

«Ameisen kennen keine Mathematik»

Auch Tiere können denken. Und Roboter wären intelligenter, wenn sie eine Haut hätten, die unserer ähnlich ist. Mit dem Robotiker Rolf Pfeifer und dem Philosophen Hans-Johann Glock sprachen Roger Nickl und Thomas Gull.

Herr Pfeifer, Sie erforschen mit Hilfe von Robotern die künstliche Intelligenz. Wie entsteht Intelligenz?

Rolf Pfeifer: Die meisten Leute, Wissenschaftler und Nicht-Wissenschaftler, gehen davon aus, dass Intelligenz eine Sache des Gehirns, also zentralistisch im Kopf lokalisiert ist. Meines Erachtens ist dies ein grundsätzlicher Fehler. Intelligenz ist immer eine Eigenschaft eines ganzen Organismus; davon ist der Körper, die gesamte Sensomotorik, ein zentraler Bestandteil. Irgendwie sitzt dieser Glaube ans Gehirn, ein kartesisches Erbe, tief in uns drin und ist fast nicht auszurotten – die Interaktion mit der Umwelt über unseren Körper ist, geht es um intelligentes Verhalten, aber mindestens so wichtig wie das Gehirn.

Was macht uns Menschen denn intelligent, Herr Glock?

Hans-Johann Glock: Man kann drei zentrale Aspekte unterscheiden. Erstens die instrumentelle Intelligenz: die Einsicht in Kausalverhältnisse und die Fähigkeit, diese zum eigenen Nutzen zu

möglichst die Form von Kommunikation, die unserer kooperativen Lebensweise zugrunde liegt. Ich würde also instrumentelle, soziale und sprachliche Intelligenz unterscheiden.

Sie, Herr Pfeifer gehen davon aus, dass es für intelligentes Verhalten auch einen intelligenten Körper braucht. Was macht denn unseren Körper intelligent?

Pfeifer: Evolutionsgeschichtlich betrachtet ist es klar, dass das Gehirn oder was wir heute Intelligenz oder Denken nennen als Teil eines gesamten Organismus entstanden ist. Dieser Organismus musste mit der Umwelt interagieren. Er musste in dieser Umwelt überleben und sich reproduzieren. Der Körper ist unser Medium, um mit der Aussenwelt in Kontakt treten zu können. Deshalb finde ich es ganz zentral, dass wir verstehen, wie etwas wie Denken oder Intelligenz entstehen konnte in der Evolution. Zwischen der Informationsverarbeitung des Gehirns und dem Körper besteht ein sehr enger Zusammenhang. Ich glau-

ben. So hat man auch die Fähigkeit, die Umwelt auf raffinierte Art und Weise zu manipulieren, um beispielsweise Werkzeuge und andere Artefakte, und letztlich Technologie, herzustellen.

Heisst das, wenn wir keine Hände hätten, hätten wir auch keine Sprache?

Pfeifer: Davon bin ich hundertprozentig überzeugt. Ich kann es zwar nicht beweisen, dennoch bin ich überzeugt davon.

Wie sehen Sie das, Herr Glock?

Glock: Das deckt sich mit meinem Verständnis der Menschwerdung. Früher dachte man, dass die evolutionsbiologische Abzweigung zum Menschen darin besteht, dass das Gehirn immer grösser wird. Wie wenn man in einen Computer

Zur Person

Hans-Johann Glock (53) ist Professor für Philosophie an der Universität Zürich. Seine systematischen Forschungsschwerpunkte sind die Philosophie des Geistes – insbesondere die Frage, inwiefern Tiere denken können – und die Sprachphilosophie – speziell die Themen Begriffe und sprachliche Bedeutung. Historisch befasst er sich mit der Geschichte der analytischen Philosophie und mit Wittgenstein.

Kontakt: Prof. Hans-Johann Glock, glock@philos.uzh.ch

Rolf Pfeifer (66) ist Professor für Informatik an der Universität Zürich. Er forscht im Bereich Natürliche und Künstliche Intelligenz, insbesondere «embodied intelligence», die die Rolle des Körpers beim intelligenten Verhalten untersucht. Zum Thema sind von Rolf Pfeifer folgende Bücher erschienen: «Understanding intelligence» (mit Christian Scheier; MIT Press, 1999); «How the body shapes the way we think – new view of intelligence» (mit Josh Bongard, MIT Press 2007); «La révolution de l'intelligence du corps» (mit Alexandre Pitti, Manuella editions, Paris 2012).

Kontakt: Prof. Rolf Pfeifer, pfeifer@ifi.uzh.ch

«Die alte philosophische Perspektive, wonach Geist und Intelligenz abseits eines Körpers stattfinden, ist völlig abwegig.» Hans-Johann Glock

manipulieren. Die grossartigste Manifestation dieser Fähigkeit ist die Technologie. Zweitens gibt es die soziale Intelligenz: die Fähigkeit, mit Artgenossen möglichst überlegt und vorteilhaft zu interagieren. Damit verbunden ist die kulturelle Intelligenz: Wir Menschen zeichnen uns durch kooperatives Verhalten und durch soziales Lernen aus. Drittens und für mich ganz wichtig ist, dass sowohl die instrumentelle als auch die soziokulturelle Intelligenz auf Sprache beruhen. Sie liefert uns die Kategorien, durch die wir kausale Verhältnisse erfassen können. Und sie er-

be, dass die Entstehung der menschlichen Sprache sehr viel mit Morphologie und Sensorik zu tun hat.

Wo sehen Sie da den Zusammenhang?

Pfeifer: Es gibt Spekulationen darüber, welche Rolle der Daumen für die Weiterentwicklung des Menschen gespielt hat. Durch den Daumen sind sensomotorische Tätigkeiten möglich geworden, die zu spezifischen Mustern von Sensorstimulation führen, die so komplex sind, dass man so etwas wie Sprache braucht, um sie zu beschrei-



Denken über Intelligenz bei Robotern, Tieren und Menschen nach: der Künstliche-Intelligenz-Forscher Rolf Pfeifer (links) und der Philosoph Hans-Johann Glock.

immer mehr Speicherkapazität einbauen würde. Wir wissen, dass dies nicht der Fall ist. Die ersten Hominiden hatten kein grösseres Gehirn als die heutigen Menschenaffen, aber sie sind von einem Leben auf den Bäumen übergegangen zum aufrechten Gang. Dadurch wurden die Hände frei, und dadurch ergab sich erst die Möglichkeit, durch Werkzeuggebrauch eine instrumentelle Intelligenz zu entwickeln. Es konnte auch mehr soziale Intelligenz umgesetzt werden durch kooperatives Jagen. Die alte philosophische Perspektive, wonach Geist und Intelligenz etwas sind, das abseits eines Körpers stattfindet, ist sicher völlig abwegig. Denn Intelligenz entsteht nur, wenn ein Körper sich in seiner Umwelt verhält. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom «embodied mind».

Delfine gelten auch als intelligent, haben aber einen ganz anderen Körper als wir Menschen. Wie interpretieren Sie diesen Unterschied?

Pfeifer: Ob man ein bestimmtes Verhalten intelligent nennen will oder nicht, ist letztlich völlig willkürlich. Das hängt vom Gutdünken ab. Sind Ameisen, um ein besseres Beispiel zu nehmen, intelligent? Ich kann Argumente aufzählen, weshalb sie als intelligent betrachtet werden können. Sie verfügen über eine gewisse Lernfähigkeit, komplexe Sozialstrukturen, Fähigkeiten zu Kommunikation und Kooperation. Und sie können sehr komplexe Konstrukte in der realen Welt bauen. Ameisen können auch optimieren, indem sie etwa den kürzesten Weg zu einer Futterquelle finden. Das sind alles Punkte, die auf Intelligenz schliessen lassen. Ameisen haben aber keine Sprache, und sie kennen keine Mathematik. Ihr Gebrauch von Werkzeugen ist äusserst minimal. Das sind alles Punkte, die darauf schliessen lassen, dass Ameisen doch nicht so intelligent sind. Deshalb würde ich dafür plädieren, diese Frage zu vergessen. Wir sollten eher sagen, das ist ein Verhalten, das mich interessiert und das ich verstehen will.

Nun wollen wir aber doch verstehen, was Intelligenz ist. Sind jetzt Ameisen intelligent oder nicht?

Glock: Ich würde das verneinen. Ihr Verhalten ist angepasst, komplex, sozial. Auch kann man

bis zu einem gewissen Grad die Fähigkeit zum Lernen beobachten. Aber es gibt Bereiche, in denen Ameisen überhaupt nicht lernfähig sind. Ein klassisches Beispiel dafür ist, dass Arbeiterinnen tote Artgenossen entfernen, um eine Vergiftung des Baus zu verhindern. Das ist ein rein neurochemisch bedingter Reflex. Sie reagieren nur auf eine ganz bestimmte chemische Substanz. Wenn man lebende Arbeiterinnen mit dieser Substanz bestreicht, werden sie von den anderen radikal und ohne Abweichung aus dem Nest befördert. Dieses Verhalten ist also überhaupt nicht flexibel, und es ist auch nicht komplex. Es wird ja nur eine Information, nämlich die chemische Substanz, genutzt.

Wie sieht das bei den Delfinen aus?

Glock: Delfine dagegen sind überaus lernfähig. Man kann ihnen auch rudimentäre Symbolsysteme beibringen. Sie sind fähig, mit Menschen auf komplexe Weise zu interagieren. Auf Grund der Flexibilität des Verhaltens würde ich sie deshalb als intelligent bezeichnen. Aber der Weg zu



WAS UNS SCHLAU MACHT

Basis der menschlichen Intelligenz ist nicht nur das Gehirn, sondern auch unser Körperbau. Ohne Hände hätten wir im Lauf der Evolution vermutlich auch keine Sprache entwickelt.

dieser Delfinintelligenz ist anders als der Weg zur Menschenintelligenz. Die Hand hat bei den Delfinen keine Rolle gespielt, aber die Zusammenarbeit bei der Jagd sehr wohl. Delfine koordinieren sich sehr präzise beim Abgrasen von Fischschwärmen.

Sie, Herr Glock, untersuchen, inwieweit Tiere denken können. Zwischen Delfinen und Ameisen gibt es, wie wir gehört haben, grosse Unterschiede. Wie sieht die Intelligenzhierarchie im Tierreich aus?

Glock: Die Entwicklung entlang von evolutionären Linien und Stammbäumen war sicher graduell. Wenn man sich aber die Endpunkte ansieht, gibt es sehr grosse Unterschiede zwischen Menschen, Affen, Ameisen und Seesternen.

Es gibt keinen Bruch oder Sprung von der Tier- zur Menschenintelligenz?

Glock: Nein, es gibt keinen Sprung. Da sich aber die Zweige der Evolution auseinanderbewegen, können zwischen den Endpunkten grosse qualitative Unterschiede entstehen. Ein Frosch – ein relativ kompliziertes Lebewesen also – passt sein Verhalten an die Umwelt an: Er fährt beispielsweise die Zunge aus, wenn er eine Fliege wahrnimmt. Der Frosch schnappt aber auch dann noch nach Fliegen, wenn er längst gesättigt ist. Bei höheren Tieren wie einem Hund oder einem Affen hängt das Verhalten dagegen nicht nur von der Wahrnehmung, sondern auch von den eigenen Bedürfnissen ab. Das halte ich für einen wichtigen Unterschied.

In der Philosophie wird seit langem darüber gestritten, ob Intelligenz ohne Sprache möglich ist. Was ist Ihre Position?

Glock: Ich würde die These verneinen. Es gibt sehr wohl Intelligenz ohne Sprache. Es gibt eindrucksvolle Beispiele für intelligentes Verhalten bei Lebewesen, bei denen wir keine Sprache annehmen. Bei Delfinen ist das übrigens umstritten.

Können Sie ein Beispiel nennen?

Glock: Eines der wohl eindrucklichsten Belege dafür ist die «floating peanut task». Man konfrontiert darin Affen mit einem Röhrchen, in dem eine Erdnuss auf dem Wasser schwimmt. An diese Erdnuss kommen die Tiere nicht heran, weil der Wasserspiegel zu tief ist. Das Röhrchen lässt sich auch nicht umdrehen. Sie können aber in einen anderen Raum gehen, dort Wasser zu sich nehmen und dieses in die Röhre spucken bis die Erdnuss ganz nach oben schwimmt. Menschenaffen sind dazu in der Lage, diese Aufgabe zu lösen, ohne dass sie zuvor jemals damit konfrontiert worden sind.

Das ist erstaunlich. Dazu braucht es eine ganze Menge Abstraktionsvermögen.

Glock: Ja, dazu braucht es Kausalverständnis. Beeindruckend ist auch der Umstand, dass das Wasser nicht einfach neben der Röhre steht. Die Tiere müssen das Wasser im Mund aus einem Nebenraum holen, um die Aufgabe zu lösen.



Es gibt also intelligente Tiere. Wie intelligent sind denn Ihre Roboter, Herr Pfeifer?

Pfeifer: Uns interessieren heute besonders Roboter, die ihren Lebensraum mit uns teilen. Diese Roboter müssen im Gegensatz zu klassischen Fertigungsrobotern in Fabriken etwa auf unvorhergesehene Situationen reagieren können. Ein grosses Problem bei der Entwicklung solcher Roboter ist heute vor allem die haptische Sensorik. Sie ist kümmerlich im Vergleich mit unserer Hand. Wenn man den Biologen glauben will, ist die Haptik für das Überleben aber mindestens so wichtig wie das Sehvermögen. Ich bin überzeugt: Wenn wir künstliche Haut mit einer Sensordichte herstellen könnten, die ähnlich ist wie bei uns, wäre das ein Quantensprung in der intelligenten Robotik.

Sind Sie damit einverstanden, dass Roboter intelligent sein können, Herr Glock?

Glock: Aus meiner Perspektive spricht nichts dagegen. Es gibt Philosophen, John Searle ist vielleicht der berühmteste, die der Meinung sind, dass

dass man sie programmiert. Ein grosses Thema ist heute das Lernen durch Imitation. Man weiss, dass Imitationslernen eine grosse Bedeutung hat, und versucht, diese Fähigkeit den Robotern beizubringen. Man macht ihnen also etwas vor, etwa wie man ein Glas ergreift. Der Roboter beobachtet das und führt danach dieselbe Tätigkeit aus. Ein weiteres Thema, das immer wichtiger wird, ist die Kooperation zwischen Mensch und Roboter und zwischen Roboter und Roboter. Man muss aber immer aufpassen, dass man die heutigen Möglichkeiten nicht unter-, aber auch nicht überschätzt. Wir haben eine starke Tendenz unsere eigenen Ideen und Vorstellungen in die Umwelt hineinzuprojizieren. Besonders, wenn sie menschenähnliche Formen haben, schreibt man Robotern oft viel zu viel Intelligenz zu.

Glock: Früher galt Imitation als eine eher niedrige geistige Fähigkeit, wir kennen den Begriff «nachäffen». Jetzt stellt sich aber heraus, dass Menschenaffen im Gegensatz zu Kindern gar nicht so gut imitieren können. Diese Fähigkeit

ger, zuverlässiger und ohne Ermüdungserscheinungen macht. Das bezieht sich aber auf Einzel-tätigkeiten. Beim Menschen ist das alles integriert. Und die Integration all dieser Fähigkeiten in ein System ist für uns Robotiker eine grosse Herausforderung.

Werden uns die Maschinen auch punkto Intelligenz übertrumpfen?

Pfeifer: Man muss wegkommen von der Vorstellung, dass Intelligenz etwas ist, das sich auf einer linearen Skala messen lässt. Das ist der Grundfehler. Bin ich intelligenter als eine Antilope? In gewissen Situationen ist die Antilope effizienter als der Mensch. Deshalb können wir nicht einfach sagen, wir seien intelligenter als sie. Dasselbe gilt auch für den Vergleich von Mensch und Roboter.

Wir möchten trotzdem eine Antwort auf diese Frage.

Glock: Ich denke, dass wir bei den speziellen kognitiven Aufgaben längst überholt worden sind. Als Generalisten stehen wir aber immer noch ganz gut da. Was übrigens auch für das Physische gilt. Lange Zeit wurde angenommen, der Mensch sei so intelligent, weil er, was den Körper anbelangt, ein «Mängelwesen» ist. Dem ist aber nicht so: Schauen wir uns etwa die Leistungen im Triathlon an – es gibt kein Tier, das so gut schwimmen, Velo fahren und rennen kann wie wir.

Pfeifer: Und auf der Langstrecke ist kein Tier so gut wie der Mensch.

Glock: Wir können sogar Antilopen bis zur Erschöpfung jagen. Neben der biologischen findet sich bei uns aber auch die kulturelle Evolution. Diese ermöglicht es uns, auf neue Herausforderungen viel schneller zu reagieren, den Aufstieg der Roboter inklusive. Bei spezifischen Aufgaben werden wir mit Sicherheit bald übertroffen werden. Aber ich sehe nicht, dass wir in absehbarer Zeit von Robotern umgeben sein werden, von denen wir das Gefühl haben, dass sie alles viel besser können als wir.

Herr Glock, Herr Pfeifer, wir danken Ihnen für das Gespräch.

«Besonders wenn sie menschenähnliche Formen haben, schreibt man Robotern oft viel zu viel Intelligenz zu.» Rolf Pfeifer

Bewusstsein, Denken und Intentionalität – also die Fähigkeit, über die Welt nachzudenken – an ein chemisch-biologisches Substrat zurückgebunden sind, die so genannte Wetware. Das halte ich für problematisch. Ich glaube, das stimmt selbst bei Phänomenen wie Bewusstsein oder Denken nicht. Bei der Intelligenz halte ich es für völlig abwegig. Ich denke, dass Intelligenz letztlich ein funktionaler Begriff ist. Es kommt auf die Funktion an und nicht auf das Material, das es dem Subjekt ermöglicht, diese Funktion zu erfüllen. Daher würde ich sagen, ein System, das komplexes, flexibles Verhalten zeigt, im Ansatz Ziele verfolgt und mit der Umwelt auf nicht beliebige Weise interagiert, kann man durchaus intelligent nennen.

Herr Pfeifer, Sie wollen Ihren Kreaturen möglichst komplexes Verhalten beibringen. Was können Ihre Roboter mittlerweile?

Pfeifer: Ein grosses Problem ist, dass man diese Roboter immer noch programmieren muss. Die Idee wäre, dass sie neue Fähigkeiten lernen, ohne

zur Imitation ist wichtig für das soziale Lernen, das darauf basiert, dass das eine Lebewesen vom anderen lernt und darauf aufbauen kann. Ohne dieses soziale Lernen gibt es keine Kultur und schon gar keine kumulative kulturelle Evolution, bei der ein Entwicklungsschritt die Grundlage für den nächsten bildet.

Die Robotik geht in schnellen Schritten voran. Werden wir künftig von der Entwicklung der künstlichen Intelligenz überholt?

Pfeifer: Das ist bereits geschehen und es kümmert mich wenig.

Klammern wir uns nicht immer noch an unsere Überlegenheit?

Pfeifer: Wir haben uns längst daran gewöhnt, dass uns Maschinen etwa punkto Rechenleistung überlegen sind. Menschen können sehr viele verschiedene Dinge, aber sie können nichts wirklich gut. Für fast jede sensomotorische Tätigkeit gibt es eine Maschine, die das schneller, besser, billi-