

HUMANOIDE ROBOTER



© CC0 (Possessed Photography/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

Bislang spielten humanoide Roboteranwendungen vor allem in der Science-Fiction eine prominente Rolle, auf dem Markt konnten sie sich noch nicht durchsetzen. Inzwischen könnten sie jedoch vor dem Durchbruch stehen. Verantwortlich dafür sind u. a. Fortschritte in der künstlichen Intelligenz, in Form von sogenannten multimodalen Sprachmodellen, die Bilddaten, Sprachdaten und Sensordaten verarbeiten können. Trotz anhaltender Schwierigkeiten bei der Entwicklung und Produktion bieten humanoide Roboter ein beträchtliches Potenzial für den Einsatz in vielen Bereichen des menschlichen Lebens, z. B. bei militärischen Operationen, in der Industrie, bei Rettungseinsätzen, im Gesundheitswesen, im Bildungswesen, bei der persönlichen Unterstützung, in der Unterhaltung und in der Landwirtschaft. Mit der zunehmenden Verbreitung von humanoiden Robotern stellen sich rechtliche und ethische Fragen in Bezug auf Haftung, Datenschutz und mögliche Verdrängung von Arbeitsplätzen.

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Menschenähnliche Roboter werden meist als humanoide oder androide Roboter bezeichnet, je nachdem, wie stark sie sich von echten Menschen unterscheiden: *Humanoide* Roboter sehen mechanisch aus, auch wenn sie in der Regel einen Kopf, einen Rumpf, Arme und manchmal auch Beine haben. *Androide* Roboter versuchen dagegen das menschliche Aussehen so realistisch wie möglich nachzuahmen, beispielsweise durch Silikonhaut, Kleidung, Perücken oder sehr realistische Details wie Wimpern (Mara, 2022). Bereits seit vielen Jahren sind humanoide Roboter, deren Konstruktion der menschlichen Gestalt nachempfunden ist, in der Entwicklung. Humanoide Roboter sind besonders für die Interaktion mit Menschen und Aufgaben in Alltagsumgebungen geeignet. Der Traum eines „humanoiden Automaten“ ist allerdings sehr alt und taucht bereits in der griechischen und chinesischen Mythologie auf; schon Leonardo baute einen solchen Automaten im 15. Jahrhundert.

Insgesamt wird die Entwicklung humanoider Roboter der letzten 50 Jahre in drei Phasen unterteilt. Nachdem in den 1970er Jahren vor allem die Entwicklung des zweibeinigen Gangs die größte Herausforderung war, wurden Anfang der 2000er Jahre gehende Roboter mit niedriger Intelligenz entwickelt. Ab dem Jahr 2010 bis heute entstanden schließlich humanoide Roboter mit höherer Intelligenz (Tong, 2024). Bei der Fortbewegung von Robotern auf zwei Beinen wurden in einer Vielzahl von Umgebungen erhebliche Fortschritte erzielt, was ihre Flexibilität und Anpassungsfähigkeit unter Beweis stellt. Die Entwicklung und Steuerung humanoider Roboter ist zu einem wichtigen Forschungsschwerpunkt geworden, was zu raschen Fortschritten bei der Bewegungsplanung, der Sehleistung und der Verhaltenskontrolle durch den Einsatz von Lernalgorithmen geführt hat (Tong, 2024). Humanoide Roboter bieten ein beträchtliches Potenzial für den Einsatz in vielen Bereichen des menschlichen Lebens, z. B. bei militärischen Operationen, in der Industrie, bei Rettungseinsätzen, im Gesundheitswesen, im Bildungswesen, bei der persönlichen Unterstützung, in der Unterhaltung und in der Landwirtschaft (Tong, 2024). Sie könnten beispielsweise älteren Personen bei täglichen Aktivitäten helfen, quasi-soziale Interaktion bieten und sowohl kognitives als auch körperliches Training unterstützen. Humanoide Serviceroboter für Lager- und Logistikarbeiten werden bereits zum Kauf oder Miete für große Unternehmen angeboten.¹ Auch laufen Tests für erste Anwendungen im Automobilbau² oder auf Ölbohrinseln³. Mehr auf Kommunikation ausgelegte Modelle werden etwa für Krankenhäuser, Bildungseinrichtungen oder den Gastronomiebereich angeboten.⁴ Humanoide Roboterpolizisten sollen bereits die chinesische Polizei bei einfachen Tätigkeiten unterstützen⁵. Außerdem könnten humanoide Roboter, sobald sie ausreichend entwickelt sind, militärische Konflikte revolutionieren, indem sie menschliches Personal auf dem Schlachtfeld ersetzen oder ergänzen.⁶

*Humanoide Automaten
– ein alter Traum*

*Humanoide vs.
Androide*

*Vielfältige
Einsatzzweck*

Dual-use

¹ agilityrobotics.com; apptronik.com/apollo.

² vdi-nachrichten.com/technik/automation/humanoide-roboter-boston-dynamics-zeigt-erste-anwendung-im-automobilbau/.

³ futurezone.at/science/nasa-humanoid-roboter-oelbohrinsel-valkyrie-mond-artemis-basis/402517573.

⁴ probo-robotics.at.

⁵ youtube.com/watch?v=cN4HFykDRoA.

⁶ ussc.gov/sites/default/files/2024-10/Humanoid_Robots.pdf.

Mehrere führende Robotikunternehmen haben fortschrittliche humanoide Prototypen vorgestellt, z. B. Figure 01 von Figure AI, Apollo von Appttronik, Atlas von Boston Dynamics, Digit von Agility Robotics, Optimus von Tesla, G1 von Unitree, Walker S von UBTECH und GR-1 von Fourier Intelligence. Diese Roboter zeigen derzeit Fähigkeiten wie das Sortieren von Gegenständen, das Reinigen, das Heben von Kisten und das Gehen, wobei einige mit Menschen interagieren können. Allerdings führen sie diese relativ einfachen Aufgaben meist langsamer aus als ein durchschnittlicher Mensch (USCC, 2024). Herausforderungen wie langsame Reaktionszeiten und technische Fehler stellen weiterhin erhebliche Hindernisse dar (Andtfolk, 2022).

Mehrere Anbieter am Markt

In den letzten zehn Jahren haben bedeutende Durchbrüche im Bereich des Deep Learning und der **generativen KI** – insbesondere bei großen **Sprachmodellen** (LLMs) und großen multimodalen Modellen (LMMs) – zu großen Fortschritten in der humanoiden Robotik geführt und neue Leistungen in verschiedenen Bereichen ermöglicht. In Verbindung mit Fortschritten im Bereich der Sensorik könnten damit die Kommunikations- und Entscheidungsfähigkeit sowie die Autonomie von Robotern einen deutlichen Sprung nach vorne machen. Die Integration von generativer KI in die humanoide Robotik wird oft als Beginn einer neuen Ära („Humanoide KI-Roboter“, oder „embodied AI“) gehandelt (Cao, 2024). Diese Dynamik zeigt sich etwa darin, dass NVIDIA eine umfassende KI-Plattform für führende Unternehmen im Bereich humanoider Roboter aufbaut, und eine andere große KI-Plattform (huggingface) den Hersteller eines Open-Source-Humanoiden übernommen hat.⁸

Humanoide KI als neue Ära der Robotik

Neben autonomen wird auch an ferngesteuerten humanoiden Robotern geforscht, wobei diese zwei Steuerungsformen sich nicht gegenseitig ausschließen.⁹ Fernsteuerung ermöglicht die Kombination menschlicher kognitiver Fähigkeiten und Fachkenntnisse mit den physischen Fähigkeiten des Roboters. Allerdings ist die Komplexität der Roboter eine Herausforderung für die Fernsteuerung, insbesondere in unvorhersehbaren, dynamischen Umgebungen mit eingeschränkter Kommunikation (Darvish, 2023).

Eigenständige und ferngesteuerte Humanoide

Der weltweite Markt für humanoide Roboter könnte laut Schätzungen von Goldman-Sachs bis 2035 von derzeit ein bis zwei auf 38 Milliarden Dollar anwachsen. Ein Großteil der für humanoide Roboter erforderlichen Hardware ist entweder bereits verfügbar oder steht kurz vor Markteinführung. Schlüsselkomponenten wie Kameras, Motoren, Sensoren, Getriebe und Batterien stehen weitgehend für den kommerziellen Einsatz bereit.¹⁰ Die Kosten für die Herstellung von humanoiden Robotern sind erheblich gesunken – während sich Schätzungen von 2023 noch auf \$ 50.000 für einfache Modelle und \$ 250.000 für fortgeschrittene Versionen beliefen, beziffert Goldman-Sachs die Kosten derzeit auf \$ 30.000-150.000 pro Einheit. Solche optimistischen Prognosen gehen neben dem Einsatz für dreckige, gefährliche und langweilige Arbeiten (wie etwa der Umgang mit Giftmüll) auch davon aus, dass sich humanoide Roboter zum nächsten „must-have“ für Konsum-

Große Markterwartungen

⁷ fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/ki-robotik.html.

⁸ humanoidroboticstechnology.com/news/hugging-face-announces-acquisition-of-pollen-robotics/.

⁹ pollen-robotics.com/reachy/.

¹⁰ goldmansachs.com/insights/articles/the-global-market-for-robots-could-reach-38-billion-by-2035.

ment:innen durchsetzen könnten, um vielfältige Tätigkeiten im Haushalt zu übernehmen. Einige Firmen kündigen an, bald Tests im Haushalt durchführen zu wollen.¹¹ Dies ist allerdings ein Marktversprechen, das es zumindest schon seit den 1960er-Jahren gibt und das auch in der Science-Fiction bereits seit Langem breit thematisiert wird.

Japan, die USA und China sind die führenden Nationen in der humanoiden Robotikforschung. Zu den wichtigsten Einrichtungen gehören die Universitäten Tokio, Waseda und Osaka in Japan, das Beijing Institute of Technology und die Tsinghua-Universität in China sowie das MIT in den USA. Auch andere Länder wie Italien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Südkorea haben wichtige Beiträge zu diesem Bereich geleistet (Tong, 2024). Humanoide Roboter werden auch als Symbol für die technologische Stärke und Innovation eines Landes gesehen, ähnlich wie Weltraumtechnologien. In den USA und China wird die Kommerzialisierung humanoider Roboter intensiv vorangetrieben. Entscheidende Technologien sind derzeit in einigen wenigen Unternehmen konzentriert, die sich auf die Entwicklung eigener Sensoren und Aktoren, fortschrittlicher Hardware wie Grafikprozessoren und entsprechender KI-Modelle spezialisiert haben. China fördert Innovationen und führt diese auf dem heimischen Robotikmarkt ein, um seine Abhängigkeit von Technologien zu verringern, die von US-amerikanischen und anderen nicht-chinesischen Unternehmen dominiert werden (USCC, 2024).

Die Entwicklung hochintelligenter und anpassungsfähiger humanoider Roboter bleibt eine große Herausforderung. Derzeit verwenden nur wenige humanoide Roboter große Sprachmodelle (LLMs) oder generative KI. Diese Lücke offenbart ein beträchtliches ungenutztes Potenzial, unterstreicht aber auch die bestehenden Herausforderungen im Bereich der humanoiden KI (Cao, 2024). Um die potenziellen Fähigkeiten humanoider Roboter voll ausschöpfen zu können, sind weitere Innovationen sowohl bei der Hardware als auch bei der Software erforderlich (Tong, 2024). Herausforderungen sind beispielsweise die noch hohen Entwicklungs- und Wartungskosten, der hohe Energieverbrauch, eine effektive Mensch-Maschine-Zusammenarbeit, die Verfügbarkeit von Hochpräzisionskomponenten, die präzise Kontrolle und Koordination oder die limitierte Wahrnehmung der Umwelt.¹²

Die bekannte Uncanny-valley-Hypothese (Akzeptanzlücke) besagt, dass eine zunehmende Ähnlichkeit von künstlichen Figuren mit Menschen nicht unbedingt mit einer größeren Sympathie einhergeht. Anfangs steigt die Sympathie zwar an, wenn die Menschenähnlichkeit zunimmt, ist die Ähnlichkeit aber sehr hoch und nicht perfekt, werden Figuren eher abgelehnt und als unheimlich empfunden. Dieser Bruch in der Sympathie wird auch als Akzeptanzlücke bezeichnet (Mara, 2022). Hier ist auch zu betonen, wie wichtig lange Testphasen und Sicherheitsüberprüfungen sind, bevor Roboter frei in menschliche Umgebungen entlassen werden¹³.

China investiert, um amerikanische und japanische Vorherrschaft zu brechen

Entwicklung hochintelligenter humanoider Roboter bleibt eine Herausforderung

Menschenähnliche Roboter erscheinen unheimlich: Uncanny valley

¹¹ heise.de/news/Figure-AI-Erste-Tests-fuer-humanoide-Roboter-im-Haushalt-noch-2025-10299391.html.

¹² topbots.com/humanoid-robots-overview-2024.

¹³ heise.de/news/Fehlfunktion-Humanoide-Roboter-schlaegt-bei-Tests-um-sich-10374306.html.

Eine Metastudie zeigt, dass das wissenschaftliche Verständnis für die Wirkung der Zuweisung von geschlechtsspezifischen Merkmalen bei Robotern begrenzt ist. So ist nicht klar, ob es in Bezug auf das Design nutzt oder schadet. Eine Manipulation der Genderwahrnehmung von Menschen bei Robotern findet über die Stimme, Namen und Pronomen, Gesichtszüge, Kleidung und Farben, Frisuren und Körperformen statt. Während es sich insgesamt kaum auf die Sympathie oder Akzeptanz auswirkt, verstärkt es die Stereotypisierung in der Mensch-Roboter-Interaktion deutlich (Perugia, 2023). Es zeigt sich beispielsweise, dass weiblich gegenderte Roboter bei Servicetätigkeiten bevorzugt werden, woraus sich aus feministischer Sicht die Frage stellt, ob hier die Vorliebe der Nutzer:innen für weibliche Serviceroboter unterstützt werden sollte, auch wenn sie aus dem diskriminierenden Verständnis einer geschlechtsspezifischen Gesellschaft herrührt. Eine ähnliche Dynamik zeigt sich bei Kindern, die „weibliche“ Roboter im Vergleich weniger mögen, wenn diese Emotionen wie Wut zeigen. Auch konnte gezeigt werden, dass Männer ablehnendes Verhalten bei männlich gelesenen Robotern viel mehr akzeptierten als bei Weiblichen. Das deutet insgesamt darauf hin, dass weibliche gelesene Roboter, wie auch Frauen, weniger gemocht werden, wenn sie sich nicht gefügig oder zustimmend verhalten (Perugia, 2023). Letztendlich wird die zukünftige Entwicklung humanoider Roboter von der Marktnachfrage und der Fähigkeit, praktische Bedürfnisse zu erfüllen, bestimmt werden. Bei der Integration von Robotik und KI in Unternehmen sollten Manager:innen das psychologische und soziale Wohlbefinden der Mitarbeiter:innen in den Vordergrund stellen. Generative KI könnte hier die Mensch-Maschine-Kommunikation fördern. Ein auf den Menschen ausgerichteter Ansatz, ethische Orientierung, Mitarbeiterschulungen und die Achtung der Menschenrechte sind für eine verantwortungsvolle Umsetzung entscheidend (Obrenovic, 2025).

*Gendering von
humanoiden/androiden
Robotern
verstärkt Stereotype*

*Zukünftige
Entwicklung auch
unter ethischen
Aspekten*

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Forschung zu humanoiden Robotern findet in Österreich an mehreren Hochschulen statt, etwa der TU-Wien¹⁴, oder zur Roboterpsychologie an der JKU Linz.¹⁵ Auch Zulieferbetriebe für Komponenten humanoider Robotik sind in Österreich ansässig.¹⁶ Prognostiziert wird, dass der Robotikmarkt in Österreich bis 2029 ein jährliches Umsatzwachstum von 7 Prozent und ein Gesamtvolumen von mehr als 600 Mio. € aufweisen wird.¹⁷ Die Servicerobotik, zu der humanoide Roboter in der Regel gehören, soll etwa zwei Drittel beitragen. Sobald die Technologie fortgeschritten und erschwinglich genug ist, könnten humanoide Roboter verschiedene Wirtschaftszweige erheblich beeinflussen, indem sie den Arbeitskräftemangel beheben und die Kosten senken. Andererseits könnten sie auch gegenläufige Effekte am Arbeitsmarkt haben, wenn Tätigkeiten und damit Arbeitsplätze ersetzt werden. Derzeit haben humanoide Roboter keine direkten Auswirkungen auf die Arbeitsproduktivität. Ihr Einfluss ist vielmehr indirekt und erfolgt durch

*Wirtschaftsfaktor,
Arbeitsmarkt,
Militär*

¹⁴ acin.tuwien.ac.at/robotic-systems-lab/forschung/lokomotion-und-humanoide-robotik/.

¹⁵ jku.at/lit-robopsychology-lab/.

¹⁶ schaeffler.com/de/news_medien/pressemitteilungen/pressemitteilungen_detail.jsp?id=88086784.

¹⁷ de.statista.com/outlook/tmo/robotik/oesterreich.

die Schaffung völlig neuer Arbeitsabläufe sowie die Anpassung oder Fortführung bestehender Arbeitsabläufe (Del Giudice, 2023). Erste Anwendungstest mit humanoiden Robotern laufen etwa bei den Büchereien der Stadt Wien¹⁸. Mit der zunehmenden Verbreitung von humanoiden Robotern stellen sich rechtliche und ethische Fragen in Bezug auf Haftung, Datenschutz und mögliche Verdrängung von Arbeitsplätzen und Sicherheit. Eine verantwortungsvolle Entwicklung im Einklang mit gesellschaftlichen Werten ist für die breite Akzeptanz und den Erfolg humanoider Roboter unerlässlich. Die Entwicklung geeigneter Vorschriften erfordert die Zusammenarbeit zwischen Vertreter:innen von Technik, Ethik und politischen Entscheidungsträger:innen.

Offene rechtliche und ethische Fragen

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Eine Studie zu diesem Thema könnte einerseits die hier begonnene Analyse der Entwicklungs- und Marktchancen fortsetzen, andererseits die Literatur zu den Auswirkungen auf die Gesellschaft, das Recht und die Wirtschaft untersuchen. Die Untersuchung könnte sich an folgenden Leitfragen orientieren: In welchen alltäglichen Anwendungsbereichen ist eine Verbreitung zu erwarten? Was sind jeweils die Chancen und Risiken (rechtlich, ethisch)? Wie ist der Stand der Regulierung? Reichen die bestehenden Vorschriften aus (z. B. bzgl. Haftung)?

TA-Studie zu Perspektiven und Auswirkungen humanoider Robotik

ZITIERTE LITERATUR

- Andtfolk, M., et al. (2022). Humanoid robots in the care of older persons: A scoping review. *Assistive Technology*, 34(5), 518-526, doi.org/10.1080/10400435.2021.1880493.
- Cao, L. (2024). Ai robots and humanoid ai: Review, perspectives and directions. *arXiv preprint arXiv:2405.15775*.
- Darvish, K., et al. (2023). Teleoperation of Humanoid Robots: A Survey. *IEEE Transactions on Robotics*, 39(3), 1706-1727.
- Del Giudice, M., et al. (2023). Humanoid robot adoption and labour productivity: a perspective on ambidextrous product innovation routines. In *Artificial Intelligence and International HRM* (S. 33-59): Routledge.
- Mara, M., et al. (2022). *Human-Like Robots and the Uncanny Valley: A Meta-Analysis of User Responses Based on the Godspeed Scales* (Vol. 230): Hogrefe Publishing, doi.org/10.1027/2151-2604/a000486.
- Obrenovic, B., et al. (2025). Generative AI and human-robot interaction: implications and future agenda for business, society and ethics. *AI & SOCIETY*, 40(2), 677-690, doi.org/10.1007/s00146-024-01889-0.
- Perugia, G., & Lisy, D. (2023). Robot's Gendering Trouble: A Scoping Review of Gendering Humanoid Robots and Its Effects on HRI. *International Journal of Social Robotics*, 15(11), 1725-1753, doi.org/10.1007/s12369-023-01061-6.
- Tong, Y., et al. (2024). Advancements in Humanoid Robots: A Comprehensive Review and Future Prospects. *IEEE/CAA J. Automatica Sinica*, 11(2), 301-328.
- USCC (U.S.-China Economic and Security Review Commission). (2024). *Humanoid Robots*, uscc.gov/research/humanoid-robots.

¹⁸ ioeb.at/humanoide-roboter-fuer-die-buechereien-der-stadt-wien.