleicht noch höhere Aufgaben auf sie ...

### **O-Ton 38 – Verena Hafner (DR 723 / ca. 18:35)**

Dann kann man sich natürlich noch so utopische Ideen ausspinnen wie Roboter-Tier-Schwärme, // Das wäre zum Beispiel gut, um Vogelschwärme von Flughäfen fernzuhalten, // (19:00) dass man dann zum Beispiel mit einem Roboter (...) mit fliegt,

ähnliche Schwarmregeln anwendet und den dann entsprechend umlenken kann // (19:09) Aber es muss natürlich erst mal gut funktionieren, sonst wird das natürlich noch gefährlicher ...

**O-Ton 10b** – kleinerer „Quadropter“, HU (DR 719)

*Looping und Absturz*