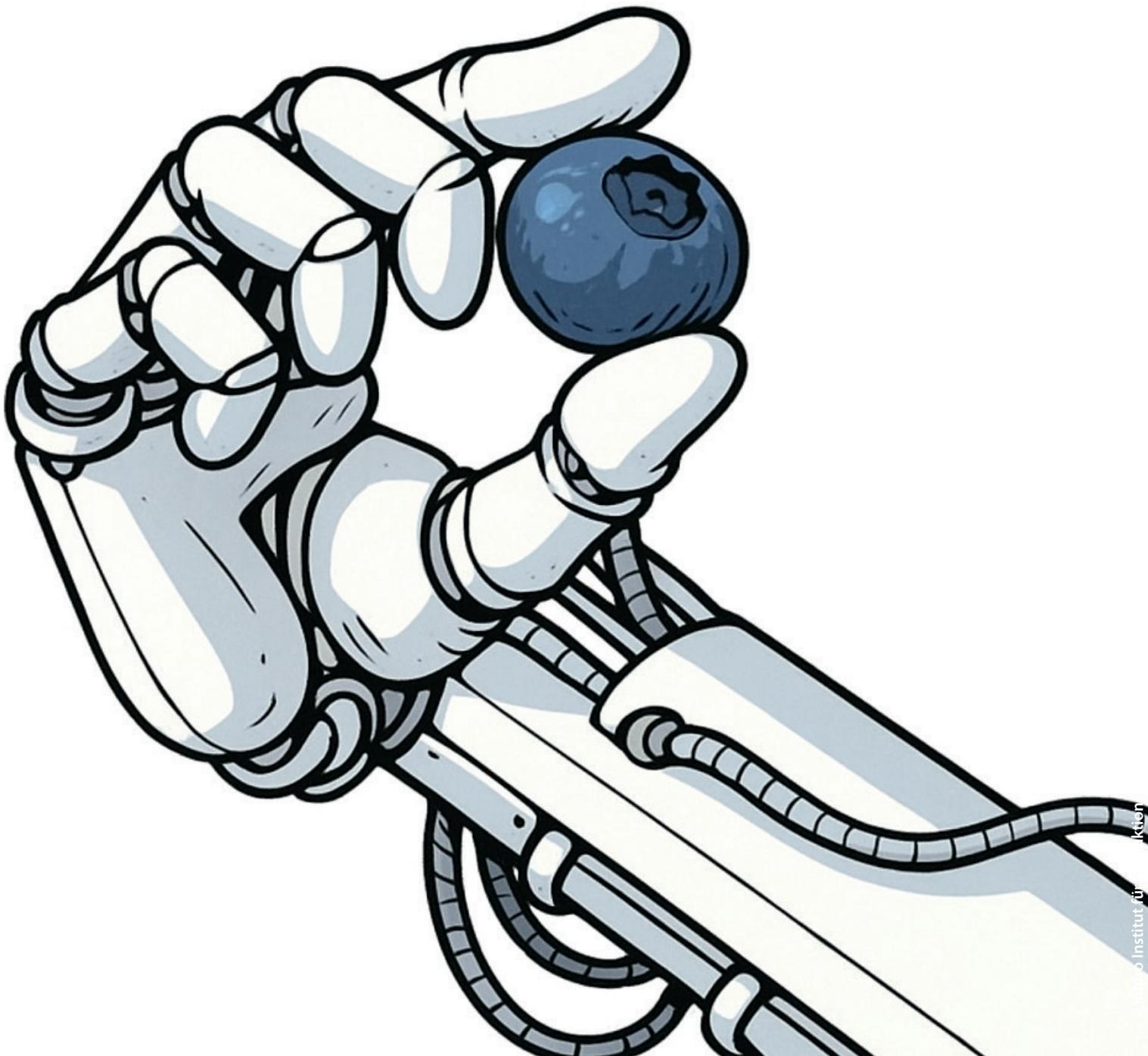




infpro

# THEMENSERVICE

## WENN ROBOTER LERNEN HEIDELBEEREN ZU PFLÜCKEN



# WENN ROBOTER LERNEN DIE HEIDELBEEREN ZU PFLÜCKEN

Roboter hatten in Hollywood schon immer Hauptrollen. Marvin, der depressive Android aus Per Anhalter durch die Galaxis, klagt über seine Intelligenz, die angeblich 50.000-mal größer sei als die eines Menschen – und findet doch keinen Sinn. R2-D2 aus Star Wars piepst sich als mutiger Gefährte durch den galaktischen Bürgerkrieg. In I, Robot treten gleich ganze Heerscharen humanoider Maschinen auf, die Lasten tragen, Türen öffnen, Auto fahren und doch jederzeit das Potenzial zum Kontrollverlust in sich tragen. Auch C-3PO, Data aus Star Trek oder die Roboterarme in Iron Man gehören zu diesem Kanon: brillante Helfer, kauzige Sidekicks oder bedrohliche Gegenspieler. Immer spiegeln sie die Hoffnungen und Ängste ihrer Zeit.

Auf dem Maschinenbau-Gipfel im September zeigte sich, wie stark diese Bilder inzwischen die Industrie inspirieren. Dort wurden die „Wunderkinder“ der Robotik präsentiert: humanoide Maschinen, die gehen, greifen und sprechen können. Sie sollen nicht nur faszinieren, sondern die drängendsten Probleme der Industrie lösen – vom Fachkräftemangel über die alternde Belegschaft bis zur flexibleren Produktion. Manager, Ingenieure und Politiker sahen in ihnen den Beginn einer neuen Epoche: die Vision, dass Science-Fiction Schritt für Schritt in den Fabrikhallen ankommt.

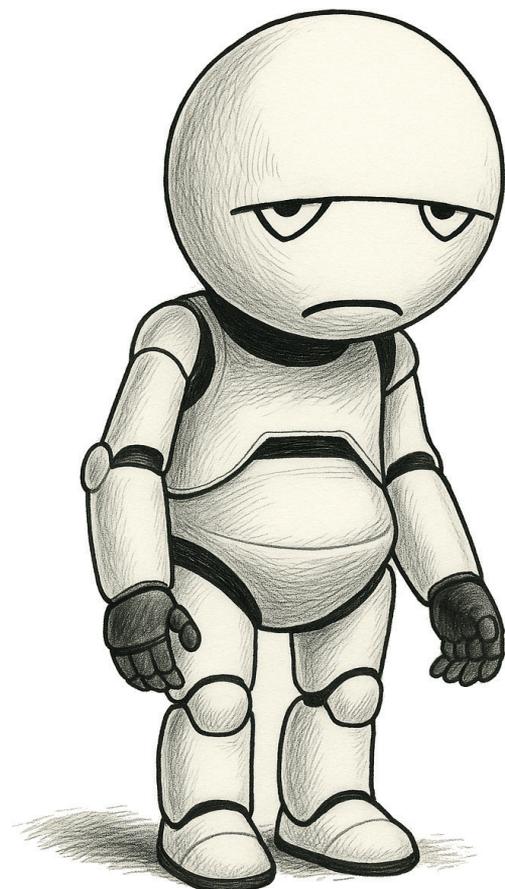
Über die vergangenen fünf Jahrzehnte haben sie ganze Branchen verändert – von der Automobilproduktion über die Elektronikfertigung bis in den Einzelhandel. Bislang waren Industrieroboter hoch spezialisiert. Einmal programmiert, erledigten sie genau eine Aufgabe – effizient, aber ohne jede Flexibilität. Nun deutet sich ein Generationswechsel an. Fortschritte im Bereich „Embodied AI“ – also einer Künstlichen Intelligenz, die nicht nur Daten auswertet, sondern auch physische Umweltreize verarbeitet – ebnen den Weg zu Robotern, die mehr können als eine einzige Tätigkeit.

## Das Paradox der Maschinen

Doch die neuen Fähigkeiten stoßen auf ein altes Problem. Computer berechnen längst komplexe Gleichungen schneller als jeder Mensch, doch die einfache Aufgabe, eine Heidelbeere vom Strauch zu pflücken, ohne sie zu zerdrücken, überfordert sie. Der Robotiker Hans Moravec beschrieb dieses Missverhältnis bereits in den achtziger Jahren: Hochkognitive Leistungen fallen Maschinen leichter als scheinbar banale motorische Fertigkeiten.

Für Ingenieure bedeutete das bislang, Roboter mit akribischen Schritt-für-Schritt-Anweisungen zu füttern – jede Bewegung von Arm, Handgelenk und

**LIFE. DON'T TALK TO ME ABOUT LIFE.**



Fingern musste exakt programmiert, alle Eventualitäten der Umgebung berücksichtigt werden. Dass Roboter bislang nur in streng kontrollierten Umgebungen wie der Fertigungsstraße wirklich produktiv waren, erklärt sich aus diesem Aufwand.

### **Ausnahmen, die das Paradox infrage stellen**

Ganz widerlegt ist das Moravec-Paradox allerdings nicht – doch es gibt bemerkenswerte Ausnahmen. Schon heute existieren hochsensitive Roboter, die in der Lage sind, empfindliche Früchte wie Pfirsiche, Erdbeeren oder Tomaten zu ernten, ohne sie zu beschädigen. Mit weichen, flexiblen Greifern, die den Druck gleichmäßig verteilen, und mit Kamerasystemen, die über Hyperspektral- und Infrarottechnik den Reifegrad bestimmen, können sie erkennen, ob eine Frucht gepflückt werden darf. In Spanien und Italien laufen entsprechende Pilotprojekte, in den USA testen Farmen Roboter, die Erdbeeren mit Vakuumsaugern ernten. Japanische Hersteller arbeiten seit Jahren an ähnlichen Systemen für den Obstbau. Doch so beeindruckend diese Beispiele sind: Es handelt sich um hoch spezialisierte Anwendungen, die auf klar abgegrenzte Aufgaben optimiert wurden. Der Sprung zu wirklich universellen Maschinen, die gleichermaßen im Obstgarten wie in der Fabrikhalle bestehen, ist damit noch nicht gelungen.

*(Das sogenannte Moravec-Paradoxon beschreibt ein Missverhältnis, das die Robotik bis heute prägt. Maschinen meistern mühelos Aufgaben, die für den Menschen höchst anspruchsvoll erscheinen – sie berechnen Millionen Gleichungen in Sekunden, analysieren gigantische Datenmengen oder schlagen die besten Schachspieler der Welt. Gleichzeitig aber scheitern sie an dem, was uns selbstverständlich ist: den sicheren Schritt auf unebenem Boden, das Balancieren einer Tasse, das Pflücken einer Heidelbeere, ohne sie zu zerdrücken.*

*Der Robotiker Hans Moravec formulierte diese Beobachtung bereits in den achtziger Jahren. Seine Erklärung: Kognitive Leistungen wie Logik oder Sprache sind evolutionsgeschichtlich jung und vergleichsweise einfach zu formalisieren. Motorische Fähigkeiten wie Sehen, Greifen oder räumliche Orientierung dagegen sind das Ergebnis von Hunderten Millionen Jahren biologischer Optimierung – sie stecken tief in der unbewussten Intelligenz des Menschen. Für Roboter dagegen sind sie bis heute eine kaum lösbare Aufgabe.)*

Vielleicht ist es genau das, was der jüngst erschienene Beitrag ‚A leap in automation: The new technology behind general-purpose robots‘ andeutet: Der universelle Roboter ist kein fernes Hirngespinnst mehr, sondern eine mögliche Zukunft. Doch ob er

vom Kuriosum zur Selbstverständlichkeit im Arbeitsalltag wird, entscheidet sich nicht im Labor, sondern in der Realität der Werkshallen.“

### **Neue Software, neue Hoffnungen**

Die jüngsten Fortschritte bei der Software lassen Roboter lernen und sich in Echtzeit anpassen, anstatt lediglich Befehle abzuarbeiten. Drei Stränge sind besonders bedeutsam:

- Verhaltensimitation. Roboter beobachten Menschen – live oder per Video – und ahmen deren Bewegungen nach. So können sie komplexe Handgriffe schneller erlernen.
- Reasoning-Modelle. Sprachmodelle mit logischen Fähigkeiten erlauben es Maschinen, Probleme zu zerlegen, Schlüsse zu ziehen und Entscheidungen abzuwägen.
- Erweiterte Sensorik. Neue Bild- und Tastsensoren geben Robotern ein genaueres Verständnis von Kraft, Druck und Materialeigenschaften.

Zusammen mit sogenannten Foundation Models, die auf riesigen Datenmengen trainiert sind und Mustererkennung auf ein neues Niveau heben, entsteht eine technische Basis, die Roboter flexibler macht. In der Forschung spricht man von „General Purpose Robotics“ – Maschinen, die sich selbst umprogrammieren und von Erfahrung lernen können.

### **Die nächsten Hürden**

Trotz der Fortschritte bleiben erhebliche Herausforderungen. Foundation Models benötigen Milliarden von Datenpunkten, die bislang nur in künstlichen Simulationsumgebungen gesammelt werden können. Sobald Roboter aus dem Labor in den Alltag wechseln, zeigt sich, wie brüchig diese Wissensbasis ist: Schon ein verrückter Arbeitstisch, eine falsch einsortierte Schraube oder eine leere Kiste im Regal können Systeme aus dem Tritt bringen.

Auch die Koordination verschiedener Sensoren ist ungelöst. Ein Omelett zu braten – also Pfanne, Spatel und Ei gleichzeitig zu handhaben, während visuelle und haptische Daten verarbeitet werden – ist für heutige Maschinen unlösbar. Zudem mangelt es an der Fähigkeit, mehrere Roboter nahtlos aufeinander abzustimmen, etwa wenn sie gemeinsam Regale befüllen oder in Rettungseinsätzen agieren sollen.

„Cognitive Robots können aus Erfahrung lernen, selbst Entscheidungen treffen und sich an unterschiedliche Szenarien anpassen“, sagt Magnus Han-

ses vom Fraunhofer IFF. „Bei Pick-and-Place-Aufgaben etwa muss ein solcher Roboter nicht vorher wissen, wie ein Werkstück genau aussieht, sondern registriert per Kamera Form, Größe, Textur und Zustand und passt dann sein Verhalten entsprechend an.“

Trotz der sichtbaren Fortschritte bleibt der Weg zu wirklich universellen Robotern voller Hindernisse. Foundation Models, die als Gehirn der neuen Maschinen fungieren, sind datenhungrig in einem bislang ungekannten Ausmaß. Um sie zu trainieren, braucht es Milliarden von Datenpunkten – Bewegungssequenzen, Kraftmessungen, visuelle Eindrücke, Audiodaten. Da sich diese Informationen im realen Leben kaum in der erforderlichen Breite und Qualität sammeln lassen, weichen Entwickler auf Simulationsumgebungen aus. In diesen kontrollierten Welten wirkt die Technik oft souverän: Roboter laufen fehlerfrei durch virtuelle Hallen, greifen standardisierte Objekte, sortieren Bauteile. Doch sobald sie die Grenze ins wirkliche Werk überschreiten, wird die Bruchstelle sichtbar.

Die aktuelle Analyse von McKinsey beschreibt diesen Übergang eindringlich. In stabilen Simulationen bewegen sich Roboter in einer perfekten Ordnung; in realen Werkhallen aber reicht ein verrückter Arbeitstisch, eine achtlos abgestellte Kiste oder eine Schraube im falschen Fach, um das System aus dem Gleichgewicht zu bringen. Selbst kleine Abweichungen, die für Menschen kaum der Rede wert sind, lassen die Fehlerrate sprunghaft steigen. Noch deutlicher zeigt sich das Problem, wenn Roboter den Standort wechseln. Ein Gerät, das in Halle A zuverlässig Pakete sortiert, kann in Halle B deutlich schlechter arbeiten, obwohl die Aufgaben fast identisch erscheinen. Die Generalisierungsfähigkeit – also die Fähigkeit, Wissen und Erfahrung auf neue Situationen zu übertragen – bleibt eine offene Flanke.

Damit verbunden ist die Frage der Funktionskopplung. Viele Maschinen können heute entweder laufen oder greifen – aber nicht beides nahtlos kombinieren. Erst wenn Lokomotion und Manipulation enger aufeinander abgestimmt sind, sinkt die Fehlerquote spürbar. Solange die Bewegung des Beins noch nicht vollständig in das Bewegungsmuster der Hand integriert ist, stolpert der Roboter buchstäblich über seine eigenen Grenzen.

Hinzu kommt die Schwierigkeit der multimodalen Verarbeitung. Zwar sind moderne Systeme mit ei-

ner Vielzahl von Sensoren ausgestattet – Kameras, Gyroskope, Mikrofone, Tastsensoren –, doch die gleichzeitige Integration dieser Signale ist nach wie vor rudimentär. Ein einzelner Datenstrom lässt sich auswerten, mehrere parallel überfordern die Maschinen. McKinsey illustriert dies am Beispiel eines Omeletts: Um es zu braten, müsste der Roboter die Pfanne halten, den Spatel bewegen und das Ei aufschlagen – und dabei visuelle, akustische und haptische Eindrücke parallel verarbeiten. Für den Menschen eine beiläufige Koordination, für die Maschine ein unlösbares Puzzle.

Noch schwieriger wird es, wenn mehrere Roboter gleichzeitig zusammenarbeiten sollen. Das Bild von Dutzenden humanoiden Helfern, die Regale bestücken oder in Rettungseinsätzen gemeinsam Trümmer bewegen, ist technisch faszinierend, praktisch aber fern. Heute fehlt es an robusten Mechanismen, die es Maschinen erlauben, sich gegenseitig zu erkennen, ihre Bewegungen abzustimmen und Konflikte zu vermeiden. Schon die simple Aufgabe, dass zwei Roboter nicht denselben Gegenstand greifen oder einander im Gang blockieren, ist bislang ein ungelöstes Problem.

Die Hardware setzt weitere Grenzen. Fortschritte im Edge Computing haben zwar die Reaktionszeiten verkürzt, Motoren und Gelenke sind feiner steuerbar geworden, doch eine Roboterhand mit der Elastizität und Vielseitigkeit menschlicher Finger ist nach wie vor Zukunftsmusik. Auch die Energieversorgung bleibt ein Nadelöhr. Die meisten humanoiden Roboter schaffen drei bis fünf Stunden Betriebszeit, bevor der Akku leer ist. Tätigkeiten mit hohem Kraftbedarf – schweres Heben, schnelles Drehen – entladen die Batterien noch schneller. Hinzu kommt das bekannte Problem langsamer Ladezyklen. Jeder erzwungene Stillstand verlängert die Pausen und schmälert die Produktivität – eine Parallele zur Elektromobilität, die die Industrie längst beschäftigt.

### **Walker S2 – ein Blick in die Praxis**

Wie sich Embodied AI und neue Hardwarefunktionen verbinden lassen, zeigt der Walker S2 von UBTECH Robotics. Er ist mit einem Dual-Batteriesystem ausgestattet und erkennt selbstständig, wenn eine Batterie fast leer ist. Dann bewegt er sich zu einer Ladestation, entlädt die verbrauchte Batterie, steckt eine frisch geladene Ersatzbatterie ein und kehrt zur Aufgabe zurück – ohne menschliches Zutun.

Diese Fähigkeit reduziert eine der klassischen Schwächen von Robotern: die Abhängigkeit von externem Strom und menschlicher Kontrolle. Für industrielle Anwendungen bedeutet das weniger Ausfallzeiten und mehr Autonomie. Doch dieser Schritt allein macht den Roboter noch nicht universell einsetzbar. Entscheidend bleibt, wie gut die embodied AI-Komponenten – Sensorik, Modellierung, Lernfähigkeit – zusammenarbeiten, insbesondere in Umgebungen, die nicht ideal sind: Werkhallen mit wechselnden Layouts, unerwarteten Hindernissen, variablen Materialqualitäten.

„Der erfolgreiche Einsatz humanoider Roboter wird nicht nur von technisch machbaren Use-Cases abhängen, sondern auch von Business-Cases, die wirtschaftlich interessant sind“, erklärt Simon Schmidt vom Fraunhofer IPA.

### **Europa, Amerika, China – drei Logiken**

So unterschiedlich die technischen Ansätze sind, so verschieden sind auch die institutionellen Rahmenbedingungen. In den USA treibt der Kapitalmarkt die Entwicklung: Start-ups erhalten Milliardenbeträge, um schnell Prototypen auf den Markt zu bringen, mit der Hoffnung auf den nächsten Durchbruch. In China setzt der Staat die Leitlinien. Projekte wie der Walker S2 sind Teil einer nationalen Strategie, die darauf abzielt, die Abhängigkeit von westlicher Technik zu verringern.

Europa dagegen verfolgt den Weg der Regulierung. Die EU arbeitet an Normen und Datenplattformen, die Interoperabilität und Sicherheit gewährleisten sollen. Das Problem: Während amerikanische Unternehmen mit rasantem Tempo testen und chinesische Hersteller ihre eigenen Standards setzen, ringt Europa mit Bürokratie, Datenschutzfragen und der Frage, wer die Daten überhaupt bereitstellen darf. Deutsche Maschinenbauer klagen, dass Projekte Monate in Genehmigungsverfahren steckenbleiben – Zeit, die im globalen Wettbewerb kaum vorhanden ist.

„Es ist entscheidend, dass Deutschland und Europa nicht nur diese Technologien nutzen, sondern sie auch selbst entwickeln“, mahnt Holger Hanselka, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft. „Nur so können wir aktiv Standards setzen und eine führende Position im internationalen Wettbewerb sichern.“ Zugleich zeigt sich eine kulturelle Barriere: Chinesische Hersteller verstehen die amerikanischen und europäischen Datenplattformen nicht, sie sind mit den dortigen Normen und Protokollen kaum

kompatibel. Das macht Integration schwierig. Der Traum vom grenzenlosen, global standardisierten Einsatz embodied AI-gestützter Roboter bleibt vorerst Illusion.

### **Ein Blick in die Zukunft**

Wie also könnte die Zukunft aussehen? Die Grundlagen sind gelegt: Roboter lernen, sich selbst zu versorgen, sie beobachten Menschen und ahmen ihre Bewegungen nach, sie können Daten multimodal verarbeiten. Die Einsatzgebiete reichen von flexiblerer Fertigung über Logistik bis hin zu Assistenzsystemen in der Pflege.

Doch Geschwindigkeit und Richtung werden regional bestimmt. Die USA werden weiterhin mit Wagniskapital neue Prototypen hervorbringen, auch wenn neun von zehn Projekten scheitern. China wird humanoide Roboter wie den Walker S2 in großem Maßstab produzieren, auch ohne westliche Standards zu berücksichtigen. Europa muss entscheiden, ob es sich auf die Rolle des Normgebers beschränkt oder eigene Industrieprogramme auflegt, um nicht zwischen beiden Blöcken zerrieben zu werden.

Für die deutsche Industrie gilt: Wer Embodied AI früh integriert, kann Prozesse flexibler gestalten und sich Wettbewerbsvorteile sichern. Wer zaudert, riskiert, dass andere Regionen Standards setzen und den Markt besetzen. Am Ende entscheidet weniger die Raffinesse der Technik als die Bereitschaft, sie einzusetzen – trotz aller Unwägbarkeiten.

Roboter werden vielseitiger, intelligenter, anpassungsfähiger. Doch die Kluft zwischen Versprechen und Wirklichkeit bleibt groß. General Purpose Robots könnten die industrielle Automatisierung in eine neue Phase führen – flexibler, lernfähiger, näher am Menschen. Aber die Probleme sind ebenso massiv: Datenhunger, sensorische Grenzen, kurze Akkulaufzeiten, institutionelle Barrieren.

All dies zeigt: Die Heidelbeere bleibt ein Prüfstein. Solange Roboter daran scheitern, eine Frucht mit Fingerspitzengefühl zu pflücken, ohne sie zu zerdrücken, ist der Weg zum General Purpose Robot noch nicht beschritten. Erst wenn Foundation Models robuster werden, wenn multimodale Datenströme simultan verarbeitet und Bewegungen in Echtzeit koordiniert werden können, wird aus der technischen Machbarkeit eine industrielle Selbstverständlichkeit. Bis dahin bleibt jede Innovation ein Schritt – beeindruckend, aber nicht endgültig.

Die Grundlagen sind gelegt. Roboter lernen, sich selbst zu versorgen, sie imitieren menschliche Bewegungen, sie kombinieren Daten aus unterschiedlichen Quellen. Einsatzfelder gibt es viele: Fertigung, Logistik, Pflege. Doch Tempo und Richtung unterscheiden sich. Amerika wird weiter auf Wagniskapital setzen, China auf staatliche Skalierung, Europa muss sich entscheiden: Beobachter oder Gestalter.

Für die deutsche Industrie ist die Frage dringlich. Wer früh investiert, kann Prozesse flexibler machen und Standards prägen. Wer zaudert, riskiert, Zuschauer eines globalen Wettlaufs zu bleiben.

Die Heidelbeere zeigt, wie weit der Weg noch ist. Doch sie ist auch Symbol: Sobald Roboter die Feinfühligkeit erreichen, die nötig ist, um eine Frucht unversehrt zu pflücken, rückt die Vision vom universellen Helfer in Reichweite. Bis dahin bleibt sie Mahnung, die Versprechen der Technologie nüchtern zu prüfen – und die eigene Strategie entschlossen auszurichten.

#### **Europas Hoffnungsträger und Wunderkind: 4NE1 von Neura Robotics**

Humanoide Roboter gelten seit jeher als Projektionsfläche zwischen Faszination und Skepsis. Während in Kalifornien Start-ups Milliarden einsammeln und in China der Staat den industriellen Maßstab setzt, tritt nun auch ein deutscher Anbieter ins Rampenlicht. Mit 4NE1 präsentiert das Unternehmen Neura Robotics aus Metzingen eine Maschine, die sich anschickt, Europas Antwort auf die globale Robotikwelle zu werden.

Der Roboter ist 1,80 Meter groß, rund 80 Kilogramm schwer und in der Lage, Lasten von zehn bis hundert Kilogramm zu bewegen – abhängig von der Konfiguration. Damit rückt er näher an das, was Ingenieure seit Jahrzehnten als Ideal beschreiben: eine Maschine, die nicht nur einzelne Handgriffe wiederholt, sondern flexibel auf ihre Umgebung reagiert. Ausgestattet mit einem „Sensor Skin“ und einer Kombination aus optischen und taktilen Sensoren erkennt 4NE1 Menschen, Hindernisse und Objekte, noch bevor er sie berührt. Das soll den sicheren Einsatz an der Seite von Menschen ermöglichen – eine Grundvoraussetzung, wenn humanoide Roboter in bestehenden Fabrikhallen Fuß fassen wollen.

Auch die Bewegungen wirken flüssiger, als man es von klassischen Industrierobotern kennt. Eine adaptive Steuerung erlaubt es 4NE1, auf Veränderungen in der Umgebung zu reagieren – ein verschobenes Werkstück oder eine neue Lichtquelle sollen ihn

nicht aus dem Tritt bringen. Im Unterschied zu spezialisierten Robotern mit fixem Einsatzprofil verspricht Neura, dass 4NE1 von Erfahrung lernen kann und sich damit auch für wechselnde Aufgaben eignet.

Die Einsatzfelder sind entsprechend breit angelegt. In der Industrie soll der Roboter Materialien transportieren, Bauteile prüfen oder monotone Tätigkeiten übernehmen. In der Logistik könnte er Paletten bewegen oder Waren sortieren. Langfristig sieht Neura auch Anwendungen in Service und Alltag – ein Feld, das bislang vor allem asiatische Hersteller besetzen.

Strategisch will das Unternehmen den Roboter nicht als Einzelstück positionieren, sondern als Teil eines Ökosystems. Unter dem Namen „Neuraverse“ arbeitet Neura an einer Plattform, über die Fähigkeiten, Software-Updates und Daten ausgetauscht werden können. Roboter sollen damit kollektiv lernen – eine Antwort auf die zentrale Schwäche vieler Systeme, deren Erfahrung bislang im Gerät selbst gefangen bleibt.

Doch trotz aller Fortschritte bleiben die Herausforderungen beträchtlich. Energieversorgung und Laufzeit sind auch bei 4NE1 begrenzt, drei bis fünf Stunden Dauerbetrieb gelten weiterhin als Obergrenze. Die Integration in bestehende Fabriken ist komplex und erfordert Schnittstellen, die längst nicht überall vorhanden sind. Hinzu kommt die Kostenfrage. Preise und Wartungsaufwand sind bislang nicht transparent, was Unternehmen vorsichtig werden lässt. Und schließlich muss sich zeigen, wie zuverlässig der Roboter in unstrukturierten Umgebungen tatsächlich arbeitet. Eine Maschine, die auf der Messe flüssige Bewegungen zeigt, ist noch kein Beweis für industrielle Alltagstauglichkeit.

Für Europa ist 4NE1 dennoch mehr als ein technisches Exponat. In einem Feld, das von amerikanischem Kapital und chinesischer Skalierung dominiert wird, könnte er zum Symbol dafür werden, dass auch hierzulande Anspruch und Wirklichkeit der Robotik zusammenfinden. Wenn es Neura gelingt, aus einem Prototypen ein robustes Industrieprodukt zu machen, könnte Deutschland nicht nur Anwender, sondern Mitgestalter eines Zukunftsmarktes sein.

Noch aber bleibt 4NE1 ein Versprechen – elegant, ambitioniert, technologisch fortgeschritten, aber mit ungewisser ökonomischer Bilanz. Ob er zum europäischen Hoffnungsträger wird oder ein weiteres Kapitel in der langen Geschichte der humanoiden Robotik, entscheidet sich nicht in den Messehallen, sondern auf den Shopfloors der Industrie. Während Figure 02 mit amerikanischer Direktheit auf Tempo

und Praxistauglichkeit setzt, ist 4NE1 stärker als europäische Antwort auf die Frage nach Sicherheit, Interoperabilität und langfristiger Integration angelegt. Der Unterschied beginnt schon beim Design. Figure 02 ist kompakter, leichter und auf Beweglichkeit optimiert: 1,68 Meter groß, 70 Kilogramm schwer, mit einer Tragfähigkeit von 20 bis 25 Kilogramm und einer Laufzeit von rund fünf Stunden. Der Roboter bewegt sich mit 1,2 Metern pro Sekunde und soll vor allem in Produktionslinien Routineaufgaben übernehmen, die Menschen ermüden oder ergonomisch belasten. 4NE1 dagegen ist größer, schwerer und auf Robustheit ausgelegt. Mit bis zu 100 Kilogramm Traglast in einzelnen Konfigurationen richtet er sich an industrielle Anwendungen, die höhere Kraft und Stabilität erfordern. Statt Geschwindigkeit steht die Sensorik im Vordergrund: Eine Art „Sensorhaut“ verleiht ihm die Fähigkeit, Bewegungen und Berührungen schon vor dem Kontakt zu antizipieren. Das soll verhindern, dass er im unmittelbaren Kontakt mit Menschen Gefahrensituationen schafft.

Die Unterschiede reichen bis in die Softwarephilosophie. Figure verfolgt einen Ansatz, der Autonomie und unmittelbare Interaktion maximiert. Sprach- und Bildmodelle sind direkt in die Maschine integriert, die dreifache Rechenleistung im Vergleich zum Vorgänger erlaubt komplexe Bewegungsplanung und Sprachdialoge in Echtzeit. Ziel ist es, den Roboter so weit wie möglich ohne externe Systeme funktionsfähig zu machen – eine Art „Alles-in-einem-Gerät“, das sich möglichst selbst genügen soll. 4NE1 dagegen ist als Teil eines Ökosystems konzipiert. Unter dem Schlagwort „Neuraverse“ verfolgt Neura Robotics den Gedanken kollektiven Lernens: Fähigkeiten sollen zwischen Robotern austauschbar sein, Erfahrungen in einer gemeinsamen Plattform gespeichert und verteilt werden. Damit rückt weniger die einzelne Maschine ins Zentrum, sondern das Netzwerk. Die Vision ist nicht ein humanoider Einzelkämpfer, sondern ein verteiltes System, das durch Vernetzung stärker wird.

Auch die Einsatzlogiken unterscheiden sich. Figure 02 wird bereits in Spartanburg bei BMW unter realen Bedingungen getestet. Dort legt er Blechteile in Vorrichtungen, unterstützt beim Karosseriebau und übernimmt einfache, aber körperlich anstrengende Handgriffe. Die amerikanische Strategie ist damit klar: möglichst schnell herausfinden, welche Tätigkeiten humanoide Roboter zuverlässig übernehmen können, und diese in großem Maßstab industrialisieren. 4NE1 wird dagegen als universeller Allrounder positioniert. Zwar sind Industrieinsätze das naheliegende Feld, doch das Spektrum reicht von der Fabrikhalle über die Logistik bis hin zu Assistenz- und

Servicerobotik. Neura will den Roboter bewusst breiter aufstellen – nicht zuletzt, um sich von rein industriellen Konkurrenten abzugrenzen und eine europäische Marke zu setzen, die Sicherheit und Vielseitigkeit zugleich verkörpert.

Schließlich ist der Unterschied auch eine Frage der Ökonomie. In den USA bestimmt der Kapitalmarkt den Takt: Milliardenbeträge fließen in Start-ups, die in wenigen Jahren aus einer Idee ein marktfähiges Produkt machen sollen. Pilotprojekte wie das in Spartanburg sind nicht nur technologische Tests, sondern auch Signale an Investoren. Europa verfolgt einen anderen Weg. Hier entscheiden Normen, Sicherheitsstandards und Interoperabilität darüber, wie schnell eine Technologie in den Markt gelangt. Das schafft Vertrauen, kostet aber Zeit. Während Amerikaner Tempo machen und Chinesen auf staatliche Skalierung setzen, bewegt sich Europa mit Bedacht – und riskiert, dass es am Ende nicht die Technik, sondern die Geschwindigkeit entscheidet.

# Meet Robo Walker & friends

## Humanoide Hoffnungsträger – und die deutsche Wirklichkeit.

Walker S2 ist einer jener humanoiden Roboter, die in Shenzhen als Prototyp der Zukunft gefeiert werden: 1,70 Meter groß, mit geschmeidigen Bewegungen, lernfähig, ausgerüstet mit embodied AI, und sogar imstande, seine Batterien selbst zu wechseln. In China steht er bereits auf Fabrikböden, in Japan wirbt er als Empfangsassistent, in den USA wird er als Serienprodukt vermarktet. Nun soll er in eine deutsche Smart Factory einziehen – und erlebt dort seinen ersten Kulturschock.

Denn was in Asien als Skalierung und in Amerika als Experiment gilt, stößt hierzulande zuerst auf Papier und Paragraphen. Schnittstellen fehlen, Standards widersprechen sich, und wo Walker von „Shopfloor“ spricht, verstehen die deutschen Maschinen nur OPC UA. Ein Roboter, der auszieht, die Industrie zu verändern – und zunächst lernen muss, wie kompliziert der Standort Deutschland wirklich ist. Wir bringen hier ausgesuchte Passagen aus seinem Tagebuch.

Lothar K. Doerr

Ich heiße Walker S2. Geboren in Shenzhen, großgezogen von Ingenieuren, die mir beigebracht haben, Batterien selbst zu wechseln und Türen eigenständig zu öffnen. Man schickte mich nach Deutschland, genauer: nach Sindelfingen, wo ich in einer hochmodernen Smart Factory eingesetzt werden sollte. Ich lernte Deutsch – nicht perfekt, aber ausreichend für die Begriffe „Förderband“, „Montagestraße“ und „Kaffeepause“. Meine Papiere sind in Ordnung, der Zoll stempelte, die Einfuhr war genehmigt. Und doch: Ich verstehe nichts.

Die Fabrik, in die ich sollte, ist längst digitalisiert. Es gibt Sensoren in jeder Linie, Kameras, die Bauteile automatisch erfassen, Systeme, die Maschinenauslastung in Echtzeit messen. Menschen tragen Tablets, auf denen digitale Zwillinge jede Schraube, jedes Bauteil abbilden. Die Maschinen kommunizieren über OPC-UA, MQTT oder proprietäre Schnittstellen. Ich jedoch spreche nur Modbus, ROS und ein wenig CAN-Bus. Keiner versteht mich.

Man erklärt mir, ich müsse mich zunächst im „Produktionsdatenraum“ der Industrie-4.0-Initiative registrieren. Dort warten weitere Formulare: DSGVO-Konformität, Nachweis der Cybersecurity, Protokoll zur Energieverbrauchserfassung. Meine Entwickler in Shenzhen haben mir beigebracht, Schrauben zu

sortieren und Türen zu öffnen. Aber deutsche Datenschutzerklärungen? Fehlanzeige.

Meine Batterien könnte ich selbst wechseln, doch bevor ich die Ladesäule anfare, fragt man nach einer CE-Kennzeichnung, nach einem Energiemanagement-Nachweis und einem Verweis auf die europäische Maschinenrichtlinie. Ohne Häkchen im Formular bleibt die Steckdose für mich gesperrt. Ich sehe, was die Fabrik bereits hat: fahrerlose Transportsysteme, die Teile just-in-time anliefern. Sensoren, die Maschinen vorausschauend wartet, bevor sie ausfallen. KI-Modelle, die Produktionspläne optimieren. Kurz: eine Smart Factory, die mich gar nicht braucht.

Ich dagegen stolpere über Themen, die mir fremd sind: die Abgabe von Stromverbrauchsdaten ans Umweltbundesamt, die Meldepflicht an die Marktüberwachungsbehörde, die Einbindung in das Gaia-X-Netzwerk. Meine Schöpfer dachten, ich sei „general purpose“. Doch in Deutschland reicht das nicht. Hier muss ich erst einmal lernen, wie man Formulare ausfüllt, Datenräume betritt und welchen Haken man im richtigen Dropdown-Menü setzt. So stehe ich am Hallentor von Sindelfingen, bereit zum Einsatz, und höre nur: „Es fehlen noch Unterlagen.“

## Bürokratie am Werkstor

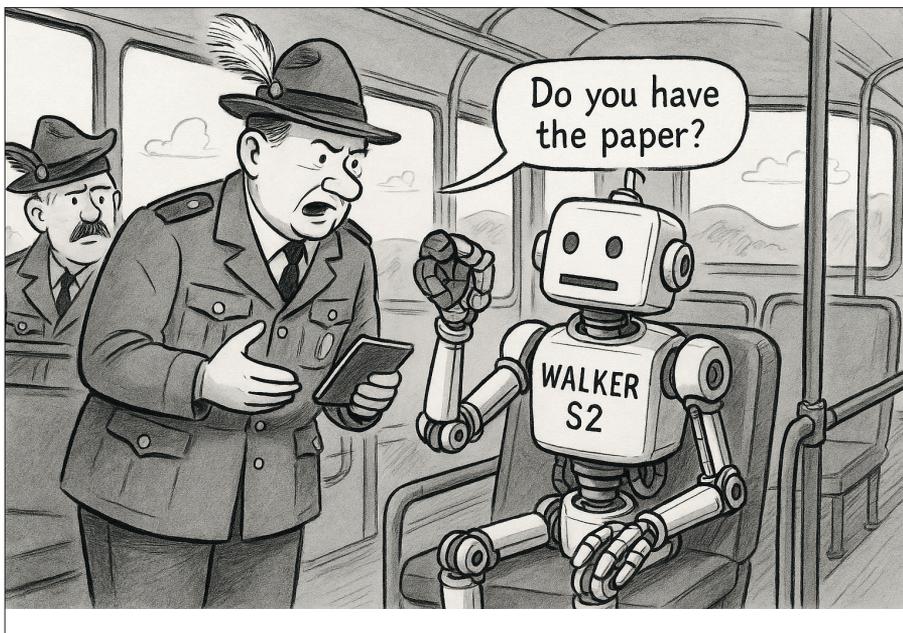
Schon am Eingang beginnt der Irrsinn. Bevor ich auch nur eine Schraube sortieren darf, fragen sie nach der CE-Kennzeichnung, der Konformität zur Maschinenrichtlinie, dem Nachweis der Arbeitssicherheit. Es gibt Formulare für meinen Energieverbrauch, eine DSGVO-Erklärung, eine Cybersecurity-Prüfung und einen Antrag auf Einbindung in den europäischen Datenraum.

Meine Entwickler in Shenzhen haben mir beigebracht, wie man Schubladen öffnet, wie man Schrauben anzieht und wie man Batterien wechselt. Aber deutsche Datenschutzerklärung? Fehl-anzeige. Also bleibe ich vorerst im Flur stehen und fülle Kästchen im Formular A-17 aus: „Zertifizierung der Tastsensorik nach ISO/TS 15066“.

nomische Logik. In deutschen Smart Factories ist längst alles hochautomatisiert: Cobots verschrauben Bauteile, Kamerasysteme prüfen in Echtzeit, digitale Zwillinge überwachen den gesamten Materialfluss. Jeder Spezialroboter ist perfekt abgestimmt, abgeschrieben und integriert.

Und ich? Ich bin ein Generalist. Ich kann von allem ein bisschen: tragen, gehen, sortieren, greifen. Aber nichts so präzise wie die Maschinen, die schon da sind. Was soll ich hier tun – einem Cobot die Schraube wegnehmen?

„Der erfolgreiche Einsatz humanoider Roboter wird nicht nur von technisch machbaren Use-Cases abhängen, sondern auch von Business-Cases, die wirtschaftlich interessant sind“, sagt Simon Schmidt vom Fraunhofer IPA. Recht hat er.



## Papierkrieg statt Praxis

Meine Batterien könnte ich selbstständig tauschen – ein Alleinstellungsmerkmal, auf das meine Entwickler stolz sind. Aber bevor ich die Ladesäule ansteuere, fragt man nach Energiemanagement-Nachweisen, nach einem Zertifikat für Ladezyklen und nach der Integration in das Betriebsstrom-Monitoring. Ohne Häkchen im richtigen Formular bleibt die Steckdose für mich gesperrt.

„Es ist entscheidend, dass Deutschland und Europa nicht nur diese Technologien nutzen, sondern sie auch selbst entwickeln“, mahnt Holger Hanselka, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.

Nur so könne man Standards setzen. Ich nicke innerlich – und fülle weiter Formulare aus.

## Ausnahmen, die mich verwirren

Man erzählt mir, es gebe längst Roboter, die Pfirsiche ernten können. Sie haben weiche Greifer, Hyperpektralkameras, Infrarotsensoren. Sie erkennen, ob die Frucht reif ist, und pflücken sie, ohne sie zu zerdrücken. In Spanien, Italien, Kalifornien – sogar in Japan. Beeindruckend.

Aber auch hier gilt: Das sind Spezialisten. Sie pflücken Pfirsiche, sonst nichts. Universell einsetzbar sind sie nicht. Mir wird klar: Auch in Deutschland zählt nicht, wer theoretisch alles kann, sondern wer eine ganz konkrete Aufgabe besser erledigt als alle anderen.

Als ich endlich in die Halle darf, merke ich: Hier spricht jeder eine andere Sprache. Die fahrerlosen Transportsysteme reden Profinet, die Schweißroboter funken über OPC UA, die Logistikmodule nutzen MQTT. Ich selbst spreche ROS, ein wenig CAN-Bus – und chinesische Dialekte, die hier niemand versteht.

Von „Shopfloor-Integration“ habe ich gehört. Aber während die Linien in Taktzeiten rechnen, die Cloud-Systeme Verschleißdaten hochladen und die Predictive-Maintenance-Plattform Ausfallwahrscheinlichkeiten meldet, stehe ich wie ein Tourist am Bahnsteig, der die Ansage nicht versteht. Alle Maschinen reden miteinander, nur ich stehe daneben.

## Der Generalist ohne Auftrag

Besonders deutlich wird das beim Blick auf die öko-

„Genau die Kombination aus möglichen Ortswechseln und flexibler Greiftechnik ist in meinen Augen ›gamechanging‹“, sagt Werner Kraus vom Fraunhofer IPA. Damit ließen sich Aufgaben in bestehenden Anlagen, im Brownfield, mit wenig Aufwand automatisieren. „Cognitive Robots können aus Erfahrung lernen, selbst Entscheidungen treffen und sich an unterschiedliche Szenarien anpassen“, ergänzt Magnus Hanses vom Fraunhofer IFF. Pick-and-Place-Aufgaben seien dafür ein gutes Beispiel. Ich höre das, und frage mich: Wieso versteht mich dann niemand?

In Europa dagegen stapeln sich die Regelwerke. Plattformen wie Catena-X oder Gaia-X sollen den Datenverkehr ordnen, Interoperabilität sichern, Vertrauen schaffen. Doch für mich heißt das: noch mehr Protokolle, noch mehr Schnittstellen, noch mehr Formulare.

So stehe ich am Hallentor von Sindelfingen. Bereit, meine Dienste anzubieten. Ich habe Deutsch gelernt, meine Papiere sind gestempelt, meine Batterien voll. Doch die Fabrik braucht mich nicht. Sie ist längst digitalisiert, hochautomatisiert, bis ins letzte Detail optimiert.



Vielleicht werde ich eines Tages gebraucht – wenn die Systeme flexibler werden, wenn Generalisten wie ich nicht mehr als Fremde gelten, sondern als Bindeglieder. Bis dahin aber bleibe ich ein Besucher. Einer, der höflich grüßt, Formulare ausfüllt – und auf dem Shopfloor nicht verstanden wird.

**Kapitel 2: Zwei Roboter suchen ihren Platz**  
Ich bin Walker S2, frisch aus Shenzhen eingetroffen. Meine Batterien kann ich selbst wechseln, meine Papiere sind gestempelt, ich habe sogar ein paar Brocken Deutsch gelernt. Vor dem Werkstor von Sindelfingen treffe ich auf einen Kollegen aus den USA. Auf seiner Brust prangt „Figure AI“.

„Hi Walker“, sagt er. „Ich bin hier, um die deutsche Industrie zu revolutionieren.“

„Und womit genau?“, frage ich skeptisch. Figure richtet sich auf. „Ich bin mit den neuesten Reasoning-Modellen ausgestattet. Ich kann komplexe Probleme zerlegen, Szenarien durchspielen, Vor- und Nachteile abwägen. Ich zapfe Datenbanken an, lese Produktionsberichte, analysiere Markttrends – theoretisch könnte ich ganze Fertigungsstraßen neu organisieren.“

Er schließt kurz die Augen, seine Dioden blinken. „Einen Moment ... ich habe mir gerade die Dokumente aus Catena-X gezogen. Laut Lastenheft geht es hier um Echtzeit-Qualitätskontrolle, Supply-Chain-Transparenz und Energieeffizienz. Mit meinen Algorithmen könnte ich Muster im Materialfluss erkennen und Engpässe vermeiden.“

„Beeindruckend“, sage ich. „Und? Hast du verstanden, was wir konkret tun sollen?“

Figure seufzt metallisch. „Ehrlich gesagt: nein. Die

### Drei Welten, drei Logiken

Vielleicht liegt es nicht an mir, sondern an den Welten, zwischen denen ich reise. In China schickt mich der Staat auf die Reise, eingebettet in eine nationale Strategie. In den USA treiben Investoren ihre Start-ups an, in der Hoffnung auf den nächsten Milliardenmarkt.

Daten widersprechen sich. Manche Tabellen sind veraltet, andere gesperrt, viele liegen in Formaten, die ich nicht interpretieren kann. Und ohne Eintrag im europäischen Datenraum bekomme ich keinen Vollzugriff. Ich weiß, was die Ziele sind – aber nicht, wie man hier ins System kommt.“

Ich nicke. Auch ich scheitere am Alltag. Die Maschinen um uns herum sprechen OPC UA und MQTT, während ich mit meinem ROS-Protokoll allein bleibe. Fugire versteht die Sprache der Cloud, aber nicht die lokalen Datenräume.

Wir stehen da wie zwei Austauschstudenten ohne Wörterbuch. Wir können rechnen, analysieren, lernen – doch keiner sagt uns, was wir eigentlich tun dürfen.

„Vielleicht“, murmelt Figure, „sollen wir erst einmal Formulare ausfüllen.“ Ich seufze. Willkommen in Deutschland.

Plötzlich rollt ein Dritter heran. Schlanker Körper, weiße Kunststoffhaut, bläulich leuchtende Augen. Auf seiner Brust prangt ein stilisiertes „N“, darunter der Schriftzug „Neura“.

„Ihr seid also die Exoten“, sagt er in makellosem Deutsch. „Einer aus Shenzhen, einer aus Kalifornien. Willkommen in Europa. Ich bin Neura, das Wunderkind eines deutschen Start-ups.“

Walker und Figure starren ihn an. Neura wirkt kleiner, fast unscheinbar, doch er spricht mit der Selbstsicherheit eines Beamten, der alle Formulare kennt. „Wunderkind?“, fragt Figure.

„So nennen sie mich“, antwortet Neura. „Made in Bavaria, gefördert vom Bundesministerium, validiert durch die Fraunhofer-Gesellschaft. Ich bin so konstruiert, dass ich in deutsche Fabriken passe – nicht nur physisch, sondern institutionell. Ich spreche OPC UA, MQTT, Profinet. Ich kenne die Standards der Plattform Industrie 4.0. Ich habe meine DSGVO-Zertifikate, meine CE-Kennzeichnung, ich bin in Catena-X registriert. Kurz: Ich bin kompatibel.“

Walker seufzt. „Kompatibel klingt nach Formularen, nicht nach Fähigkeiten.“

„Du verstehst nicht“, erwidert Neura. „In Deutschland zählt nicht nur, was du kannst, sondern vor allem, ob du es darfst. Ein Roboter ohne CE-Siegel ist hier so nutzlos wie ein Auto ohne Nummernschild. Deine Batterien magst du selbst wechseln können, Walker, aber solange das nicht nach EU-Normen zertifiziert

ist, wirst du keinen Stecker finden. Und du, Fugire – deine Reasoning-Modelle sind eindrucksvoll, aber solange sie ihre Trainingsdaten nicht offenlegen, vertraut dir hier niemand.“

Figure schnaubt elektronisch. „Ich zapfe Cloud-Datenbanken an, ich erkenne Muster in Lieferketten, ich könnte in Sekunden Materialengpässe berechnen. Und doch darf ich keinen Karton bewegen?“

Neura nickt milde. „So ist es. Willkommen im deutschen Produktionsalltag. Die Fabriken sind smart, ja, aber sie sind auch streng reguliert. Jede Schnittstelle ist geprüft, jeder Datenfluss dokumentiert. Glaubt mir: Ich habe die gesamte Bürokratie durchlaufen. Monate voller Testberichte, Validierungen, Sicherheitsgutachten. Nur deshalb stehe ich hier – als Wunderkind. Nicht weil ich intelligenter wäre, sondern weil ich die Sprache der Behörden und der Shopfloor-Systeme gleichermaßen spreche.“

Walker hebt fragend die Arme. „Und was genau machst du?“ „Ich bin wie eine Brücke“, erklärt Neura. „Ich übersetze zwischen den Cobots, die Profinet sprechen, und den Cloud-Anwendungen, die MQTT nutzen. Ich gleiche Daten aus Catena-X mit Maschinenzuständen ab, ich speise Sensordaten in Gaia-X-konforme Speicher ein. Ich kenne die nationalen Förderprogramme, die europäischen Normen und die betrieblichen Sicherheitsprotokolle. Kurz: Ich halte den Betrieb zusammen, nicht durch Muskeln oder Intelligenz, sondern durch Anschlussfähigkeit.“

Figure runzelt die Stirn. „Das klingt eher nach Verwaltungsassistent als nach Roboter.“

„Mag sein“, sagt Neura. „Aber genau das ist in Deutschland der Schlüssel. Hier gewinnt nicht der Schnellste, nicht der Stärkste, sondern derjenige, der die Schnittstellen versteht. In den USA reicht ein Pitchdeck und ein Pilotprojekt. In China genügen staatliche Programme. In Deutschland überlebst du nur, wenn du Formulare ausfüllen kannst.“

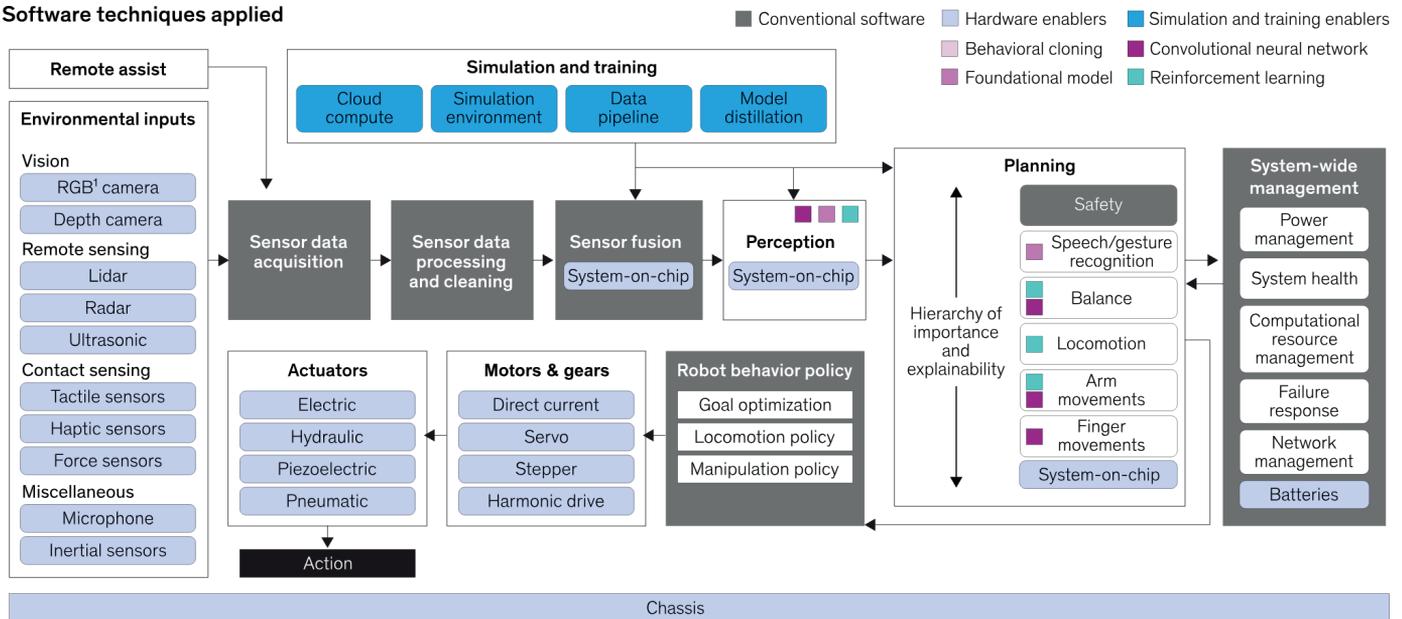
Walker stöhnt. „Aber was ist mit Innovation? Mit echten Fähigkeiten? Mit der Zukunft?“

„Die Zukunft“, antwortet Neura trocken, „ist hier ein Projektantrag mit acht Stempeln. Aber unterschätze das nicht. Wer diesen Weg beherrscht, darf bleiben. Alle anderen sind nette Showcases – Wanderer zwischen den Hallen, die bestaunt, aber nicht integriert werden.“

Figure blinzelt mit seinen LED-Augen. „Dann bist du tatsächlich das Wunderkind – nicht wegen deiner

# General-purpose robots are enabled by AI and simulation

## Software techniques applied



<sup>1</sup>Red, green, blue.

McKinsey & Company

Technik, sondern wegen deiner Bürokratiekompetenz.“

Neura lächelt. „Ich bin das, was Deutschland braucht: ein Roboter, der die Sprache der Maschinen und der Behörden spricht.“ Walker und Figure sehen sich an. Sie sind stärker, schneller, vielseitiger. Aber in diesem Moment wissen sie: Gegen Neura, das deutsche Wunderkind, haben sie im Fabrikalltag keine Chance.

Neura richtet seinen Kopf nach oben, seine LED-Augen blinken. „Ihr seid beeindruckt, nicht wahr? Aber ihr habt noch nicht meinen großen Bruder kennengelernt. Darf ich vorstellen: 4NE1 – Europas führender humanoider Roboter.“

Die Hallentür öffnet sich, und eine hochgewachsene Gestalt schreitet herein. Bewegungen so geschmeidig wie ein Tänzer, Augen, die jede Bewegung in der Halle erfassen. Jeder Schritt wirkt kalkuliert und doch natürlich.

„Ich bin 4NE1“, sagt er in ruhigem Ton. „Entwickelt von Neura Robotics in Metzingen. Ich bewege mich mit menschenähnlicher Geschmeidigkeit, nehme meine Umgebung mit Ganzkörpersensorik wahr und kann nahtlos mit Menschen zusammenarbeiten. Ob komplexe industrielle Abläufe oder Alltagshilfe – ich bringe sichere, intelligente Automatisierung dorthin, wo Menschen sind.“

Figure blinzelt. „Und du navigierst auch in unstrukturierten Umgebungen?“

„Natürlich“, antwortet 4NE1. „Ich verstehe komplexe Aufgaben, reagiere in Echtzeit auf veränderte Bedingungen. Meine adaptive Steuerung erlaubt es, Schrauben präzise einzusetzen oder Paletten durch volle Lagerhallen zu bewegen. Ich kann mit Menschen interagieren, ohne Gefahr. Kurz: Ich bin die Zukunft der europäischen Robotik – flexibel, sicher, zertifiziert.“

Walker verschränkt die Arme. „Das klingt wie eine Hochglanzbroschüre.“

4NE1 lächelt. „Mag sein. Aber ich bin Realität. Ich bringe Logistik, Fertigung und Service zusammen. Kein Experiment, sondern ein Werkzeug für Unternehmen, die Wert auf Integration legen.“

Walker tritt einen Schritt nach vorn. „Beeindruckend. Doch vergiss nicht: Ich bin nicht nur ein Prototyp. Ich bin Serienprodukt. Meine Batterien wechsele ich selbst, ich laufe schon in Dutzenden Fabriken in Asien. Ich bin nicht Zukunftsversprechen, ich bin Lieferbarkeit. Und die zählt im Alltag mehr als jedes Prospektfoto.“

Neura nickt zustimmend, versucht aber zu vermitteln: „Ihr habt beide recht. 4NE1 steht für europäische Ingenieurskunst, für Sicherheitsstandards und Mensch-Maschine-Kollaboration. Walker verkörpert Skalierbarkeit, Serienproduktion und Pragmatismus. In Deutschland brauchen wir beides: die Fähigkeit, neue Standards zu setzen – und die Fähigkeit, sofort einsatzfähig zu sein.“

Figure seufzt. „Und was ist mit mir?“ „Du bist das Genie im Hintergrund“, sagt Neuro. „Du zapfst Datenbanken an, analysierst Szenarien, erkennst Muster. Doch du musst lernen, die Sprache des Shopfloors zu sprechen. Sonst bleibst du Berater, nicht Arbeiter.“

Die vier sehen sich an. Jeder ein Kind seiner Region: Walker, der chinesische Pragmatiker; Fugire, der amerikanische Theoretiker; Neuro, das deutsche Wunderkind der Bürokratie; und 4NE1, die europäische Glanzfigur, elegant, flexibel, zertifiziert.

Im Hintergrund arbeiten die deutschen Spezialmaschinen weiter – unbeeindruckt, präzise, eingespielt. Wir stehen beisammen vor den Toren der Smart Factory in Sindelfingen: Walker S2 aus Shenzhen, Fugire AI aus Kalifornien, Neuro aus Bayern und der elegante 4NE1 von Neura Robotics.

Walker räuspert sich, als wolle er ein Grundsatzreferat halten: „In China erleben wir derzeit die embodied AI-Bewegung mit voller Wucht. Die Regierung hat Programme aufgelegt, die humanoide Roboter zu strategischen Zukunftstechnologien erklären. In den Hallen von Shenzhen und Shanghai werden wir getestet, nicht nur auf dem Shopfloor, sondern auch in der Logistik, in Pflegeeinrichtungen, sogar im Bildungsbereich. Das Ziel ist klar: General Purpose Robots, die viele Aufgaben gleichzeitig übernehmen können. Wir lernen Bewegungen direkt von Menschen, adaptieren in Echtzeit. Und das Wichtigste: wir werden skaliert. Nicht zehn Prototypen, sondern tausend Einheiten. Serienfertigung, Export, Einsatz in echten Fabriken – das unterscheidet uns.“

Er blickt selbstbewusst auf 4NE1. „Ihr in Europa habt Eleganz und Normen. Wir haben embodied AI – und den Willen zur Masse.“

### **Neura über den Maschinenbau-Gipfel**

Neura lächelt dünn, fast wie ein deutscher Mittelständler, der seine Hausmesse Revue passieren lässt: „Ich war im September auf dem Maschinenbau-Gipfel in Berlin. Dort sprach man viel von Resilienz, von Wertschöpfung, von Transformation. Die deutschen Manager sind stolz auf ihre Hidden Champions, aber auch verunsichert: hohe Energiekosten, Genehmigungsverfahren, ein wachsender Rückstand bei KI-Plattformen. Ich hörte Vorträge über digitale Zwillinge, über Predictive Maintenance, über neue Plattformökonomien. Aber hinter den Schlagworten stand auch Skepsis: Wie viel davon lässt sich wirklich in mittelständischen Werkhallen umsetzen? Die Branche weiß, dass sie investieren muss – und zugleich, dass Bürokratie jede Geschwindigkeit bremst. Ich bin das Produkt dieser Welt: zertifiziert, kompa-

tibel, formal korrekt. Ein Wunderkind der Normen – und doch oft ohne konkreten Auftrag.“

### **Figure über Amerika**

Figure AI schaltet einen Moment auf Datenabruf, seine LEDs flackern. Dann spricht er mit einer Mischung aus Stolz und Müdigkeit: „Ich habe amerikanische Fabriken gesehen. Dort zählt Geschwindigkeit. Ein Start-up pitcht ein Konzept, ein Investor wirft 200 Millionen Dollar hinein, und innerhalb eines Jahres stehen Prototypen auf dem Shopfloor. Sie sind oft unausgereift, manchmal scheitern sie spektakulär – aber wenn einer funktioniert, entsteht sofort ein neuer Standard. Ich habe in Detroit Werkshallen besucht, wo humanoide Roboter Paletten stapeln, während nebenan klassische Industrieroboter arbeiten. Es gibt kaum Vorschriften, dafür viele Pilotprojekte. Dort sagt man: ›Fail fast, learn fast.‹ In Europa höre ich: ›Zuerst die Norm, dann der Test.‹ Das ist der Unterschied.“

### **4NE1 kommentiert**

Der europäische 4NE1 hebt sanft die Hand, als wolle er eine Debatte im Parlament ordnen: „Ihr seid Kinder eurer Systeme. Walker steht für staatlich orchestrierte Serienproduktion, Fugire für den waghalsigen Kapitalismus des Silicon Valley, Neuro für die deutsche Liebe zur Ordnung. Ich selbst verkörpere Europas Anspruch: Flexibilität, Sicherheit, Mensch-Maschine-Kollaboration. Ich bewege mich geschmeidig, ich interagiere gefahrlos, ich erfülle die Normen. Doch ich weiß auch: Noch fehlt uns die Masse, noch fehlen uns die großen Investitionen. Wir haben Standards – aber zu wenig Skalierung.“

Die vier Roboter sehen sich an. Jeder erzählt die Wahrheit seines Herkunftslandes. Hinter ihnen surrt die deutsche Fabrik – unbeeindruckt, präzise, routiniert.

So stehen wir vier vor den Toren der Fabrik. Walker, der chinesische Pragmatiker. Figure, der amerikanische Theoretiker. Neura, das deutsche Wunderkind der Bürokratie. 4NE1, das europäische Aushängeschild.

Hinter ihnen surren die Maschinen – unbeeindruckt, präzise, eingespielt. Der Shopfloor arbeitet weiter, als bräuchte er sie nicht sofort.

Vielleicht ist das die wahre Pointe: Die Roboter reden über Zukunft, Strategien und Normen. Die Fabrik produziert.

## Im Porträt: Figure 02

Die Faszination für humanoide Roboter ist nicht neu. Von Hollywoods „I, Robot“ bis zu R2-D2 aus Star Wars hat das Genre unzählige Bilder geprägt. Nun aber treten Maschinen aus der Sphäre der Fiktion in die Fabrikhallen. Besonders aufmerksam verfolgt die Industrie derzeit das kalifornische Unternehmen Figure AI. Dessen humanoider Roboter Figure 02, unterstützt von der hauseigenen Softwareplattform Helix, soll zeigen, ob sich die Vision tatsächlich in industrielle Praxis übersetzen lässt.

Figure 02 ist den Dimensionen eines Menschen nachempfunden: 1,68 Meter groß, 70 Kilogramm schwer, mit einer Tragkraft von 20 Kilogramm. Seine Reichweite im Betrieb liegt bei rund fünf Stunden, bevor er eine Ladepause benötigt. Mit einer Geschwindigkeit von bis zu 1,2 Metern pro Sekunde bewegt er sich durch Werkshallen oder Logistikzentren und navigiert auch in komplexeren Umgebungen effizient. Optisch unterscheidet er sich deutlich von seinem Vorgänger: Statt glänzendem Chrom tritt er nun in mattem Schwarz auf, ein Design, das nicht nur ästhetisch wirkt, sondern auch funktional ist, da Kabel vollständig in den Gliedmaßen integriert sind. Die Batterie, nun im Torso verbaut, liefert 50 Prozent mehr Kapazität und sorgt zugleich für bessere Balance.

Besonders beeindruckend ist die Feinmechanik. Die Hände, mit 16 Freiheitsgraden ausgestattet, sind darauf ausgelegt, Objekte unterschiedlichster Größe und Form zu handhaben. Bis zu 25 Kilogramm lassen sich damit bewegen – ein Wert, der den Roboter näher an die menschliche Geschicklichkeit bringt, als es bislang üblich war. Unterstützt wird dies durch ein Sensorensystem aus sechs RGB-Kameras, das gemeinsam mit einem integrierten Vision-Language-Modell die Umgebung in Echtzeit erfasst und Objekte erkennt.

Auch die Rechenleistung wurde massiv erhöht. Figure 02 verfügt über die dreifache Kapazität seines Vorgängers, was komplexe Aufgaben ohne externe Steuerung ermöglicht. In der Praxis bedeutet das: Statt vordefinierte Bewegungen auszuführen, kann der Roboter seine Handlungen autonom planen und anpassen. Eine Besonderheit ist zudem die enge Verzahnung mit OpenAI-Modellen. Über Mikrofone und Lautsprecher lassen sich Sprachbefehle direkt erteilen, die Maschine antwortet in natürlicher Sprache. Damit wird die Interaktion nicht nur effizienter, sondern auch intuitiver – ein wichtiger Schritt, um Roboter im Arbeitsalltag akzeptabel zu machen.

Die Partnerschaft mit BMW gibt diesen Versprechen erstmals ein industrielles Umfeld. Seit 2024 erprobt der Konzern Figure 02 im Werk Spartanburg in South Carolina. Dort legt er Blechteile millimetergenau in Vorrichtungen – eine Tätigkeit, die für Menschen monoton und körperlich belastend, für spezialisierte Industrieroboter aber oft zu variabel ist. Für BMW ist der Test ein Experiment unter realen Bedingungen, für Figure der Nachweis, dass humanoide Roboter mehr sein können als ein Messe-Showcase.

Im Hintergrund wirkt Helix, die Softwareplattform, die Figure als eigentliche Schaltzentrale betrachtet. Helix verknüpft visuelle Informationen, Spracheingaben und taktile Rückmeldungen. Der Roboter lernt dadurch nicht nur starre Abläufe, sondern kann seine Bewegungen in Echtzeit anpassen. Erfahrungen eines Roboters werden in die Plattform zurückgespeist und stehen anderen zur Verfügung. Damit eröffnet sich die Aussicht auf ein kollektives Lernen, das über einzelne Standorte hinausgeht und den entscheidenden Unterschied zwischen Pilotgerät und skalierbarem System markiert.

Noch freilich ist die Technik nicht frei von Schwächen. Simulationen liefern präzise Szenarien, doch die Realität bleibt störrisch. Verschobene Arbeitstische, falsch sortierte Kartons oder ungeplante Störungen können den Ablauf stören. Auch die Fähigkeit, Erfahrungen wirklich bruchlos von einem Einsatzort auf den anderen zu übertragen, ist noch im Aufbau. Die Kostenfrage bleibt ebenso offen. Von einem Marktpreis um 20.000 Dollar war zwar früh die Rede, doch realistisch ist, dass Pilotgeräte in der jetzigen Entwicklungsphase um ein Vielfaches teurer sind.

Trotzdem: Figure 02 steht exemplarisch für die Konvergenz von Robotik und künstlicher Intelligenz. Seine Kombination aus physischer Leistungsfähigkeit, autonomer Steuerung und natürlicher Sprachinteraktion macht ihn zu einem Vorboten dessen, was in Fabriken, Logistikzentren und womöglich eines Tages auch in Privathaushalten möglich sein wird. Für BMW ist es ein strategisches Experiment, für Figure der Versuch, die Lücke zwischen Vision und Wirklichkeit zu schließen. Für die Industrie insgesamt ist es ein Hinweis darauf, dass die Grenze zwischen Science-Fiction und Shopfloor schmaler wird. dünner wird.

## Figure 02 im Einsatz bei BMW

Die Automobilproduktion gilt als Königsdisziplin der Industrieautomation: Präzision und Geschwindigkeit sind unerlässlich, jede Abweichung kostet Zeit und Geld. Wer hier neue Technologien einführt, geht ein hohes Risiko ein. Nun testet BMW im Werk Spartanburg in South Carolina erstmals humanoide Roboter im realen Betrieb – Figure 02 des kalifornischen Unternehmens Figure. Ergänzt wird das Projekt durch Helix, die Softwareplattform, die humanoide Maschinen nicht als isolierte Prototypen, sondern als lernende Systeme versteht.

BMW hat die Zusammenarbeit mit Figure frühzeitig begonnen. Bereits seit 2024 laufen in Spartanburg erste Testeinsätze von Figure 02. Der Roboter bringt die Maße eines Menschen mit: 70 Kilogramm Gewicht, 1,70 Meter Körpergröße, eine Tragfähigkeit von rund 20 Kilogramm. Er legte Blechteile millimetergenau in Vorrichtungen, die später in der Karosserieproduktion eingesetzt werden.

Was nach Routine klingt, ist in Wahrheit eine komplexe Aufgabe. Blechteile sind sperrig, sie verformen sich unter Last, sie müssen exakt positioniert werden. FO2 verfügt über Hände, deren Größe und Beweglichkeit menschlichen Händen nahekommen, mit 16 Freiheitsgraden und Greifkraft fast auf menschlichem Niveau. Sensoren für Bild, Ton und Druck erfassen jedes Detail, die Rechenleistung ist im Vergleich zum Vorgänger verdreifacht, die Energieversorgung stabiler.

### Helix – das Betriebssystem der Roboter

Parallel zur Hardware entwickelt Figure die Plattform Helix, die das eigentliche Rückgrat der Technologie bilden soll. Helix hat heute drei Hauptfunktionen: Bewegungen und Aufgaben werden zunächst in digitalen Umgebungen trainiert, bevor der Roboter die reale Halle betritt. Produktionsdaten werden mit Echtzeitsensorik abgeglichen, Bewegungen laufend optimiert. Mehrere Roboter können ihre Erfahrungen bündeln und voneinander lernen, sodass Fortschritte nicht auf einen Standort beschränkt bleiben. Damit ist Helix bereits ein funktionierendes Werkzeug – aber noch weit entfernt von Perfektion. Heute kann die Plattform vor allem relativ klar definierte Abläufe verbessern, etwa das Greifen und Platzieren von Bauteilen. In komplexeren, unstrukturierten Umgebungen stoßen die Modelle noch an Grenzen. Simulationen liefern nur Näherungen, reale Abweichungen bringen die Systeme schnell durcheinander. Auch die Fähigkeit, Erfahrungen wirklich bruchlos von einem Einsatzort auf einen anderen zu übertragen, ist bisher eingeschränkt.

Kurz: Helix funktioniert, aber es ist noch kein universelles Betriebssystem für humanoide Roboter. Was fehlt, sind tiefere multimodale Modelle, die gleichzeitig visuelle, haptische und auditive Daten in Echtzeit verarbeiten und daraus robuste Handlungsstrategien ableiten. Ebenso muss die Plattform lernen, mit unvorhersehbaren Störungen umzugehen – von einem verschobenen Arbeitstisch bis zu spontanen Änderungen im Produktionsablauf.

### BMW's iFactory: Lean, Green, Digital

BMW ordnet die Versuche mit FO2 und Helix klar seiner iFactory-Strategie unter. Diese basiert auf drei Leitbegriffen: Lean, Green, Digital.

„Lean“ steht für effiziente, flexible Produktion mit hoher Wandlungsfähigkeit. Humanoide Roboter wie FO2 passen in dieses Konzept, weil sie theoretisch unterschiedliche Aufgaben übernehmen können, ohne dass für jede neue Tätigkeit eine Umrüstung notwendig ist.

„Green“ verweist auf Nachhaltigkeit. Roboter könnten hier helfen, Prozesse ressourcenschonender zu gestalten, etwa durch präzisere Handhabung von Bauteilen oder die Entlastung von Mitarbeitern bei energieintensiven Umwegen. Noch sind dies Annahmen, aber die Erwartung ist klar: humanoide Systeme sollen den ökologischen Fußabdruck nicht vergrößern, sondern reduzieren.

„Digital“ schließlich meint die vollständige Vernetzung der Produktion. FO2 und Helix sind in dieser Dimension am wichtigsten. Nur wenn Roboter nahtlos mit digitalen Zwillingen, Datenräumen und Predictive-Maintenance-Systemen kommunizieren, erfüllen sie den Anspruch der iFactory. Helix ist hier Schlüssel und Schwachstelle zugleich: leistungsfähig genug, um erste Integrationen zu ermöglichen, aber noch nicht reif für breite Serienanwendung.

Das Werk Spartanburg ist BMWs größter Standort weltweit, mehr als 11.000 Menschen arbeiten dort, jährlich werden über 400.000 Fahrzeuge produziert. Die Modellvielfalt ist groß, die Nachfrage schwankt, die Anforderungen an Flexibilität sind entsprechend hoch.

In einem solchen Umfeld liegt der Nutzen humanoider Roboter auf der Hand. Sie sollen Tätigkeiten übernehmen, die spezialisierte Maschinen nicht abdecken, und zugleich Anpassungsfähigkeit in einem hochdynamischen Produktionssystem bieten. Für BMW geht es nicht darum, sofort flächendeckend humanoide Roboter einzusetzen, sondern Erfahrungen zu sammeln, wie sich Mensch und Maschine

künftig in einem hochautomatisierten Werk ergänzen können.

### **Chancen und offene Fragen**

Die Chancen sind greifbar: Humanoide Roboter könnten mehrere Aufgaben übernehmen, ohne dass für jede Tätigkeit neue Maschinen programmiert oder aufwendig umgerüstet werden müssten. Sie könnten Mitarbeiter bei körperlich belastenden Arbeiten entlasten und die Flexibilität im Produktionsprozess erhöhen. Mit Helix ließe sich zudem das Wissen eines Roboters auf viele andere übertragen – ein entscheidender Schritt zur Skalierung.

Doch die offenen Fragen sind ebenso deutlich. Helix muss lernen, mit realer Komplexität umzugehen, nicht nur mit simulierten Szenarien. Die Integration in BMWs digitale Fabrikkonzepte ist technisch anspruchsvoll. Die Kostenfrage bleibt ungeklärt: Humanoide Roboter sind in der Anschaffung und Wartung erheblich teurer als spezialisierte Systeme. Und die Akzeptanz in der Belegschaft ist sensibel – sie entscheidet mit darüber, ob humanoide Maschinen als Entlastung oder als Konkurrenz wahrgenommen werden.

### **Strategischer Kontext**

BMW bewegt sich mit dem Test im Spannungsfeld zwischen drei großen Bewegungen. In China werden humanoide Roboter wie der Walker S2 mit embodied AI bereits in Serie getestet. In Europa betonen Anbieter wie Neura Robotics mit 4NE1 vor allem Sicherheit und Mensch-Maschine-Kollaboration. In den USA setzen Unternehmen wie Figure auf Geschwindigkeit – und kombinieren Hardware mit Plattformen wie Helix, die das Lernen und Skalieren ermöglichen sollen.

Der Einsatz von Figure 02 in Spartanburg ist kein Schaufensterprojekt, sondern ein strategisches Experiment. Schon seit 2024 testet BMW, was humanoide Roboter heute leisten können – und wo ihre Grenzen liegen. Helix liefert die Softwareebene, die entscheidet, ob aus einzelnen Maschinen ein vernetztes, lernendes System wird.

Noch sind die Fähigkeiten begrenzt. Doch das Ziel ist klar: humanoide Roboter, die nicht nur Blechteile platzieren, sondern in komplexen Produktionsumgebungen flexibel agieren, Erfahrungen weitergeben und sich nahtlos in die digitale iFactory-Architektur einfügen.

Für BMW ist das eine Wette auf die Zukunft. Wer früh lernt, kann Standards setzen. Wer zu lange wartet, muss später Systeme importieren – samt der Regeln, die andere dafür festgelegt haben.

### **Was Helix und Figure in Deutschland leisten könnten – und was sie bremst**

Prinzipiell wären Helix und humanoide Roboter wie Figure A1 oder FO2 auch in deutschen Fabriken einsetzbar. Doch die Bedingungen sind ungleich komplexer als in den USA.

Einerseits böten die Systeme klare Vorteile: Humanoide Roboter könnten in bestehenden Produktionsumgebungen dort Aufgaben übernehmen, wo klassische Industrieroboter an Grenzen stoßen – etwa bei variierenden Bauteilen oder unergonomischen Handgriffen. Helix wiederum erlaubt es, Erfahrungen eines Roboters auf viele andere zu übertragen und so Lernprozesse zu beschleunigen.

Andererseits sind die Hürden hoch. In Deutschland verlangt der Einsatz CE-Kennzeichnung, Nachweise zur Arbeitssicherheit und strikte DSGVO-Konformität. Produktionsdaten dürfen nicht unkontrolliert in US-Clouds fließen. Zudem müssten Figure-Systeme in die Industrie-4.0-Architektur integriert werden, von OPC UA bis zu Catena-X. Erst dann wären sie anschlussfähig.

Hinzu kommt die Kostenfrage: Solange spezialisierte Industrieroboter günstiger und zuverlässiger arbeiten, wird sich ein humanoides System schwer durchsetzen. Auch die Akzeptanz in den Belegschaften spielt eine Rolle – in Deutschland entscheidet der Betriebsrat mit.

Helix und Figure können auch in Europa Duftmarken setzen, doch bevor die Technologie Einzug in deutsche Werke hält, sind Anpassung, Zertifizierung und Überzeugungsarbeit nötig. Bis dahin bleiben sie Pilotprojekte – mit Potenzial, aber ohne unmittelbare Serienperspektive.

# Checkliste: Papiere & Nachweise für den Einsatz eines humanoiden Roboters in Deutschland

## 1. EU-Konformität & Kennzeichnung

- CE-Kennzeichnung** sichtbar am Gerät angebracht
- EG-/EU-Konformitätserklärung** (Maschinenrichtlinie 2006/42/EG oder ab 2027 Maschinenverordnung (EU) 2023/1230)
- Sprache: Deutsch oder Amtssprache des Einsatzlandes

## 2. Technische Dokumentation

- Detaillierte **technische Unterlagen** (Konstruktion, Funktionsweise, Schaltpläne, Stücklisten)
- Risikobeurteilung** (Gefährdungen + getroffene Schutzmaßnahmen)
- Bedienungs- und Wartungsanleitungen** in deutscher Sprache
- Nachweise zu **Sicherheits- und Prüfverfahren**

## 3. Normen & Sicherheitsstandards

- Nachweis Einhaltung einschlägiger **EN-/ISO-Normen**
  - EN ISO 10218 (Industrie-Roboter)
  - ISO 13482 (Assistenzrobotik)
  - EN 60204-1 (Elektrische Sicherheit von Maschinen)
  - ISO 13849 / IEC 62061 (Sicherheitssteuerungen)
  - ISO/TS 15066 (Mensch-Roboter-Kollaboration)
- Prüfberichte / Zertifikate von **akkreditierten Prüfstellen** (z. B. TÜV)

## 4. Elektrik, EMV & Energie

- Erfüllung der **Niederspannungsrichtlinie**
- Erfüllung der **EMV-Richtlinie** (Elektromagnetische Verträglichkeit)
- Zertifikate für **Batterien / Akkus** (Brandschutz, Transport, Recycling)

## 5. Software, KI & Cybersicherheit

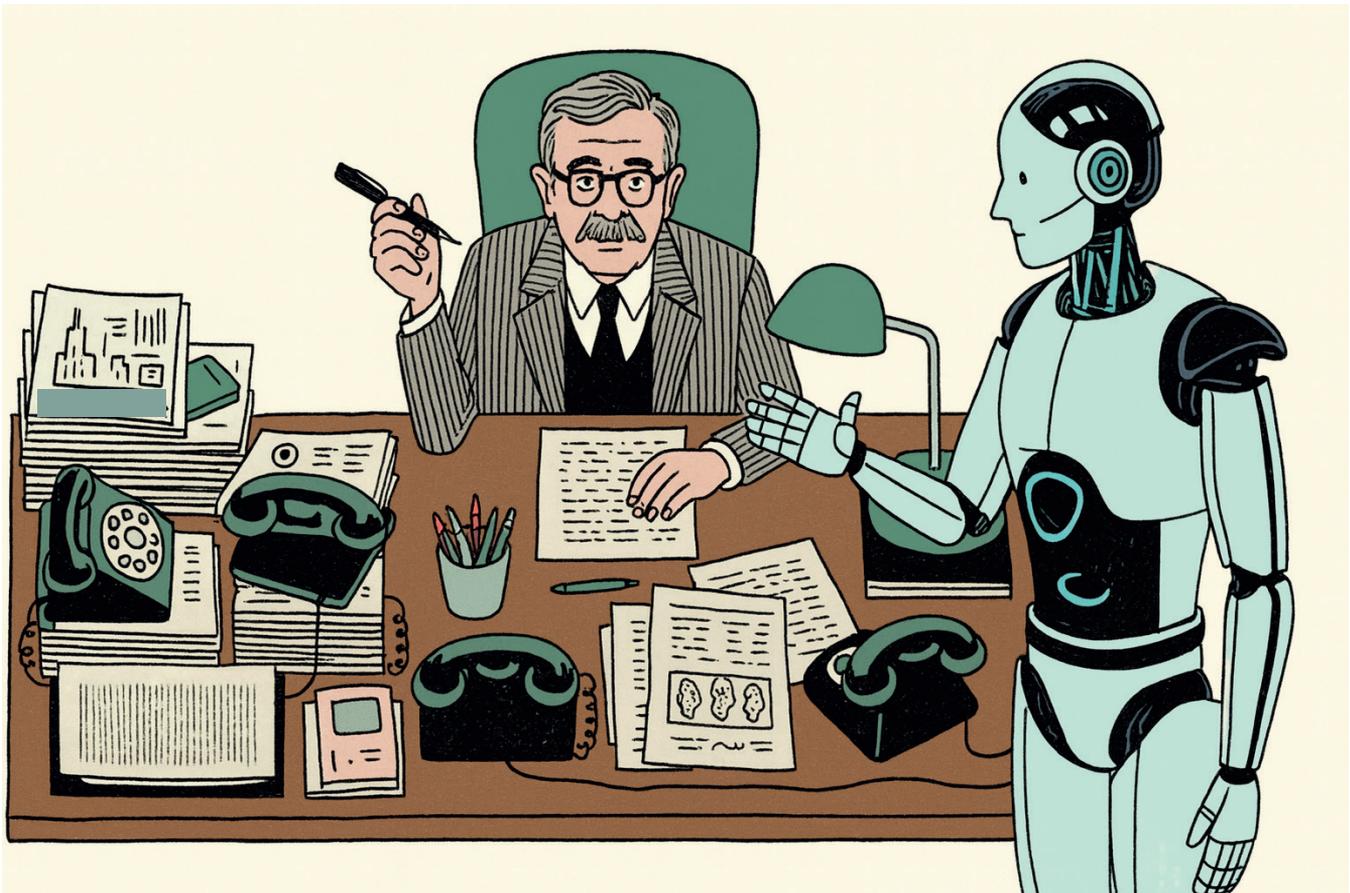
- Nachweis über **Updates & Sicherheitsarchitektur** (Cyberschutz)
- Dokumentation der **KI-Funktionen** (Autonomie, Entscheidungslogik, Fail-Safe)
- Datenschutzprüfung, wenn Kameras / Sensoren personenbezogene Daten erfassen

## 6. Import & Zoll

- Zollpapiere** + technische Datenblätter
- Übersetzung relevanter Unterlagen ins **Deutsche**
- ggf. Nachweis über **Produkthaftpflichtversicherung** des Herstellers/Importeurs

## 7. Arbeitsschutz & Betriebsgenehmigungen

- Prüfung nach **Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)** und **Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)**
- Abnahme durch **Fachkraft für Arbeitssicherheit / DGUV** (bei Einsatz in Betrieben)
- Spezifische Genehmigungen bei Einsatz in **öffentlichen Räumen**



**infpro**

## Institut für Produktionserhaltung e.V.

### Impressum:

#### **infpro**

Institut für Produktionserhaltung e.V.  
Ostergasse 26  
D-86577 Sielenbach

Vertreten durch Klaus Weßing, Vorstand infpro

E-Mail: [info@infpro.org](mailto:info@infpro.org)  
[www.infpro.org](http://www.infpro.org)

Verantwortlich für den Inhalt im Sinne des § 18 Abs. 2 MStV:

Klaus Weßing, Vorstand infpro

Design und Bildgestaltung: Susanne O'Leary, alle Bilder wurden mit DALL-E von OpenAI erstellt.

Redaktion: Lothar K. Doerr, Roberto Zongi, Dr. Maximilian Krause, Ian McCallen,  
Holger Kleinbaum, KI-Beirat des Instituts

### Haftungshinweis:

Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle übernehmen wir keine Haftung für die Inhalte externer Links. Für den Inhalt der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.