



Der Maschinen-Schwarm

Industrie Eine neue Generation schneller und intelligenter Roboter treibt die Automatisierung der Wirtschaft voran. Deutsche Hersteller profitieren von dem Boom. Doch gleichzeitig drängen Konkurrenten wie Google und Apple in den Markt.

Am Montag wartet auf Angela Merkel eine Begegnung der dritten Art: nicht in Moskau oder Minsk, sondern in einer Werkhalle in Augsburg. Die Bundeskanzlerin hat einen Termin mit

Iiwa, einem silbrig glänzenden Wunderwerk aus Stahl und Aluminium: rund 24 Kilogramm schwer, geschmeidig wie eine Schlange, feinfühlig wie eine Katze und gelehrt wie ein Schäferhund.

Iiwa ist ein Roboter der neuen Generation, ein erstaunlich gefühliges Geschöpf. Zum Einsatz kommt er bislang vor allem

in der Autoindustrie, quasi als dritter Arm des Monteurs, um beispielsweise Zahnräder in Getriebe reinzurückeln. Kuka, das bayrische Unternehmen, das ihn produziert, ist ein Global Player der Automatisierungstechnik.

Drei Wochen vor der Cebit, der Hightech-Messe in Hannover, will sich die Kanz-

* Experiment mit 1024 Robotern mit einem Durchmesser von jeweils 3,3 Zentimetern.

lerin einen Eindruck davon verschaffen, was heute Industrie 4.0 bedeutet. Der Begriff beschreibt die moderne Fabrik, in der alles miteinander vernetzt ist: Maschinen, Lieferanten, Produkte. Eine entscheidende Rolle aber spielen Roboter.

Die Automatisierung schreitet in vielen Industrien schon seit Jahrzehnten stetig voran. In den vergangenen zwei Jahren aber hat sich der Prozess beschleunigt. Roboter werden immer schneller, kleiner und klüger, und daraus ergeben sich weitaus mehr Einsatzmöglichkeiten in den Fabriken. 2013 wurden weltweit knapp 180 000 neue Industrieroboter installiert, ein Zuwachs von zwölf Prozent, mehr als je zuvor. In den kommenden Jahren soll die Nachfrage mindestens im gleichen Umfang steigen. Allein in den USA werden demnach bis 2025 rund 1,2 Millionen neue Roboter installiert.

Die klassischen Industrie- und Fabrikroboter machen indes nur noch einen Teil des Booms aus, der in den kommenden Jahren erwartet wird. In Wissenschaft und Industrie wird mit großem Aufwand an ganz neuen automatisierten Maschinen geforscht. Entwickelt werden nicht tumbe Stahlgiganten mit Greifarmen, sondern intelligente, computergestützte Roboter, die den Menschen in allen Lebenslagen unterstützen: im Haushalt, beim Autofahren, bei der Arbeit.

Deutschland, das Land der Maschinenbauer, ist schon lange eine Weltmacht der Automatisierungstechnologie. Viele der Roboter in Shenzhen und Chongqing, Detroit und Pittsburgh stammen aus deutschen Fabriken. Doch mit dem Boom, mit den neuen Möglichkeiten der digitalisierten Maschinenwelt, drängen angriffslustige und finanzstarke neue Akteure in den Markt. Vor allem im Silicon Valley sind Robotik und alle Bereiche der Automatisierungstechnologie zu einem neuen Schwerpunkt geworden, auf den sich Konzerne und Start-ups gleichermaßen stürzen.

Google kauft reihenweise Robotik-Firmen und hat ein selbst fahrendes, automatisiertes Auto entwickelt. Uber, der Transportdienst, hat vor wenigen Wochen eine Robotik-Forschungsabteilung eröffnet und auf einen Schlag 50 führende Wissenschaftler aus Forschungseinrichtungen abgeworben, die unter anderem den Mars-Rover der Nasa entwickelt hatten. Facebook investiert mächtig in die Entwicklung von Maschinenintelligenz. Und Apple arbeitet, wie jetzt bekannt geworden ist, an einem eigenen selbstfahrenden Auto.

Getrieben werden die globalen Bemühungen von neuen Forschungserkenntnissen und technischen Fortschritten, die noch vor wenigen Jahren kaum absehbar waren. Die Rechenkraft von Computern wird immer größer, Maschinen beginnen zu lernen und ihre Umwelt besser zu sehen, zu er-

kennen und zu verstehen. Die Nasa setzt sogar auf Quantencomputer, auch um Roboter ohne menschliche Hilfe in den Weltraum zu schicken. „Es passiert gerade ein Riesen-Technologiesprung“, sagt Kuka-Chef Till Reuter.

Manchen scheinen die Sprünge sogar gefährlich groß. In den vergangenen Monaten haben sowohl Stephen Hawking als auch Bill Gates vor einer neuen Maschinenintelligenz gewarnt, die zur Gefahr für die Menschheit werden könne. Schon in den nächsten Jahren würden Roboter zu vielen mechanischen Arbeiten in der Lage sein, sei es, Früchte zu pflücken oder Krankenhauspatienten umzubetten, so Gates. „Sobald Computer und Roboter ein Niveau erreichen, auf dem Sehen und Bewegen einfach funktionieren, wird das extrem genutzt werden.“ Auf lange Sicht, sagt der Microsoft-Gründer, bestehe die Gefahr, dass Maschinen die Menschheit generell überflügeln.

Solch apokalyptische Visionen scheinen heute noch weit entfernt. Allerdings zeichnet sich in der Robotik tatsächlich „ein neues Paradigma“ ab, sagt Ken Goldberg. „Es gibt nicht einfach mehr brutale Rechenkraft, sondern ganz neue, große Ideen.“ Goldberg ist Professor für Robotik an der University of California in Berkeley, er leitet eine neue Roboter-Forschungsallianz von kalifornischen Universitäten. Das Silicon Valley ist nur wenige Kilometer entfernt.

Lange hätten Industrie und Wissenschaft Roboter nur als autonome Maschinen betrachtet, die separat programmiert und gesteuert werden, sagt Goldberg. Doch durch das Internet und allgegenwärtige Netzwerke sowie Datenverbindungen könnten Roboter nun extern mit Informationen aus der Datenwolke versorgt werden und voneinander lernen. Die neue Forschungsrichtung heißt deswegen Cloud-Robotik. „Über die Cloud können Maschinen auf

riesige Mengen von Rechenkraft zugreifen, Daten teilen und ganz neue mathematische Berechnungen anstellen“, sagt Goldberg.

Roboter sind damit in der Lage, erheblich schneller zu lernen. „Ganz vereinfacht lässt sich sagen: Ein Roboter kann 10 000 Stunden etwas lernen, oder 10 000 Roboter können das Gleiche in einer Stunde lernen“, so Goldberg. Es sei inzwischen bewiesen, dass eine Gruppe lernender Maschinen bessere Entscheidungen trifft als eine einzelne. Daraus ließen sich mathematische Modelle entwickeln, die Roboter zu weit komplexeren Aufgaben befähigten.

Bislang lautet die Grundregel in der Robotik: Aufgaben, die für Menschen schwer sind, etwa ganz exaktes Schweißen, sind oft leicht für Maschinen. Viele Aufgaben, die für Menschen leicht sind, etwa das Abräumen von Geschirr, sind schwer für Maschinen. Dieses Prinzip gerät ins Wanken.

Roboter können beispielsweise leichter Dinge greifen, wenn sie Gegenstände im Sichtfeld mit einer riesigen Datenbank abgleichen, identifizieren und eine entsprechende Anleitung finden. Schon bald gebe es einfache Haushaltsroboter, die den Boden aufräumen oder in Altenwohnheimen Stolperfallen entfernen, sagt Goldberg. Weitere Anwendungen finden sich in der Medizin. Roboter nehmen Chirurgen mühselige Aufgaben wie das Entfernen von Gewebe ab.

Solche Assistenzfunktionen spielen nach Ansicht von Goldberg zunehmend bei vernetzten Maschinen eine Rolle. Dazu zählt er auch das von Google entwickelte selbstfahrende Auto, das nichts anderes ist als ein Roboter, eine autonom operierende Maschine, die ständig lernt und ihre Intelligenz aus der Datenwolke bezieht.

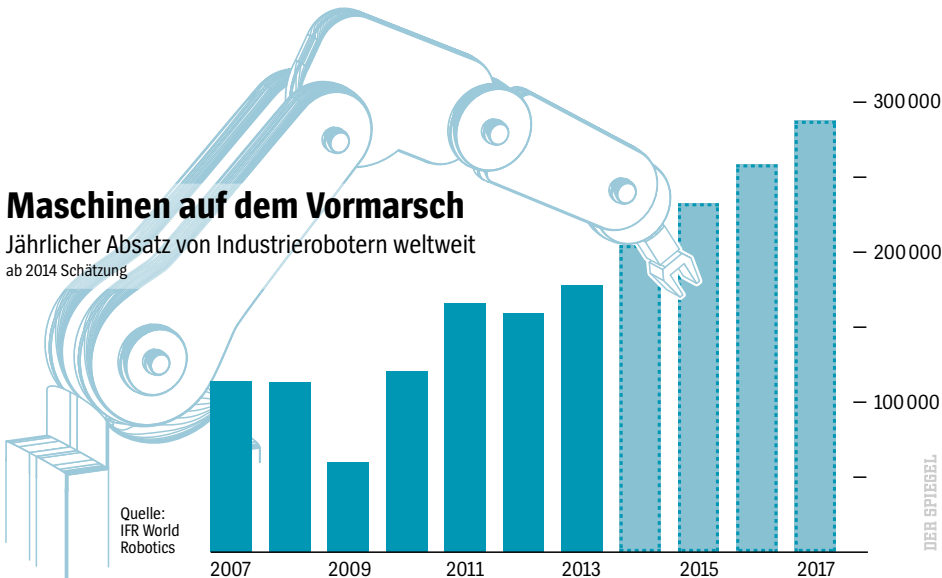
Google hat inzwischen acht Robotik-Firmen übernommen; darunter auch Boston Dynamics, ein Unternehmen, das unter



Kuka-Softroboter liwa

Maschinen auf dem Vormarsch

Jährlicher Absatz von Industrierobotern weltweit
ab 2014 Schätzung



Quelle:
IFR World
Robotics

anderem für das Pentagon an Robotik-Projekten arbeitete. Es hat neben vierbeinigen Robotern, die bis zu 46 Kilometer pro Stunde schnell rennen können, auch humanoide, zweibeinig laufende Maschinen entwickelt.

„Ich möchte gern Roboter bauen, die all die alltäglichen Dinge können wie wir“, hat Marc Raibert, der Gründer des Unternehmens, seine Ziele im vergangenen Herbst auf einer Forschungstagung des Massachusetts Institute of Technology beschrieben. Raibert, seit Jahrzehnten einer der führenden Experten der Szene, erklärte, wie seine Maschinen inzwischen einen Sinn für Balance entwickeln.

Dazu zeigte er Videos von massiven Vierbeinern aus Metall und Kunststoff, so groß wie Bernardiner, die sensorgesteuert allein Treppen hochrennen, durch unwegsames Gelände im Wald hoppeln und sich synchron mit anderen Robotern bewegen. Auch Stöße und Tritte machen den Maschinen nichts aus, sie stabilisieren sich von selbst. „Wir haben Algorithmen, die fühlen können, ob die Füße Haftung auf dem Boden haben, ähnlich wie bei Autos“, so Raibert, der gern im Hawaiihemd auftritt und sich eher jovial als professoral gibt.

Details seiner Robotik-Pläne hält Google streng unter Verschluss. Berkeley-Professor Goldberg findet es jedoch nahe liegend, dass der Konzern an einem übergreifenden Betriebssystem für Roboter arbeitet.

Die Macht der Software ist der Schlüssel, um solche Visionen zu realisieren – und darin sind die Amerikaner besonders stark. Deshalb sind die großen amerikanischen Akteure wie Boston Dynamics oder Amazon-Tochter Kiva derzeit die Schrittmacher in der Branche. Sie fordern die Deutschen und auch die Japaner heraus, die eher aus der Tradition der Mechanik und Elektronik stammen. Bernd Liepert, Innovationsschef von Kuka, ist dennoch nicht bange: „In der Robotik sind wir mit dem Silicon Valley auf Augenhöhe.“

Ein wichtiger Kunde für traditionelle Roboter-Hersteller wie Kuka ist die Autoindustrie. Auf 1000 Mitarbeiter kommen in der deutschen Vorzeigebbranche 114 Roboter. In manchen Hallen findet sich kaum mehr ein Mensch.

Der Karosseriebau etwa ist heute ausnahmslos in der Hand der Maschinen. Sie schweißen, kleben oder schneiden die Stahlteile so exakt und schnell, wie dies keinem Menschen gelingen kann. Inzwischen dringen Roboter aber auch in Bereiche der Fertigung vor, die ihnen bislang verschlossen geblieben sind, zum Beispiel in die Montage.

Seit zwei Jahren setzt BMW in seinem Werk im amerikanischen Spartanburg Roboter ein, die helfen, die Türinnenseite der X3-Modelle zu isolieren. Im ersten Schritt legen die Mitarbeiter eine Klebefolie auf und drücken sie leicht an. Danach übernimmt ein kleiner Roboter den kraftrau-

benden Part: Er bewegt einen Rollkopf vor und zurück, bis die Dichtung fest ist.

Solche feinmotorischen Arbeiten haben bis vor Kurzem immer nur Menschen hinkommen. Aber die Arbeitsteilung mit dem Roboter soll in BMW-Werken zum Standard werden. „Mensch und Maschine arbeiten künftig Hand in Hand“, sagt Stefan Bartscher, Leiter des Innovationsmanagements in der Produktion des Münchner Konzerns. „Es ist der Beginn eines neuen Zeitalters.“

Von diesem Umbruch wird die gesamte Autobranche erfasst. Auch andere Hersteller wie Mercedes oder Volkswagen ergänzen neuerdings die klassischen Roboter-Giganten durch eine Gruppe von Maschinen, die ein weit größeres Spektrum an Fähigkeiten auszeichnet: Sie sind kleiner, wendiger und smarter. Beide Welten der Robotik, die alte und die neue, kann Kanzlerin Merkel in Augsburg besichtigen.

Gleich hinter der Kuka-Verwaltung sind die stählernen Ungetüme aufgereiht – bis zu fünf Tonnen schwer –, die spielend einen Kleinwagen wuchten können. Solche Roboter sind hochpräzise, aber auch hochgefährlich: In Fabriken bleiben sie stets in Käfigen eingeschlossen, damit niemand ihnen zu nahe kommt.

Eine Halle weiter warten ihre sanften Nachkommen, Softroboter wie Iiwa, die ohne Sicherheitszaun auskommen. Ihre Sensoren spüren, wenn sich ihnen jemand nähert, dann geben sie nach. So sind sie in der Lage, gemeinsam mit den Monteuren Aufgaben zu erledigen, sie erlangen die Rolle persönlicher Assistenten. „Roboter werden zu Teamarbeitern“, sagt Kuka-Chefentwickler Liepert.

Vor fast 20 Jahren hat er die erste PC-basierte Steuerung für Industrieroboter auf den Markt gebracht. Nun kann Liepert beobachten, wie sich die Automaten von der Steuerung emanzipieren. Er ist sicher: Dieser Prozess wird sich fortsetzen. Im nächsten Schritt werden Maschinen mit Maschinen interagieren. Sie erkennen sich gegenseitig, tauschen sich aus, lernen und erarbeiten gemeinsam Lösungen. Dann findet der eine Roboter einen Defekt, und der andere repariert ihn.

Die nötigen Kenntnisse können sie sich nach Bedarf aus der Cloud besorgen, in der Branche spricht man von „Intelligence on demand“. Die Rechenleistung wachse unvermindert weiter, sagt Kuka-Mann Liepert: „Heute lassen sich ganz andere Algorithmen entwickeln als vor fünf Jahren.“

Wenn dann eine Vielzahl von Robotern ausschwärmt und an die Arbeit geht, ergeben sich völlig neue Einsatzfelder. In Warenlagern können demnächst fahrerlose Systeme die Bestände in Eigenregie verwalten, sortieren und transportieren. Ebenso sind Anwendungen in der Luft denkbar. Heute schon werden Flugroboter einge-



Roboter-Forscher Goldberg
„Riesige Mengen Rechenkraft“

FOTO: ERIC ROBER

setzt, die Brücken inspizieren oder Baustellen vermessen, allerdings nur einzelne Drohnen: In Formation können sie bislang nur in Hallen fliegen. In zwei bis drei Jahren aber werde dies auch im Freien möglich sein, sagt Jörg Lamprecht, Chef des Kasseler Herstellers Aibotix.

Gleichzeitig bedeutet der Vormarsch der Roboter aber auch eine enorme Herausforderung für den Arbeitsmarkt. Im kommenden Jahrzehnt werde der Anteil der Automatisierung in der Fertigung von jetzt 10 auf dann 25 Prozent steigen, prognostiziert die Beratungsgesellschaft Boston Consulting Group (BCG) in einer neuen Studie. Denn die neuen Roboter und intelligenten Maschinen sind nicht nur besser, sondern werden auch immer billiger.

Dieser Trend werde die Hersteller veranlassen, Menschen verstärkt durch Maschinen zu ersetzen, schlussfolgern die BCG-Berater. In der Elektronikfertigung werde in der Regel ein Arbeiter gegen einen Automaten ausgetauscht, sobald sich mindestens 15 Prozent der Kosten sparen lassen, lautet ihre Faustformel. Schon jetzt kostet ein Roboter in der amerikanischen Elektronikbranche im Schnitt nur vier Dollar die Stunde gegenüber dem Arbeiterlohn von 24 Dollar pro Stunde.

Durch den Roboter-Boom werde die Belegschaft in US-Fabriken in den kommenden zehn Jahren um fast ein Viertel schrumpfen, sagen die Berater voraus. Und auch für die Lohnentwicklung der verbleibenden Arbeiter verheißt die billige Maschinenkonkurrenz nichts Gutes.

Allerdings: Zugleich verspricht die Automatisierung deutlich wachsende Produktivität. Damit könnte die Abwanderung der Fertigung nach Asien gebremst, die Globalisierung vielleicht sogar wieder ein Stück zurückgedreht werden.

Aber wo geht die Entwicklung hin, wenn sich der technologische Fortschritt weiter beschleunigt? Werden Maschinen den Menschen dann tatsächlich schon in wenigen Jahrzehnten weitgehend überflüssig machen, wie manche Experten warnen?

„Ich glaube nicht, dass alle Autofahrer und Chirurgen einfach durch Maschinen ersetzt werden“, sagt Robotik-Professor Goldberg. Roboter dienen am Ende vor allem als Werkzeug, um die Leistung des menschlichen Arbeiters zu erhöhen. Sie würden den Lkw-Fahrer nicht ersetzen, sondern ihm lediglich helfen, länger am Stück arbeiten zu können. Goldberg ist sicher: „Die besten Ergebnisse erreichen wir, wenn Menschen und Maschinen zusammenarbeiten.“

Alexander Jung, Thomas Schulz



**Video: Die neue
Roboter-Generation**

spiegel.de/sp092015roboter
oder in der App **DER SPIEGEL**