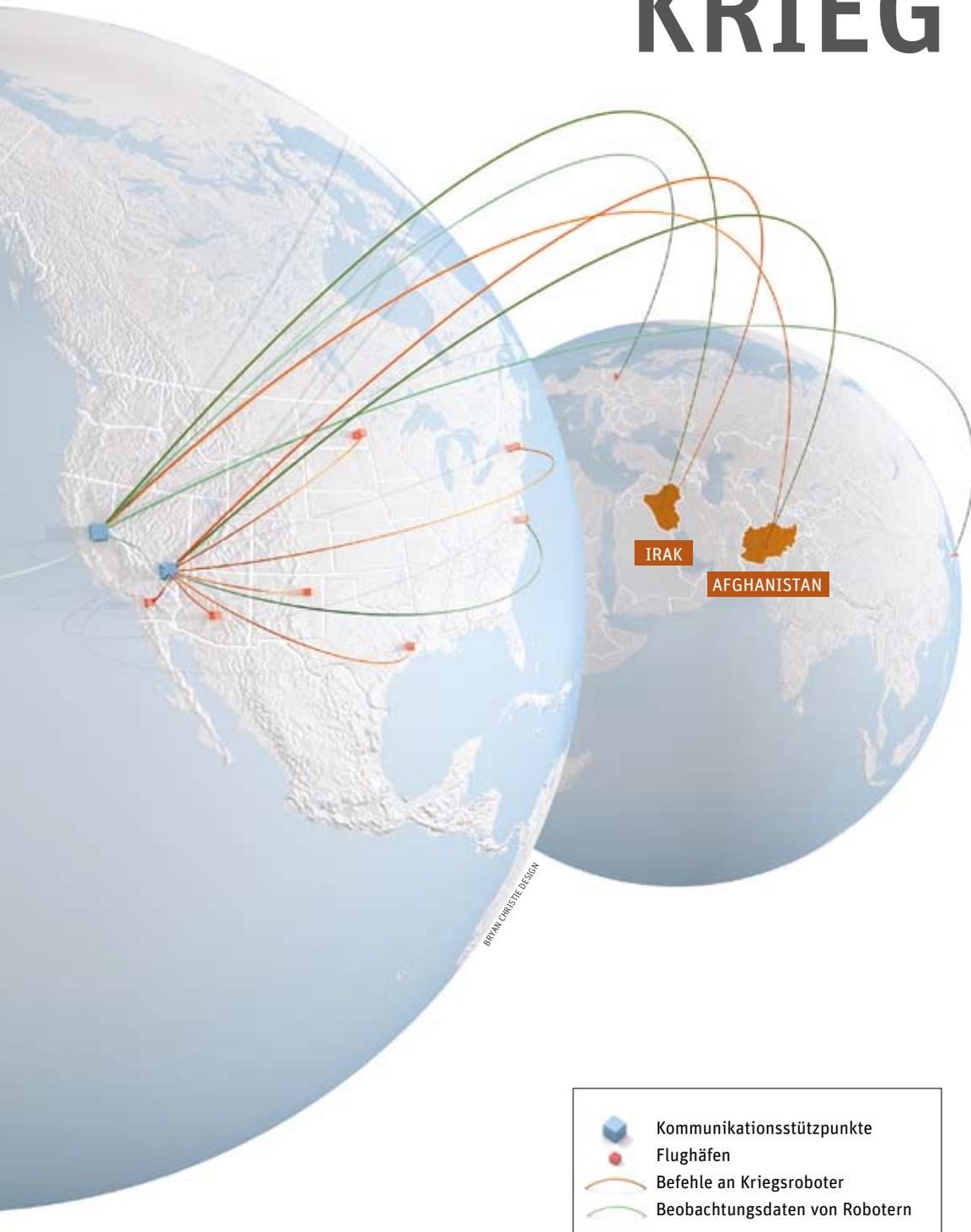


DER FERNGESTEUERTE KRIEG



Bei Einsätzen von US-Truppen finden immer mehr Roboter Verwendung. Viele davon werden aus der Ferne gesteuert: US-Soldaten können unbemannte Flugzeuge von Militärstützpunkten aus kontrollieren, die auf amerikanischem Boden liegen. An den Kriegsschauplätzen können die Geräte Raketen abfeuern oder auch nur Informationen von den Fronten zusammentragen. Jeder Stützpunkt ist für die Steuerung (orangefarbene Linien) eines oder mehrerer Flugzeugtypen oder den Empfang (grüne Linien) von Aufklärungsdaten verantwortlich. Die Daten laufen über zwei Kommunikationszentren in den USA (blaue Würfel) in den Irak oder nach Afghanistan und wieder zurück.

Auf und über dem Schlachtfeld sorgen Roboter für den umfassendsten Wandel seit der Entwicklung der Atombombe. Ihre Technik entwickelt sich rasant – und vor allem viel schneller, als wir die drängenden Fragen beantworten können, die mit ihrem Einsatz verbunden sind.

Von P. W. Singer

Sie waren eine Hand voll Wissenschaftler, Ingenieure, Rüstungslieferanten und Offiziere der US-Luftwaffe. Und sie stellten sich damals, in den frühen 1970er Jahren, dieselben Fragen: Wie baut man Maschinen, die selbstständig und ohne menschliche Kontrolle operieren? Und wie überzeugt man sowohl die Öffentlichkeit als auch zögernde Amtsträger im Pentagon davon, dass sich Roboter auch auf dem Schlachtfeld nützlich machen könnten? Es dauerte nicht lange und sie gründeten eine Interessengemeinschaft, deren Einfluss allerdings übersichtlich blieb. Jahrzehntelang traf man sich allenfalls ein- oder zweimal im Jahr, sprach über technische Details und blieb ansonsten unter sich. Dies ist seit einiger Zeit vorbei. Heute gehören der Association for Unmanned Vehicle Systems International über 1500 Firmen und Organisationen aus 55 Ländern an.

Denn auf den Schlachtfeldern dieser Welt findet derzeit eine der tief greifendsten Veränderungen seit der Erfindung des Schießpulvers und des Flugzeugs statt. Sichtbar wird dies an der emporschnellenden Zahl der in Kriegen eingesetzten Roboter. Keine einzige solche Maschine war dabei, als die US-Armee im Jahr 2003 von Kuwait aus auf Bagdad marschierte. Mittlerweile ergänzen 7000 »unbemannte« Fluggeräte und 12000 Bodenfahrzeuge die Ausrüstung der US-Armee. Zu ihren Aufgaben zählt es, Heckenschützen aufzuspüren, aber auch Verstecke von Al-Kaida-Führern in Pakistan zu bombardieren.

Lange Zeit passten Roboter nicht zum Selbstverständnis der US-Streitkräfte. Doch inzwischen haben sie den Krieg der Maschinen für sich entdeckt. Mit ihrer Hilfe bekämpfen sie einen »irregulären Feind«, der kaum zu greifen ist, weil er zum Beispiel Sprengsätze mit Hilfe eines Mobiltelefons ferngesteuert zur Explosion bringt.

Die robotischen Systeme verändern die Art und Weise, wie solche neuartigen Kriege geführt werden, ganz erheblich und sorgen zu-

gleich für anhaltende Diskussionen über die Konsequenzen des kriegerischen Einsatzes zunehmend autonomer und intelligenter Maschinen. Natürlich lassen sich möglicherweise auch Menschenleben retten, wenn man Soldaten aus der Schusslinie nimmt. Doch gleichzeitig wirft der Einsatz solcher Maschinen tief greifende politische, juristische und ethische Fragen auf – vor allem hinsichtlich der grundsätzlichen Natur der Kriegsführung. Wir müssen uns sogar fragen, ob die neue Technik nicht unvermeidlich die Hemmschwelle senkt, einen Krieg zu beginnen.

Verhindern, dass wir an den Weltuntergang denken

Die frühesten Stränge dieser Entwicklung reichen wohl bis zu dem Theaterstück R.U.R. (Rossumovi Universální Roboti, dt. W.U.R.) von 1921 zurück. Dessen Autor, der tschechische Schriftsteller Karel Čapek, beschrieb seinerzeit mit dem Begriff »Roboter« mechanische Diener, die sich eines Tages gegen ihre menschlichen Herren erheben. Dieses Wort quoll vor Bedeutung geradezu über, war es doch vom tschechischen Wort für »Fronarbeit« und dem altslawischen Begriff für »Sklave« abgeleitet und zudem historisch mit den »Robotniks« verbunden, also mit Bauern, die sich im 19. Jahrhundert gegen reiche Landbesitzer erhoben hatten. Auf der Grundidee des Stücks, dass Roboter tatsächlich jene Arbeiten ausführen, die wir selbst nicht erledigen wollen, schließlich aber selbst die Kontrolle übernehmen, baut längst eine Unzahl von Sciencefictiongeschichten auf. Auch in Spielfilmen jüngerer Datums wie »Terminator« oder »Matrix« spielt sie eine zentrale Rolle. Kein Wunder, dass Roboterwissenschaftler heute lieber von »unbemannten« oder »fern-gesteuerten« Maschinen sprechen, um zu verhindern, dass wir ständig an entsprechende Hollywoodfilme und den drohenden Untergang der Menschheit denken.

Vereinfacht gesagt sind Roboter Maschinen, die nach dem Muster »Wahrnehmen-denken-handeln« agieren. Sie verfügen also

In Kürze

- ▶ Die Zeiten sind vorbei, in denen das US-Militär sich gegen den **Einsatz von robotischen Systemen auf den Schlachtfeldern** sträubte. Mittlerweile sind Zehntausende von Militärrobotern im Einsatz.
- ▶ Manche dienen als Kundschafter, Lastenträger oder Minensucher. Andere machen **tödliche Jagd auf Kriegsgegner**.
- ▶ Die Einsätze der autonomen oder halbautonomen Systeme, die auch zu Fehlschlägen führen, werfen **völlig neue ethische und juristische Fragen** auf.

über Sensoren, die Informationen über die Welt sammeln. Computer »errechnen« dann auf Basis dieser Daten und mit Hilfe von Softwaresystemen, zum Beispiel künstlicher Intelligenz, angemessene Entscheidungen. Und zu guter Letzt führen mechanische Systeme, auch Effektoren genannt, in der Umgebung entsprechende physische Aktionen aus. Uns Zweibeinern müssen die Geräte keineswegs ähneln, auch wenn Hollywood dies durch den Menschen im Metallanzug gern suggeriert. Tatsächlich variieren Gestalt und Größe der Systeme stark, und nur selten ähnelt eines dem C-3PO aus den Star-Wars-Filmen oder der Figur des Terminators.

Dass sich Roboter auf dem Schlachtfeld nützlich machen können, verdanken sie einer Reihe neuerer Technologien, zu denen unter anderem das satellitengestützte Positionssystem GPS gehört, aber auch Fernbedienungen,

ähnlich wie sie bei Videospiele zum Einsatz kommen. Ihre Fähigkeit, Ziele in feindlicher Umgebung beobachten, identifizieren und anschließend angreifen zu können, ohne dass der sie bedienende Mensch einer Gefahr ausgesetzt ist, wurde nach den Anschlägen vom 11. September 2001 besonders wichtig. Und mit jedem Mal, das sie erfolgreich eingesetzt wurden, erschienen sie unersetzlicher. Während der ersten Monate des Afghanistanfeldzugs 2001 testete man einen Prototypen des so genannten PackBot unter Einsatzbedingungen. Den Soldaten zumindest gefiel das System so sehr, dass sie es gleich gar nicht wieder an den Hersteller iRobot zurückschickten. Von diesem Gerät, das heute meist zum Entschärfen von Bomben verwendet wird, hat iRobot mittlerweile tausende Exemplare verkauft. Auch der leitende Angestellte eines anderen Herstellers berichtet, was sich durch

ANATOMIE EINES KRIEGSROBOTERS DER NÄCHSTEN GENERATION

Weder Soldaten noch gewöhnliche Maschinen erreichen die Fähigkeiten von Militärrobotern, wie sie gegenwärtig entwickelt werden. Der Vierbeiner BigDog der US-Firma Boston Dynamics etwa ähnelt einem Lasttier. Er kann Gelände durchqueren, das

für ketten- oder radgetriebene Fahrzeuge zu steil, zerklüftet, zu felsig, morastig oder zu verschneit ist. Das Wichtigste dabei: Er kann Munition oder anderen Nachschub mit einem Gewicht von rund 200 Kilogramm befördern.

ORTUNG

Mit Hilfe von GPS-Satellitendaten bestimmt der Roboter seinen Standort (Empfangssystem nicht sichtbar).

COMPUTER

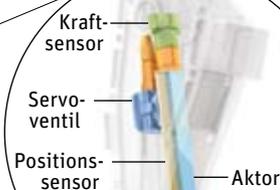
In einem zentralen Prozessor laufen Sensordaten zusammen, aus denen der Computer den aktuellen Zustand des Gesamtsystems ermittelt. Schließlich sendet er entsprechende Befehle an so genannte Aktoren, welche die Beine neu positionieren.

MOTOR UND HYDRAULIK

Eine motorgetriebene Pumpe befördert Öl durch ein Hydrauliksystem, das die Bewegung der Aktoren ermöglicht.

ELEKTRONISCHE AUGEN

Ein System namens LIDAR, das einem Radargerät ähnelt, aber auf Laserstrahlen statt auf Radiowellen beruht, sowie ein Sehmodul erfassen die unmittelbare Umgebung.



Kraftsensor
Servoventil
Positionssensor
Aktor

SENSOREN UND AKTOREN

Sensoren sammeln Daten über die Position der Beine und die auf sie einwirkenden Kräfte. Der Computer des Roboters errechnet aus den Daten ein neues Bewegungskommando. Dann sendet er ein entsprechendes Signal an ein Servoventil, so dass es Öl in einen Aktor (in diesem Fall einen Zylinder mit Kolben) strömen lässt. Weil das Öl unter Druck steht, bewegt sich das Bein an die gewünschte Stelle.

9/11 veränderte: Vorher erhielt er trotz seiner vielen Anfragen nie einen Rückruf des Pentagons – danach hieß es: Baut die Maschinen, so schnell ihr könnt.

Dass die Akzeptanz der Roboter durch das Militär rasant wuchs, wurde offensichtlich, je länger der Irakkrieg dauerte. Als die US-Streitkräfte 2003 in den Irak einmarschierten, taten sie das noch ohne Unterstützung unbemannter Systeme. Ende 2004 waren rund 150 davon vor Ort, und ein Jahr später waren es 2400. Heute verfügen die Bodentruppen des US-Militärs über mehr als 12 000 Systeme.

Derselbe Trend lässt sich bei der US-Luftwaffe nachweisen. Ursprünglich wurden die Einmarschtruppen von gerade einmal einer Hand voll unbemannter Luftfahrzeuge unterstützt. Heute sind es über 7000, und die Entwicklung hat gerade erst begonnen. Ein Drei-Sterne-General der US-Luftwaffe prophezeit, dass der nächste große Konflikt, in den die USA verwickelt sein werden, Zehntausende solcher Roboter beschäftigen wird.

Die Entwicklungen schlagen auch schon auf die Fernsehwerbung durch, mit der Heer, Luftwaffe und Marine junge US-Rekruten anlocken. In einem der Spots rühmt sich die Marine, dass sie »Tag für Tag daran arbeitet, Menschen aus den Kampfgebieten abzuziehen«. Werden die Teenager dann tatsächlich zu den Streitkräften eingezogen, ist es völlig selbstverständlich, dass sie dort auch mit automatisierten Systemen umgehen. Beispielsweise lernen sie mit Hilfe virtueller Systeme bestimmte Waffensysteme zu bedienen. Nach ihrer Ausbildung steuern sie dann möglicherweise einen der rasenmähergroßen PackBots oder einen Talon-Bodenroboter, wie sie im Irak und in Afghanistan bereits Bomben entschärfen, die Gegend auskundschaften oder nach Aufständischen suchen.

Landen die Rekruten bei der Marine, tun sie vielleicht Dienst auf einem Zerstörer der Aegis-Klasse oder einem Küstenkampfschiff. Beide dienen auch als Mutterschiffe etwa für die unbemannten Fire-Scout-Helikopter oder die für den Wachdienst zuständigen Protector-Motorboote. Vielleicht steuern die jungen Soldaten aber auch unbemannte Unterwasserfahrzeuge wie den Remus. Diese torpedoförmigen Roboter-U-Boote wurden einst von der Woods Hole Oceanographic Institution in Massachusetts zu Forschungszwecken entwickelt. Nun spüren sie Minen auf und beobachten feindliche Küsten.

Kommen die Soldaten hingegen zur Luftwaffe, lenken sie vielleicht Drohnen vom Typ Predator oder Global Hawk. Auch wenn diese über Mittelasien im Einsatz sind, müssen sie dafür nicht einmal die USA verlassen.

In einem der Spots, die sich an potenzielle Rekruten wenden, werden die Technologien als Teil des Armeecalltags dargestellt, »auch wenn sie an Sciencefiction erinnern«. Tatsächlich entstammen die Instrumente gerade einmal der ersten technischen Generation. Der PackBot der Gegenwart, der auf den Straßen nach Bomben sucht, und die Predator-Drohne lassen sich am ehesten mit dem Ford Modell T aus der Frühzeit des Automobils und dem Fluggerät der Gebrüder Wright vergleichen. Schon an den Prototypen der nächsten Generation erkennt man indessen, welche ihrer Merkmale das Wesen der Kriegführung verändern werden.

Der menschenähnliche Roboter ist ein überholtes Konzept

Bislang herrscht die Vorstellung vor, dass ein Roboter nichts anderes ist als ein unbemanntes System – alles ist wie gehabt, nur dass sich im Inneren des Geräts eben kein Mensch befindet, der es steuert. Eine analoge Situation kennen wir aus dem frühen 20. Jahrhundert, als das Auto noch schlicht als »Wagen ohne Pferde« galt. Doch dieses Konzept erwies sich schnell als überholt, als die Designer mit völlig neuen Formen und Größen zu arbeiten begannen.

Heute geschieht ähnliches: In dem Maß, in dem wir unsere bisherigen Vorstellungen von Robotern ad acta legen, nehmen auch die Systeme eine Vielzahl neuer Formen an. Manche Entwickler beziehen ihre Inspirationen erwartungsgemäß aus der Biologie. Der BigDog (»Großer Hund«) des US-Robotikunternehmens Boston Dynamics etwa, dessen Aufgabe es ist, Ausrüstung zu transportieren, wurde als Metallvierbeiner konstruiert. Andere Roboter kommen als Hybriden daher: Der Überwachungsbot der kalifornischen Naval Postgraduate School, einer wissenschaftlichen Militärausbildungsstätte, verfügt sowohl über Beine als auch über Flügel. Wieder andere Systeme, die sich allerdings noch im Entwicklungsstadium befinden, besitzen überhaupt keine feste Form: Der klumpenförmige ChemBot, den die University of Chicago gemeinsam mit dem Unternehmen iRobot entworfen hat, kann seine Gestalt verändern und sich sogar durch ein Mauerloch zwängen.

Sehr unterschiedlich kann auch die Größe der Roboter sein, denn als autonome Instrumente müssen sie sich nicht am Menschen orientieren. Miniaturroboter messen bereits heute nur wenige Millimeter und bringen gerade einmal ein paar Gramm auf die Waage. Das Unternehmen AeroVironment hat für den Häuserkampf einen fliegenden Über-



Stundenlang kann der ScanEagle – das Bild zeigt ihn auf einem militärischen Stützpunkt – über unzugänglichen Gebieten schweben. Von dort versorgt die Drohne »ihre« Truppe mit Aufklärungsfotos.

Der ChemBot kann fast nach Belieben seine Gestalt verändern und sich sogar durch ein Mauerloch zwängen



Ein Soldat wirft einen PackBot durch ein Fenster. Die Videokameras des Überwachungsroboters liefern dann eine Innenansicht der Räumlichkeiten.

wachungsroboter entwickelt, der einem Kolibri ähnelt: Er besitzt etwa dessen Größe und kann ortsfest über einem Ziel schweben.

Einige Forscher sind davon überzeugt, dass in einigen Jahrzehnten auch Nanoroboter alltäglich sein werden. Solche Gebilde, deren Abmessungen im Bereich von millionstel Millimeter liegen, ließen sich im Krieg für allerhand Aufgaben einsetzen. »Smart Dust« (intelligenter Staub) könnte den Feind aufspüren; zellähnliche Maschinen im menschlichen Körper könnten Wunden heilen lassen – oder auch verursachen. Die Größenskala wird auch in entgegengesetzter Richtung erkundet: Ein geplantes unbemanntes Höhenluftschiff von Lockheed Martin mit einer Länge von 150 Metern, das per Radar die Erde erkundet, soll über einen Monat lang ununterbrochen in 19800 Meter Höhe unterwegs sein können.

Künftige Roboter werden sich neben ihrer Variabilität in Größe und Form auch durch ein weiteres Merkmal auszeichnen: ihr erheblich erweitertes Aufgabenspektrum. Ähnlich den frühen Flugzeugen, die im Ersten Weltkrieg Verwendung fanden, wurden auch Roboter zunächst nur zur Beobachtung und Aufklärung eingesetzt. Jetzt bekommen sie immer mehr zu tun. Der Technologieentwickler QinetiQ North America, der auch den Talon produziert, stellte 2007 einen weiteren Roboter vor: Maars. Ausgerüstet mit einem Maschinengewehr und einem Granatwerfer kann Maars Wachdienst versehen, aber auch als Scharfschütze eingesetzt werden. Derweil wurden auch MedBots wie das Robotic Extraction Vehicle (REV) entwickelt. Das drei Meter lange Gefährt soll verwundete Soldaten in Sicherheit bringen und anschließend versorgen können.

Das dritte Merkmal, das künftige Roboter auszeichnen wird, ist ihre stets wachsende In-

telligenz und Autonomie. Heutige Waffensysteme beurteilen Militärs unter anderem danach, wie »smart« sie sind – ein Kriterium, das für die Unterscheidung etwa zwischen einem B-17- und einem B-24-Bomber während des Zweiten Weltkriegs noch keinerlei Rolle spielte. Die unbemannten Predator-Flugzeuge zum Beispiel, die seit 1995 eingesetzt werden, wurden ursprünglich schlicht ferngesteuert betrieben. Mittlerweile haben sie gelernt, selbstständig zu starten und zu landen, sie erfassen zwölf Ziele gleichzeitig und ihre Zielerkennungssoftware vermag sogar, Fußspuren zu deren Ursprung zurückzufolgen. Ein Ende der Entwicklung ist nicht abzusehen. Derzeit werden sie durch eine völlig neue Generation mit noch weiter gehenden Fähigkeiten ersetzt.

Doch je intelligenter und selbständiger ein Roboter agiert, desto tiefer reichen auch die dadurch aufgeworfenen Fragen. Welche Aufgaben eignen sich dafür, dass wir sie an Maschinen delegieren können? Wir müssen bei unserer Entscheidung nicht nur abwägen, wie effektiv die Maschinen in einer Schlacht sein könnten. Wir müssen uns auch Klarheit darüber verschaffen, was die damit einhergehende Verschiebung der Verantwortlichkeit nicht nur für ihre direkten menschlichen Befehlshaber bedeutet, sondern welche Konsequenzen dies in einem übergeordneten politischen, ethischen und juristischen Sinn hat.

Roboter verändern die Regeln des Spiels

Am wahrscheinlichsten scheint es, dass Roboter in der näheren Zukunft die Rolle von »Kampfpartnern« übernehmen werden. In gemischten Teams aus Menschen und Robotern tut dann jeder das, was er am besten kann. Die Rolle des Menschen mag dabei derjenigen ähneln, die ein Mannschaftskapitän im Fußball hat. Einerseits versucht er, das große Ganze im Blick und im Griff zu behalten, andererseits lässt er den Mitspielern ausreichend Autonomie, dass sie auf wechselnde Situationen reagieren können.

Letztlich wissen wir aber trotz aller Vermutungen noch nicht, wie sich die Robotik entwickeln und wohin sie uns führen wird. So wenig sich die weltgeschichtliche Bedeutung des Schießpulvers aus der Feststellung ableiten lässt, dass es Projektile dank bestimmter chemischer Reaktionen besonders weit fliegen lässt, so wenig können wir aus unserem Wissen um die Fähigkeiten von Robotern erschließen, was diese für unsere Welt und die Zukunft der Kriegsführung bedeuten. Eines ist aber sicher: Roboter gehören zu jenen seltenen Erfindungen, die buchstäblich die Spiel-

regeln verändern. Und sie tun das nicht nur auf dem Schlachtfeld, sondern sie beeinflussen auch die damit zusammenhängenden sozialen Strukturen. Der Langbogen zum Beispiel war nicht allein deswegen bemerkenswert, weil er den Engländern im Jahr 1415 während des Hundertjährigen Kriegs in der Schlacht von Azincourt den Sieg über die Franzosen brachte. Vielmehr trug er, indem er organisierte Fußtruppen über Ritter triumphieren ließ, dazu bei, dass Letztere militärisch nach und nach bedeutungslos wurden.

Als geeignete historische Parallele zur gegenwärtigen Zeit könnte sich der Erste Weltkrieg erweisen. Auch damals wurden auf dem Schlachtfeld seltsame neue Technologien eingeführt, wo sie viel Aufmerksamkeit erregten und man sie anschließend in schnell wachsender Zahl einsetzte. Einige davon waren noch wenige Jahre zuvor nur aus der Science-fictionliteratur bekannt gewesen, etwa aus H. G. Wells' Kurzgeschichte »Land Ironclad« aus dem Jahr 1903. Sie hatte mit dazu beigetragen, dass Winston Churchill, während des Ersten Weltkriegs Erster Lord der Admiralität des Vereinigten Königreichs, die Entwicklung des Panzers vorantrieb. A. A. Milne, Schöpfer der Kinderbuchfigur »Pu der Bär«, war einer der Ersten, der den Einsatz von Flugzeugen im Krieg beschrieb. Und für andere Autoren war auch der Einsatz von U-Booten im Krieg schon sehr früh eine Option gewesen: für Jules Verne im Roman »20 000 Meilen unter dem Meer« von 1869 sowie für Arthur Conan Doyle in seiner Kurzgeschichte »Danger!« von 1914.

Eine »revolutionäre« Technologie wie die Robotik, so behaupten manche, verschaffe ihren ersten Anwendern einen permanenten Vorteil. Doch tatsächlich verflüchtigt sich der Vorteil rasch, schließlich kann der Gegner die Technologie einfach übernehmen. Die britische Erfindung des Panzers ist dafür ein gutes Beispiel. Mit ihrer Blitzkriegtaktik zeigten die Deutschen bereits im Zweiten Weltkrieg, dass sie herausgefunden hatten, wie sich die neue Waffe wesentlich effektiver einsetzen lässt.

Trotzdem hat die Einführung von Panzern, Flugzeugen und Unterseebooten zu einschneidenden Folgen geführt: Mit dieser Entwicklung stellten sich neue politische, moralische und juristische Fragen, die schnell auch zu veränderten Strategien der Kriegsgegner führten. Bei Amerikanern und Deutschen etwa herrschten unterschiedliche Ansichten darüber, wie Unterseeboote im Kampf eingesetzt werden dürften (war ihnen gestattet, Handelsschiffe ohne Warnung zu versenken?), was letztlich auch zum Eintritt Amerikas in den

AUF ALLEN KRIEGSSCHAUPLÄTZEN ZU HAUSE

Zunehmend komplexer werden die Aufgaben, die Maschinen im Krieg übernehmen. »Typische« Roboter gibt es nicht, Gestalt und Fähigkeiten richten sich ganz nach den Einsatzgebieten.

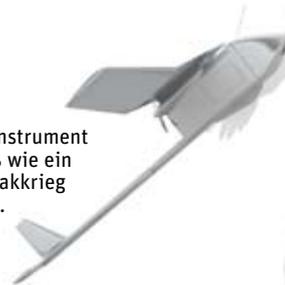


HÖHENLUFTSCHIFF: Es soll über einen Monat lang – unerreichbar für die meisten Waffensysteme – in der Luft bleiben können und mit Hilfe seines Radargeräts hochpräzise Aufklärungsdaten liefern.



KOLIBRIDROHNE: Der »Vogel« misst lediglich 7,5 Zentimeter und schlägt rasend schnell mit den Flügeln, während seine Kameras die Umgebung beobachten.

RABE: Dieses Spionageinstrument ist gerade einmal so groß wie ein Modellflugzeug und im Irakkrieg häufig eingesetzt worden.



MAARS: Mit Maschinengewehr und Granatwerfer ist dieser 160 Kilogramm schwere Wachposten und Scharfschütze ausgestattet.



CHEMBOB: Die handtellergröße, kloßförmige Maschine soll ihre Gestalt verändern können, um sich durch ein Loch in einer Wand zu zwängen und Informationen von der anderen Seite zu liefern.

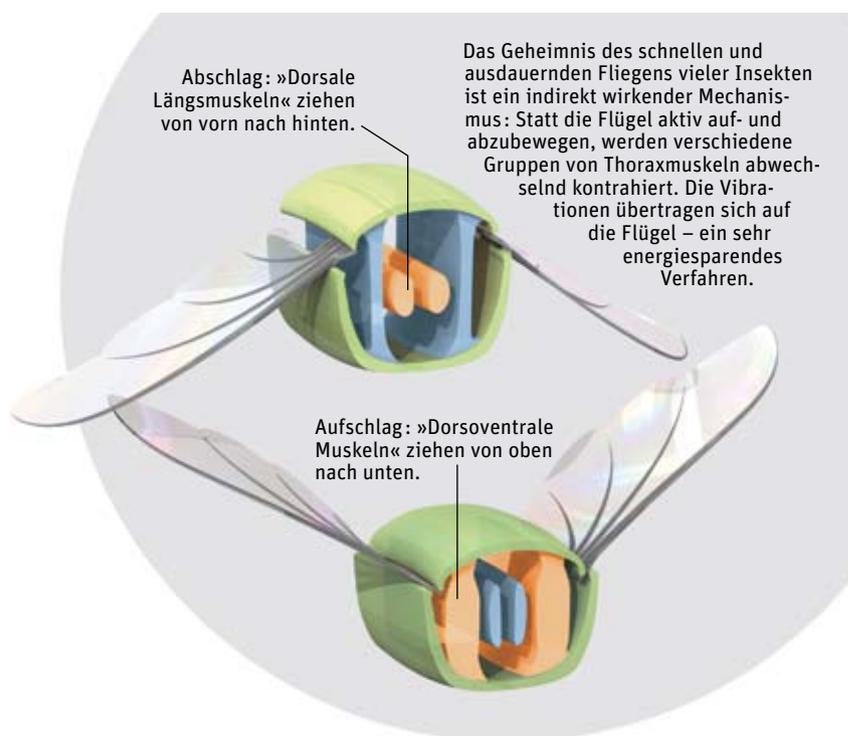
Und fliegt und fliegt und fliegt

Geht es nach dem Willen der Militärs, werden zu Cyborgs umgerüstete Insekten bald zu Aufklärungsflügen starten.

Eine Drohne, so winzig wie ein Insekt und genauso wendig und schnell, könnte vom Feind unbemerkt in ein Gebäude oder Höhlensystem eindringen und seine Stellungen auskundschaften. Rekordhalter solcher Entwicklungen ist derzeit ein Robotflieger aus dem Harvard Microrobotics Laboratory mit gerade mal 0,06 Gramm Gewicht – er ist nur etwa viermal schwerer als eine Stubenfliege. Doch es gibt keine geeignete Batterie, die ihn länger als ein paar Minuten in der Luft hielte.

Dieses Problem haben Insekten offenbar gelöst. Die Flügel der Stubenfliege schlagen etwa 200-mal pro Sekunde. Sie erzeugt ihre Energie selbst und hat den Verbrauch dank einer komplexen Biomechanik minimiert: Die Flügel werden nicht direkt bewegt, sondern durch rhythmische Kontraktion des Thorax (Brustpanzer) in Schwingung versetzt, vergleichbar dem Anschlagen einer Stimmgabel. Nur für die Feinsteuerung greifen direkte Muskeln an den Flügeln an (Basilarmuskulatur). Der Ingenieurwissenschaftler Michel Maharbiz und der Chemiker Hirotaka Sato von der University of California in Berkeley, beide Spezialisten für Mikrosysteme, wollen deshalb Insekten als biologische Transportplattform für Aufklärungsflüge nutzen.

Die Anregung dazu stammt von der DARPA, einer Forschungsbehörde des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums, die vor fünf Jahren einen Workshop über Cyborg-Drohnen veranstaltete, also über Aufklärungsflieger, die zum Teil Maschine, zum Teil leben-

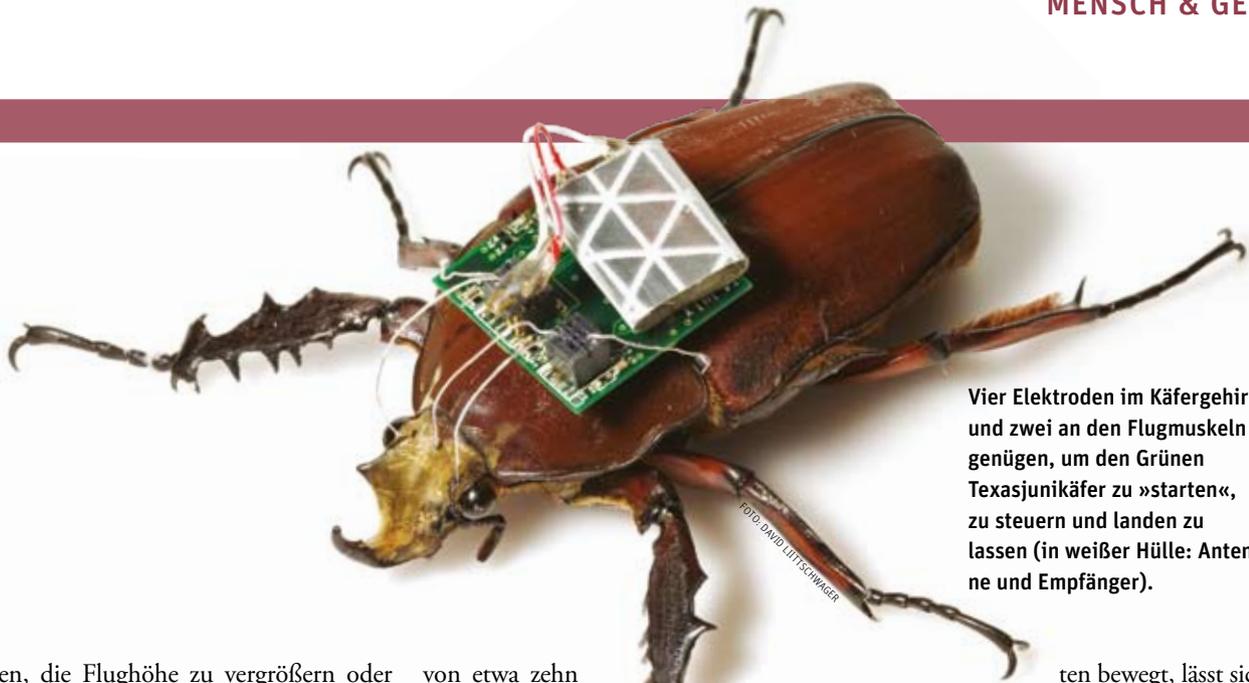


des Wesen sind. Neben dem militärischen Nutzen wurde eine solche Entwicklung auch als Option für die Suche nach Verschütteten gepriesen; außerdem könnten Zoologen das Kommunikations- und Paarungsverhalten der Insekten besser studieren, wenn sie bei ihren Versuchen gesteuerte Tiere einsetzen.

Bis 2005 war der Insektenflug meist an Schmetterlingen oder Fliegen erforscht worden. Erstere bestehen aber zum Großteil aus Flügeln, können also wenig Last tragen; sie sind überdies stark behaart, so dass der nötige Klebstoff

nicht hält. Fliegen sind viel zu klein, um Kabel und Schaltkreise anzubringen. Maharbiz und Sato verlegten sich deshalb auf große Käfer, da diese bis zu 30 Prozent ihres Eigengewichts tragen können, eine glatte Oberfläche haben und wie Fliegen durch rhythmisches Verformen ihres Außenskeletts fliegen. Was sie auch im Hinblick auf ihre militärische – oder zivile – Verwertung interessant macht: Käfer können in nahezu jedem Mikroklima der Erde gedeihen.

Ziel war es, ihren Flügelschlag per Fernsteuerung zu starten oder zu stop-



Vier Elektroden im Käfergehirn und zwei an den Flugmuskeln genügen, um den Grünen Texasjünkäfer zu »starten«, zu steuern und landen zu lassen (in weißer Hülle: Antenne und Empfänger).

pen, die Flughöhe zu vergrößern oder zu verkleinern und einen Links- oder Rechtsschwenk zu erwirken. Feinere Aspekte wie die Ausrichtung gegen den Horizont oder das Ausweichen von Hindernissen sollte das Nervensystem des Tiers selbst kontrollieren.

Als besonders geeignet erwies sich der Grüne Texasjünkäfer (*Cotinis texana*) mit zwei Zentimeter Länge und einem Gewicht von 1,5 Gramm. Das technische System besteht heute aus einem Mikrokontroller mit Funkempfänger, einer Batterie und mehreren Silberkabeln von je 125 Mikrometern Durchmesser. Diese sollen elektrische Ströme unterschiedlicher Frequenz auf die Thoraxmuskeln übertragen. Zudem implantierten die Ingenieure Elektroden in das »Gehirn« (das so genannte Oberschlundganglion im Kopf). Denn es ist bekannt, dass Käfer ohne visuellen Input – beispielsweise in einem dunklen Raum – aufhören zu fliegen. Im Umkehrschluss hofften die Forscher, motorische Reaktionen durch Stimulation optischer Areale auslösen zu können (um nicht die Manövrierfähigkeit des Insekts zu beeinträchtigen, wurden Regionen an der Basis dieser Areale ausgewählt). Wie bei der Muskelreizung zeigte sich auch hier, dass es nicht darauf ankommt, spezielle Neurone gezielt anzusprechen. Ein Glück für das Projekt, denn dergleichen wäre kaum praktikabel.

Es zeigte sich, dass man das Insekt in 97 Prozent der Versuche »starten« konnte, wenn eine Region des Gehirns zwischen dem rechten und dem linken Sehappen mit elektrischen Impulsen

von etwa zehn Millisekunden Länge (was 100 Hertz entspricht) gereizt wurde. Hielt der Impuls hingegen länger an, stoppte das Tier sofort. Die Forscher vermuten, dass die Neurone dabei quasi übersteuert wurden, was die Weiterleitung sämtlicher elektrischer Signale und damit auch einen Reiz blockierte, der für die Kontraktion der Flugmuskeln erforderlich ist. Gaben sie mehrere solcher An- und Aus-Kommandos in schneller Folge hintereinander, unterbrach das den Flügelschlag nicht, sondern er wurde lediglich schwächer – ein Pendant zur Steuerung eines Flugzeugantriebs über den Gashebel. Das An- und Ausschalten funktionierte überdies unabhängig von der jeweiligen Ausgangssituation. Wurde das Tier beispielsweise auf den Rücken gelegt und »gestartet«, schlugen seine Flügel trotz der Lage. Wurde es mitten im Flug »ausgeschaltet«, fiel der Käfer sofort zu Boden und krabbelte dort weiter. Mikrokabel auf den rechten und linken Basilar-muskeln dienen der Kurvensteuerung. Ein Zehn-Millisekunden-Puls rechts verstärkte dort die Kontraktion und der Käfer drehte nach links ab, und umgekehrt.

Um die Tiere auch durch komplexe, räumliche Strukturen zu dirigieren – zum Beispiel einen Kamin hinab oder ein Rohr hinauf –, wurde ihre Traglast um Minimikrofone erhöht. Ob sich ein Flügel gerade nach oben oder nach un-

ten bewegt, lässt sich anhand des Geräuschpegels grob ermitteln. So kann man das Flugverhalten genau steuern. Inzwischen entwickelt Pieter Abbeel, Spezialist für Robotik und Maschinenlernen an der University of California in Berkeley, mit seiner Gruppe ein Softwaresteuerungssystem, das Kommandos wie »ändere die Flugrichtung um 20 Grad« in Käfersteuerbefehle übersetzt, beispielsweise »Zehn-Millisekunden-Pulse auf den rechten Basilar-muskel für x Sekunden«. Magnetresonanzbilder, anatomische Studien und Hochgeschwindigkeitsaufnahmen fliegender Käfer liefern die Daten, um verschiedene Muskeln gleichzeitig anzusprechen und so den freien Flug besser zu kontrollieren.

Sicher wird der Grüne Texasjünkäfer noch einiges zu erdulden haben. Denn um der Armee dienen zu können, muss er auch noch Kamera und Sendevorrichtung auf seinem Rücken tragen. Die Forscher betonen aber, dass die Tiere bei alldem keinerlei Schaden nehmen würden. Cyborgkäfer leben so lange wie ihre normalen Artgenossen, und sie fressen oder paaren sich auch genau wie diese. Es sei denn, der Operator hat andere Pläne.



Der Artikel basiert auf »Cyborg Beetles« von **Michel Maharbiz** und **Hiroataka Sato** in »Scientific American« 12/2010, S. 94–99.

VOLLSTÄNDIG VERBIETEN?

Nicht nur US-Amerikaner beschäftigen sich mit der Frage, ob militärische Roboter auf den Schlachtfeldern eingesetzt werden sollen oder dürfen. Jüngst lud auch das International Committee for Robot Arms Control (Icrac), zu dessen Gründungsmitgliedern der Physiker Jürgen Altmann von der TU Dortmund zählt, zu einer Konferenz in Berlin. Gemeinsam mit Vertretern von Regierungen und Menschenrechtsorganisationen sowie Forschern verschiedener Disziplinen aus zahlreichen Staaten verabschiedete Icrac am 22. September mehrheitlich ein Dokument (<http://www.icrac.co.cc/Expert%20Workshop%20Statement.pdf>), das einen Stopp der Weiterentwicklung bewaffneter autonomer Roboter fordert. Insbesondere sollen robotische Weltraumwaffen sowie die Bestückung von autonomen oder ferngesteuerten Systemen mit Nuklearwaffen verboten werden. Unannehmbar sei, dass Maschinen über den Einsatz von Gewalt entscheiden; stets müsse mindestens ein Mensch die persönliche und rechtliche Verantwortung für Einsätze übernehmen. Könne man sich nicht auf entsprechende Maßnahmen einigen, so drohe die weitere Beschleunigung der Kriegsführung, eine Unterminierung von Waffenkontrollvereinbarungen und eine Erhöhung der Gefahren, die von asymmetrischen Kriegen auf regionale und globale Sicherheit ausgeht.

Ersten Weltkrieg beitrug. Auch Flugzeuge erwiesen sich nicht nur bei der Aufklärung und bei Angriffen aus großer Entfernung als nützlich, sondern ermöglichten, wie man schnell herausfand, zudem Flächenbombardements von Städten. Ab dem Augenblick, als Bomben auf die Zivilbevölkerung herabstürzten, erlangte der Begriff der »Heimatfront« eine völlig neue Bedeutung.

Automatisierte Angriffe lösen keine Debatten mehr aus

Heute erleben wir angesichts des Einsatzes von Militärrobotern einen ähnlichen Wandel. Man stelle sich nur einmal vor, was es einst hieß, »in den Krieg zu ziehen« und vergleiche dies mit einer Kriegsführung, bei der unbemannte Systeme in großer Entfernung aktiv werden. In dem Maß, in dem der Abstand zwischen menschlichem Kämpfer und Kriegsschauplatz wächst, sinkt möglicherweise die abschreckende Wirkung von Kriegen, so dass es uns leichter fällt, sie zu beginnen. Vielleicht sehen wir sie auch bald mit gänzlich anderen Augen. Über 170 Luftangriffe auf Pakistan haben die USA mit Drohnen der Typen Predator und Reaper geflogen; dies ist ein Mehrfaches der Zahl der bemannten Bomberangriffe, welche die USA in der ersten Phase des Kosovo-Kriegs unternahmen. Ganz anders als die bemannten lösten die unbemannten Angriffe jedoch keine Debatte im US-Kongress aus und fanden auch in den Medien nur relativ geringe Aufmerksamkeit. Wir erleben also, dass ein Staat eine Unternehmung beginnen kann, die früher Krieg genannt worden wäre, dass die öffentliche Auseinandersetzung darüber jedoch ausbleibt. Wir US-Amerikaner betrachten den Konflikt nicht einmal als einen Krieg, weil er keinen US-Amerikaner das Leben kostet.

Einerseits sind diese Luftschläge sehr wirkungsvoll gewesen. Bei ihnen starben über 40 Anführer der Al-Kaida, der Taliban oder verbündeter militanter Gruppen, ohne dass amerikanische Soldaten einer Gefahr ausgesetzt worden wären. Doch andererseits haben wir für die vielen Fragen, die diese Angriffe über ihre direkten Effekte hinaus aufwerfen, noch keine gültigen Antworten gefunden. Das führt zu Missverständnissen, Konflikten und letztlich auch zu Wut. Während die Vereinigten Staaten über »präzise« Schläge und »opferfreies« Vorgehen sprechen, wenn sie diese Technologie in den Massenmedien beschreiben, sind in einer führenden pakistanischen Tageszeitung anlässlich der Luftangriffe hasserfüllte Kommentare zu lesen. Das Wort »drone« (Drohne) ist als umgangssprachlicher Begriff sogar in die pakistanische Nationalsprache

Urdu eingegangen und taucht in Rockmusiktexten auf, die Amerika des unehrenhaften Kampfs beschuldigen.

Noch komplexer wird das Problem, wenn wir uns fragen, wer bei Fehlschlägen zur Verantwortung zu ziehen ist. Derzeit schätzt man die Zahl der von Robotern getöteten Zivilisten auf 200 bis 1000. Viele dieser Zwischenfälle trugen sich nahe jener Orte zu, an denen sich die gefährlichsten Terroristenführer tatsächlich aufhielten. Hätte man besser nicht zuschlagen sollen? Wo ziehen wir die Grenze?

Nicht nur ein moderner Staat führt den Krieg heute anders als früher, sondern auch der einzelne Soldat. Seit Menschengedenken bedeutet »in den Kampf zu ziehen« für ihn, dass er möglicherweise nicht nach Hause zurückkehrt. Solche Wahrheiten hatten 5000 Jahre lang Bestand, doch mittlerweile wird der Krieg ferngesteuert. Eine wachsende Zahl Soldaten wacht morgens auf, fährt zur Arbeit, setzt sich vor einen Computer und steuert damit Roboter, die gegen Widerstandskämpfer in 11 300 Kilometer Entfernung zu Feld ziehen. Am Ende eines solchen Tags »im Krieg« steigt der Soldat in sein Auto, fährt nach Hause und sitzt »20 Minuten später am Abendbrottisch und unterhält sich mit den Kindern«, wie es ein Offizier der US-Luftwaffe formuliert. Gefährlich war an seinem Tag nur die Fahrt mit dem Wagen.

Die Aufhebung des geografischen Zusammenhangs zwischen dem Kämpfenden und dem Schlachtfeld führt im Krieg zu einer neuen Aufgabenverteilung. Mit dieser wiederum gehen neue Fragen nach der Rolle individueller Soldaten (junge Rekruten übernehmen Aufgaben, die früher höheren Dienstgraden vorbehalten waren), nach ihrem Status (Techniker versus Krieger) oder neuen Formen von Kampfstress und Erschöpfung einher. Es mag zwar den Anschein haben, als spielte, wer die Fernsteuerung einer Waffe bedient, lediglich ein Videospiele. Tatsächlich aber stehen diese Soldaten unter starkem psychologischem Druck, denn von ihrem fehlerlosen Agieren auf dem Schlachtfeld hängen Tag für Tag Menschenleben ab. Ihre Befehlshaber berichten, dass es etwas ganz anderes sei, Truppen in einen solchen Fernkampf zu führen als mit regulären Einheiten in eine physische Schlacht zu gehen – manchmal sei die Aufgabe der Kommandeure sogar schwieriger, wenn die Truppen »nur« vor dem Computer sitzen.

Während Roboter immer intelligenter und immer tödlicher werden, verliert die Rolle des einzelnen Soldaten in den Entscheidungsprozessen an Bedeutung. Schon jetzt ist Kriegsführung ein extrem schneller Vorgang. Beispiels-

weise können nur Abwehrsysteme wie C-RAM (*Counter-Rocket Artillery and Mortar*), das über ein 20-Millimeter-Maschinengewehr verfügt, schnell genug reagieren, um anfliegende Raketen oder Marschflugkörper abzuschießen. Zwar bleibt der Mensch Teil des Entscheidungsprozesses, seine Aufgaben nimmt er dabei aber vorrangig nicht im Gefecht, sondern viel früher wahr, nämlich bei der Programmierung des Roboters. Während des tatsächlichen Einsatzes hat der Bediener dann lediglich ein Vetorecht. Will er die Entscheidung des Roboters tatsächlich außer Kraft setzen, muss er diese Entscheidung binnen einer halben Sekunde treffen. Und nur wenige sind bereit, dem Urteil der Maschine, das sie für das bessere halten, zu widersprechen.

Der Roboter tötete neun Menschen, bevor die Munition ausging

Viele Beobachter glauben, dass dadurch die Zahl irrtümlicher Entscheidungen im Krieg sinken wird. Außerdem werde sichergestellt, dass entsprechendes Kriegsrecht einheitliche Anwendung findet – so als wäre es in Form von Befehlszeilen einer Computersoftware festgeschrieben. Wer das vermutet, ignoriert aber das komplexe Umfeld eines Kriegs. Ein unbemanntes System mag in der Lage sein, aus über einem Kilometer Entfernung einen Mann auszumachen, der mit einer Kalaschnikow bewaffnet ist, und anhand der Wärmeabstrahlung der Waffe zu bestimmen, ob er das Sturmgewehr kürzlich abgefeuert hat oder nicht. Doch kann es herausfinden, ob dieser Mann ein Aufständischer ist oder ein Mitglied einer alliierten Miliz oder vielleicht nur ein einfacher Ladenbesitzer? Das ist und bleibt für die Maschine ebenso schwierig wie für einen Soldaten.

Den uralten »Schleier des Krieges« werden die neuen Technologien ebenfalls nicht lüften, auch wenn der ehemalige US-Verteidigungsminister Donald H. Rumsfeld und weitere Befürworter eines digitalen Schlachtfelds dies glaubten. Das ausgeklügelte C-RAM-System zum Beispiel hat auf Grund eines Programmierfehlers einmal einen US-Hubschrauber als feindliches Ziel ausgemacht; zum Glück wurde niemand verletzt. 2007 hingegen sorgte ein Softwarefehler bei einem ähnlichen Flugabwehrsystem in Südafrika für einen tragischen Ausgang. Mit einer 35-Millimeterkanone ausgerüstet, sollte das System bei einer Übung in den Himmel schießen. Doch es senkte den Lauf, feuerte im Kreis und tötete neun Soldaten, bevor der Waffe die Munition ausging.

Solche Situationen wecken natürlich gewaltige juristische Bedenken. Bei wem liegt welche Verantwortung? Auf welches Rechts-

system können wir uns bei der Beantwortung solcher Fragen überhaupt beziehen? Wieder einmal entwickelt sich die Technik schneller als unsere gesellschaftlichen Institutionen. Wie passen wir also unser aus dem 20. Jahrhundert stammendes Kriegsrecht der neuen Wirklichkeit an?

Unsere Vorstellungen davon, wie Krieg geführt wird und sogar davon, wer ihn führen sollte, befinden sich im Umbruch. Grund dafür ist eine neue Technologie mit ungeheuren Fähigkeiten. Die Menschheit befindet sich allerdings nicht zum ersten Mal in einer vergleichbaren Situation. Wir mühen uns dann ab, die neue Technologie zu verstehen und allmählich mit ihr klarzukommen. Schließlich aber müssen wir schlicht erkennen, dass mit der Zeit völlig normal geworden ist, was einst als seltsam und sogar inakzeptabel galt. Von einem französischen Adligen aus dem 15. Jahrhundert ist überliefert, dass Gewehre für ihn Mordwerkzeuge darstellten, die ein wahrer Soldat nie anrühren würde. Nur Feiglinge, schrieb er, »würden sich nicht trauen, den Männern ins Gesicht zu sehen, die sie aus der Ferne mit ihren erbärmlichen Kugeln fällen«.

Über die Robotik denken viele heute ebenso. Vielleicht stellt sich heraus, dass wir die Technik viel schneller beherrschen werden als wir die Fragen beantworten können, die uns diese Maschinen aufzwingen. Genau aus diesem Grund führen einige Wissenschaftler nicht die Erfindung von Gewehr oder Flugzeug als historische Parallele zur Gegenwart an, sondern verweisen auf die Atombombe. Wieder einmal überschreiten wir heute mit einer neuen Technik die Grenzen der Wissenschaft. Und wieder einmal stellen sich jenseits der wissenschaftlichen Sphäre so drängende Fragen, dass wir die Realisierung unserer Ideen möglicherweise bereuen werden – so wie dies auch einige der Wissenschaftler taten, welche die ersten nuklearen Sprengköpfe entwickelten. Doch genau wie jene Erfinder in den 1940er Jahren fahren auch die heutigen Entwickler von Robotern mit ihrer Arbeit fort, weil sie militärisch nützlich und hoch profitabel ist und wieder einmal die gegenwärtigen Grenzen der Wissenschaft niederreißt.

Die eigentliche Aufgabe besteht darin, die neuesten Entwicklungen in der Militärrobotik auch außerhalb der Verteidigungsministerien ernsthaft zu diskutieren. Denn diese Diskussionen werden beeinflussen, was in der Robotikbranche, in den Forschungslabors und auf dem Schlachtfeld geschieht. Schon jetzt aber ist klar: 5000 Jahre lang besaß die Menschheit das Monopol der Kriegsführung. Nun hat sie es verloren. ◀



P. W. Singer leitet die 21st Century Defense Initiative an der Brookings Institution, einem Forschungsinstitut in Washington D. C.

Singer, P. W.: *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century.* Penguin, 2009.

Singer, P. W.: *The Regulation of New Warfare.* Brookings Institution, Washington, 2010. Online unter www.brookings.edu/opinions/2010/0227_defense_regulations_singer.aspx

Bombs Away. *The Economist*, Technology Quarterly, S. 13, 4. März 2010. Online unter: www.economist.com/node/15582147

Weitere Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.spektrum.de/artikel/1050008.