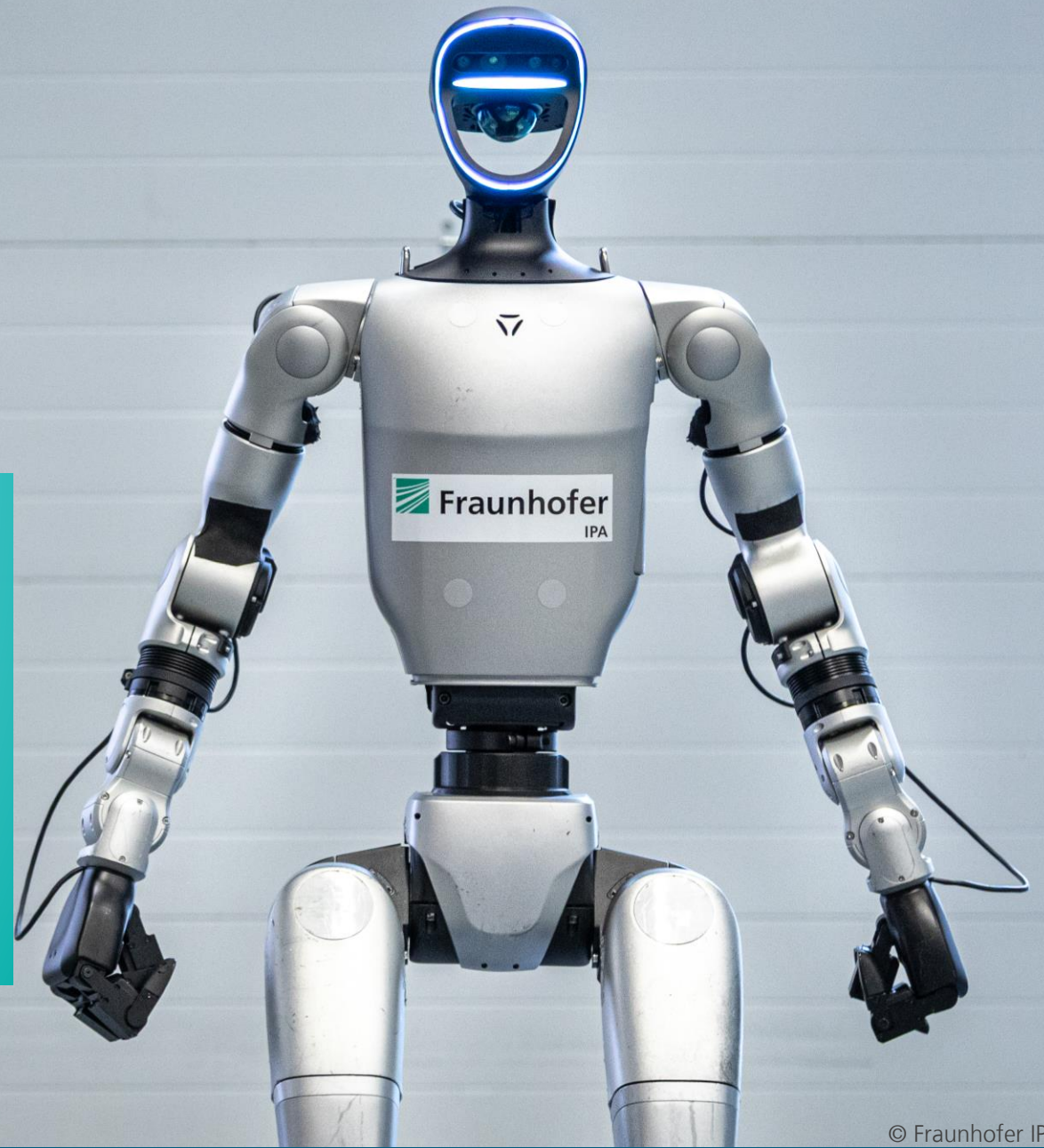


Fraunhofer IPA
Forschungsteam Robotersicherheit und Cobots

Leitfaden Sicherheit Humanoider Roboter



Leitfaden Sicherheit

1. Motivation

2. Definition Humanoider Roboter und Humanoiden-Robotersystem

3. Zusammenfassung aktuelle Normen

4. Sicherheitsrisiken

5. Mögliche Maßnahmen zur Risikominderung

6. XR-Visualisierung

7. Zusammenfassung

8. Empfehlungen

1. Motivation

Humanoide Roboter sollen im industriellen Umfeld neue Möglichkeiten eröffnen, da sie **flexibel** in bestehende Arbeitsumgebungen integriert werden können und Werkzeuge sowie Maschinen nutzen, die ursprünglich **für Menschen entwickelt** wurden. Sie sollen eine Antwort auf den zunehmenden **Fachkräftemangel** bieten, indem sie zum einen körperlich belastende, monotone oder gefährliche Aufgaben übernehmen und zum anderen zukünftig durch Einsatz im Dreischichtbetrieb die **Kosten senken**. Durch die humanoide Ergonomie versprechen sich Hersteller und potenzielle Anwender eine erleichterte Zusammenarbeit mit Menschen, eine **gesteigerte Produktivität** und Sicherheit und damit einen echten Mehrwert für moderne Produktionsprozesse.

Gerade im industriellen Einsatz ist das Thema Sicherheit von zentraler Bedeutung, da Humanoide Roboter als neue Technologie noch **wenig erprobte Funktionen** bieten und bisher **kaum praktische Erfahrungen** vorliegen – ein verantwortungsvoller Umgang ist daher unerlässlich, um Risiken für Mensch und Betrieb zu vermeiden.

Dieser Leitfaden zeigt die wichtigsten Informationen zur Sicherheit Humanoider Roboter auf und fasst die Ergebnisse erster Sicherheitstests zusammen.



© KI-generiert mit ChatGPT

2. Definition Humanoider Roboter und Humanoiden-Robotersystem

Es gibt noch keine einheitliche Definition von Humanoiden Robotern und deren Abgrenzung zum Humanoiden-Robotersystem. Mit einer breiten Definition versuchen wir vielfältige Designs (z. B. auch radbasierte) mit einzuschließen, um viele zukünftig verfügbare Systeme abzudecken.

Ein Humanoider Roboter...

Gestalt

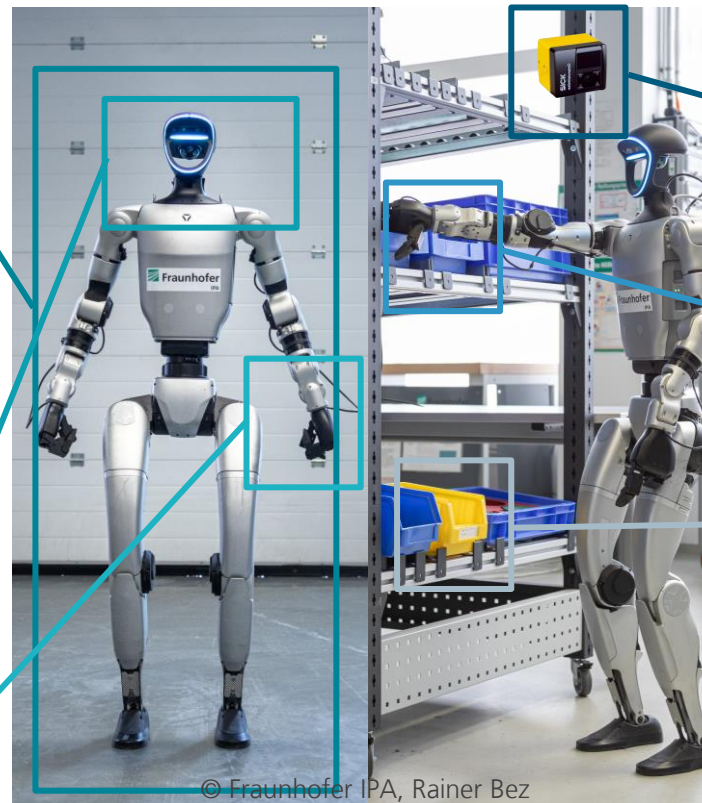
- ... muss über eine menschenähnliche Gestalt mit einem Oberkörper und zwei Armen verfügen
- ... muss über zwei Beine oder über andere geeignete Fortbewegungsmittel verfügen
- ... kann über einen Greifer verfügen (der Greifer ist ansonsten Teil des Humanoiden-Robotersystems)
- ... kann über einen Kopf verfügen

Sensorik

- ... muss über Sensorik zur Erfassung der Umgebung verfügen

Autonomie

- ... muss unterschiedlichste, für den Menschen angelegte Tätigkeiten ausüben können
- ... kann einen hohen Autonomiegrad aufweisen
- ... kann teleoperiert betrieben werden



© Fraunhofer IPA, Rainer Bez

Ein Humanoiden-Robotersystem...

Sicherheit

- ... sollte über Sicherheitseinrichtungen und -maßnahmen verfügen, um eine Kollaboration mit dem Menschen zu ermöglichen

Werkzeuge

- ... muss über einen Greifer oder andere End-Effektoren verfügen, die als spezialisierte Tools am Handgelenk angebracht werden

Systemkomponenten

- ... muss aus mindestens einem Humanoiden Roboter, Werkstücken, Peripheriekomponenten und Ladeinfrastruktur bestehen

3. Zusammenfassung aktuelle Normen

	ISO 12100 Sicherheit von Maschinen	ISO 10218 Roboter und Robotersysteme	ISO 13482 Sicherheitsanfor- derungen für Serviceroboter	ISO 3691-4 Flurförderzeuge	ANSI RIA R15.08 Industrial Mobile Robots (USA)	ISO/WD 25785-1 Dynamisch-stabile industrielle, mobile Roboter
Anwendungsbereich	Auf Humanoide anwendbar	Humanoide nicht abgedeckt	Humanoide nur für nichtindustriellen Bereich abgedeckt	Humanoide nicht abgedeckt	Humanoide könnten mobile Roboter sein, jedoch nicht mitgedacht	Speziell dynamisch- stabile Roboter (DSIMR) und Humanoide
Auf Humanoide übertragbare Inhalte	Verwendungs- grenzen, Stand- sicherheit, Schutz- maßnahmen, Ergonomie, Wartung	Risikobewertung, Grundlegende Sicherheitsfunktio- nen, softwarebasierte Begrenzungen, Cybersecurity, biomechanische Grenzwerte	Definition, Instabilität, Autonome Entscheidungen, Bewegen des Roboters in Notfällen	Sicheres Design, Betriebsarten, Risikominderung, Prüfung der Standsicherheit (teilweise)	Definition, mögliche Testszenarien (z. B. Stabilitätstests), Risikoidentifizierung und -minderung	Neuer Sicherheitsstandard, in Entwicklung seit 2025, insbesondere für Humanoide Roboter, Veröffentlichung voraussichtlich 2028
Auf Humanoide nicht/schwer übertragbare Inhalte	Externe Schutzeinrichtungen	Anwendungsbereich	Konstruktion des Roboters muss Stabilität unter allen Umständen gewährleisten	Regelungen zu Not- Aus und -Halten, Lasthandhabung bei Stopps, Freiräume	Worst-case- Stoppdistanz, »safe condition« (z.B. bei Energieverlust)	

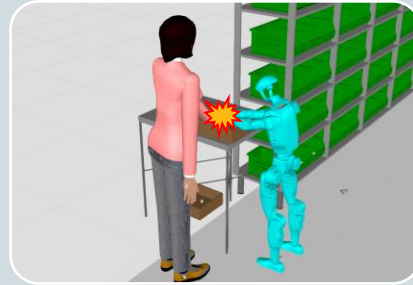
Der neue, durch die ISO-Arbeitsgruppe TC 299 WG 12 entwickelte Standard ISO 25875-1 wird in Zukunft mehr Klarheit bringen. Bis dahin können sich Hersteller an anderen Normen orientieren, müssen jedoch nachvollziehbar darlegen, welche Anforderungen sie übernehmen.

4. Sicherheitsrisiken – Auswahl



Kollision mit
Roboterkörper/
-beinen

Ursache:
Keine/fehlerhafte
Personenerkennung



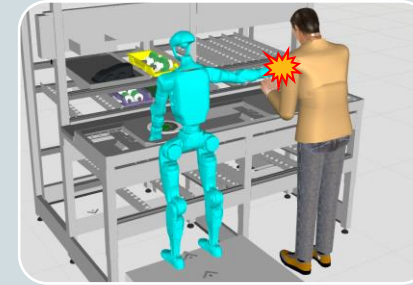
Kollision mit
Roboterhand/
Werkstück

Ursache:
Keine/fehlerhafte
Situationserkennung,
menschliches
Fehlverhalten



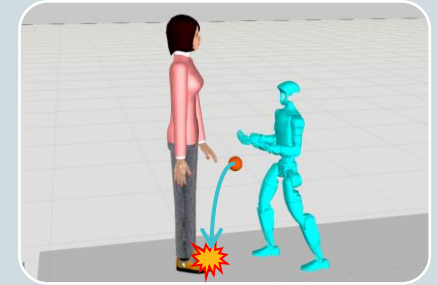
Roboter fällt und
trifft dabei Menschen

Ursache:
Fehlerhafte
Roboterbewegung,
Stabilitätsverlust,
Batterieerlauf



Fehlerhafte
Bewegungen des
Roboters

Ursache:
Fehlerhafte/r
Software/Controller



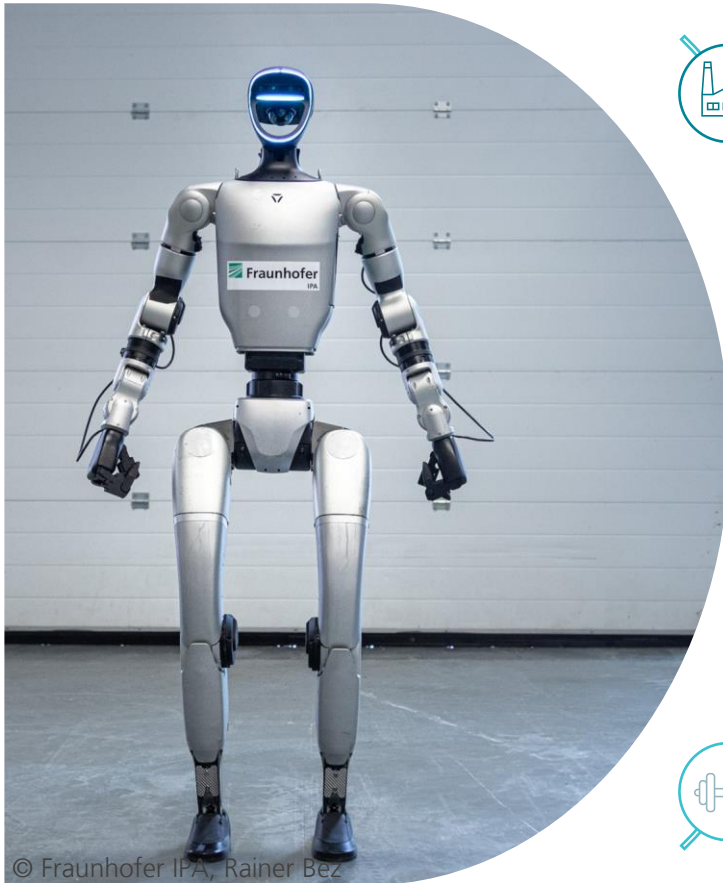
Unabsichtlicher
Werkstückverlust bei
der Handhabung

Ursache:
Fehlerhafte/r
Software/Controller,
falsches Werkstück,
Fehldetektion Sensoren/
Software

Abb.: Screenshots aus Visual Components

Bei jedem Szenario hängt die von der Kollision betroffene menschliche Körperstelle von der Größe des Humanoiden Roboters und der menschlichen Körperstatur ab und kann daher nicht generalisiert werden. Während beim Unitree G1 bei leichteren Kollisionen von reversiblen Verletzungen auszugehen ist, ist bei größeren, schweren Humanoiden auch mit irreversiblen Verletzungen zu rechnen.

4. Sicherheitsrisiken: Untersucher Roboter Unitree G1

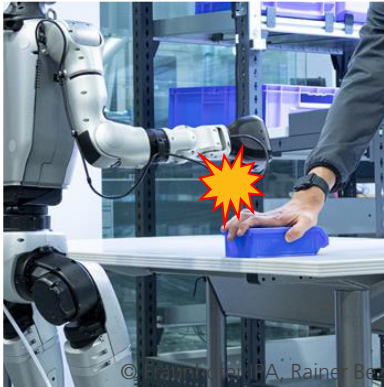


-  Hersteller: Unitree Robotics
-  Herkunftsland: China
-  Modell: G1 EDU+ mit Dreifingerhänden Dex 3-1
-  Größe: 1320mm
-  Gewicht: 35kg
-  Freiheitsgrade (Körper + Hände): 29 + 14
-  Traglast: 3kg pro Arm

© Fraunhofer IPA, Rainer Bez

4. Sicherheitsrisiken: Kollisionen mit dem Roboterarm

Hand schlägt nach unten:
≈190N



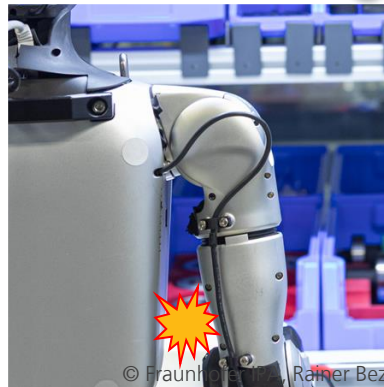
Hand schlägt nach vorne:
≈140N



Hand schlägt zur Seite:
≈130N



Klemmung zwischen Körper
und Oberarm: ≈130N



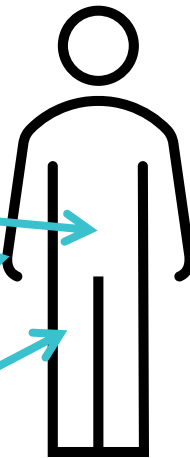
Alle angezeigten Kräfte sind Durchschnittswerte der Maximalkräfte (mind. drei Versuche pro Szenario) mit einem Unitree G1. Programmierte Bewegungen wurden mit einer »normalen« Geschwindigkeit (0,7s für ca. 30cm von Start- zu Endposition) durchgeführt. Gemessen wurden die Kraftwerte mit einem GTE CBSF 75N/mm.

Beispiel Schmerzschwellen (nach ISO 10218-2:2025) für Kollisionen ohne bleibende Klemmung:

Bauch: 220N

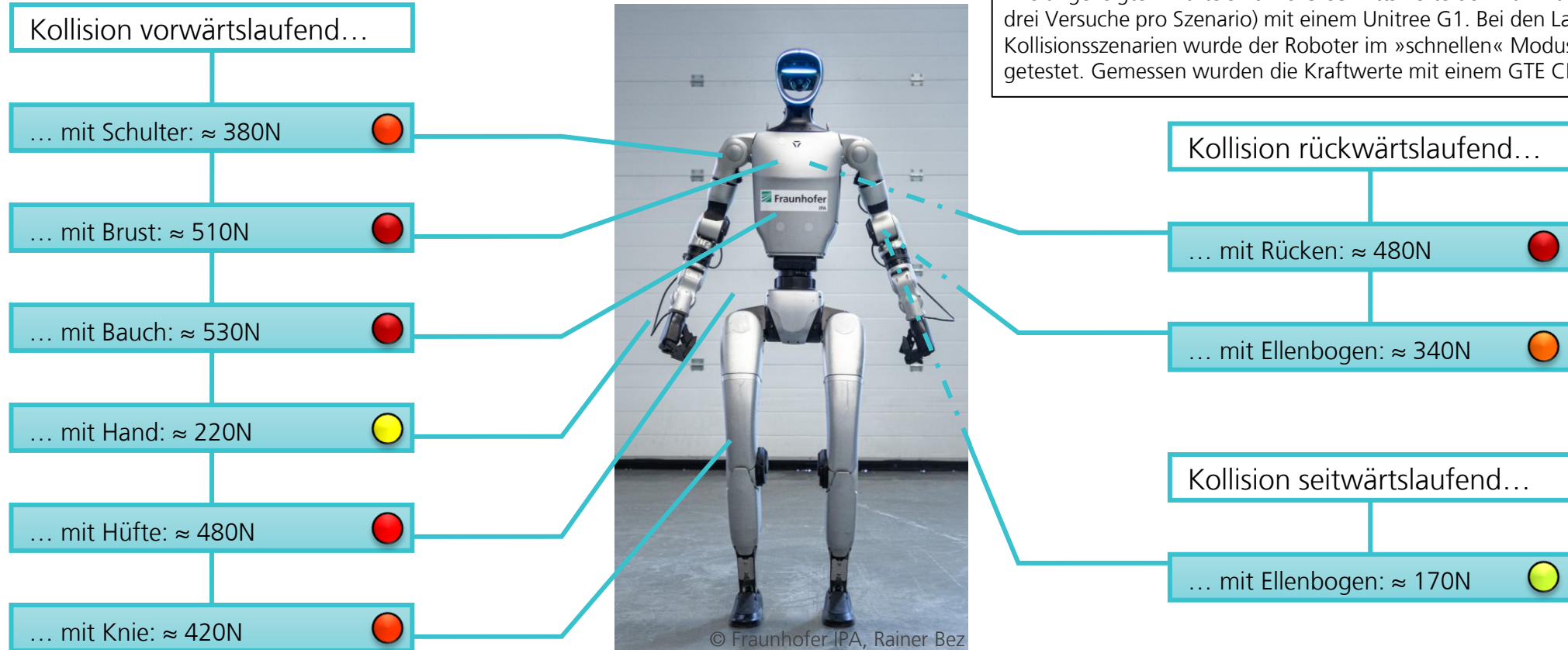
Hand und Finger: 280N

Oberschenkel und Knie: 440N



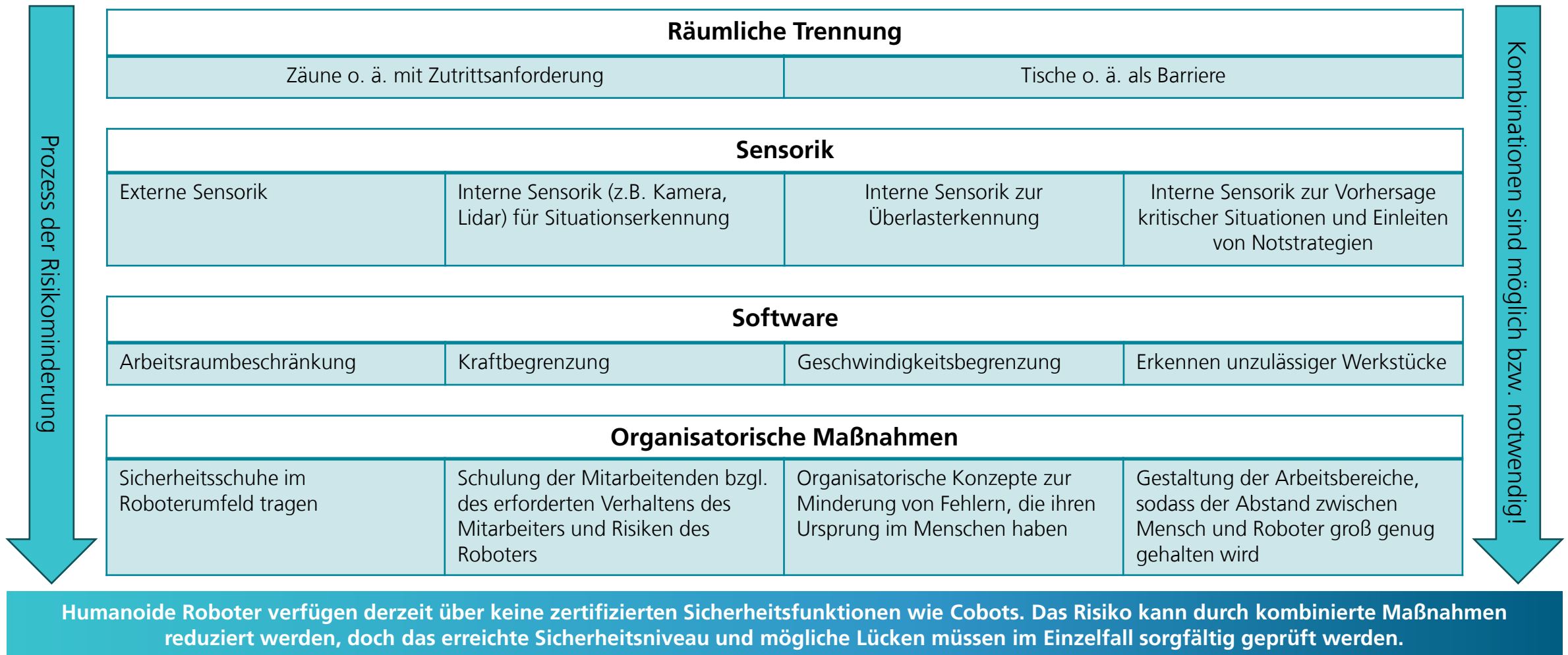
Die gemessenen Kraftwerte hängen stark von der Geschwindigkeit der Bewegung ab. Beim Szenario »Hand schlägt nach unten« ergab eine Halbierung der Ausführungszeit (0,35s) eine Kraft von ca. 500N.

4. Sicherheitsrisiken: Kollisionen mit dem laufenden Roboter



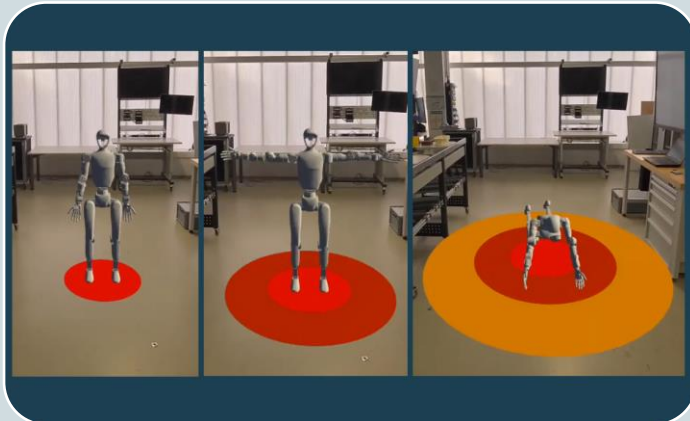
Je nach Bewegungssituation können bei Humanoiden Robotern Kollisionskräfte auftreten, die die in ISO 10218-2:2025 festgelegten Schmerzeintrittsschwellen weit überschreiten. Auch schwerwiegende Verletzungen sind im Einzelfall nicht auszuschließen.

5. Mögliche Maßnahmen zur Risikominderung



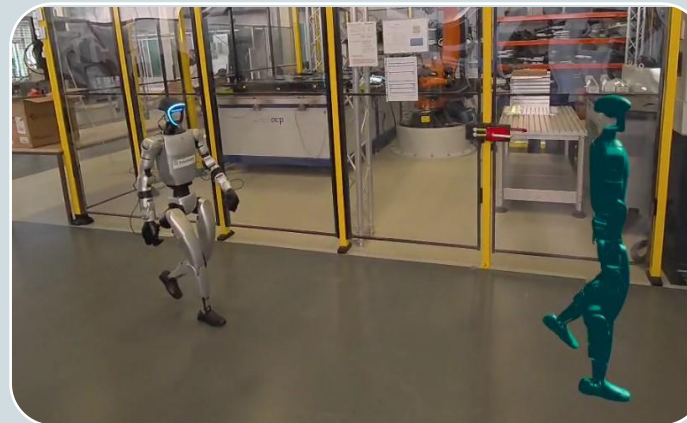
6. XR-Visualisierung

Die Risikobeurteilung kann durch XR-Visualisierungen unterstützt werden. Diese kann aufzeigen, wie sich ein Roboter bei der Erledigung einer Aufgabe bewegen lässt und welche Gefahrenräume um ihn herum existieren.



Sicherheitsräume

Ein Humanoider ist nicht nur eine Gefahr, wenn er steht. Die Visualisierung der Sicherheitsräume hilft dabei, die möglichen Bereiche zu kennzeichnen, in denen ein Humanoider interagieren kann (Gefährdung durch Arme (Mitte) und Fallen (rechts)).



Predictive Movement

Um bei der Einrichtung rechtzeitig potenzielle Kollisionen erkennen zu können und die Wege dementsprechend freizuhalten, können die nächsten Schritte/Positionen des Humanoiden virtuell augmentiert angezeigt werden.

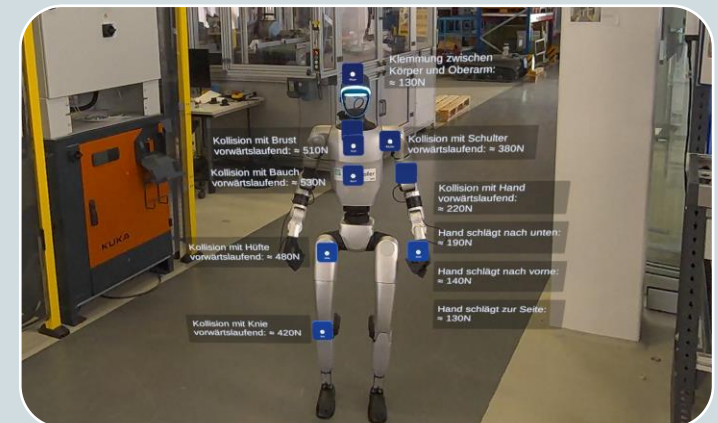


Abb.: Aufnahmen mit der Meta Quest 3

Sicherheitsinformationen

Damit mögliche Risiken und Verletzungsgefahren bei Kollisionen mit den jeweiligen Teilen des Humanoiden besser eingeschätzt werden können, lassen sich die gemessenen Kräfte als holografische Ergänzung direkt am realen Roboter anzeigen.

7. Zusammenfassung



1

Derzeit sind noch keine Normen für Humanoide Roboter verfügbar, was das rechtliche Risiko für Hersteller, Integratoren und Betreiber erhöht. Eine spezielle Norm ist in Arbeit.

2

Beim Einsatz in der Umgebung des Menschen ergeben sich Kollisionsgefahren. Der untersuchte Humanoide Roboter verfügt derzeit über keine zertifizierten Sicherheitseinrichtungen.

3

Bei Kollisionen kann es bereits bei kleinen Humanoiden zu Kräften oberhalb der Schmerzschwelle und dem Risiko von Verletzungen kommen.

4

Um einen Humanoiden dennoch einsetzen zu können, sind eine präzise Risikobeurteilung und die Auswahl sinnvoller, auf den Roboter zugeschnittener Sicherheitsmaßnahmen erforderlich.

5

XR-Visualisierung kann bei der Risikobeurteilung unterstützen, indem Gefahren direkt am Humanoiden Roboter angezeigt werden.

8. Empfehlungen

Empfehlungen an Anwender und Integratoren

Abstände vorsehen, wo ein direkter Kontakt zwischen Mensch und Roboter nicht direkt notwendig ist.

1

Maßnahmen zur Risikominderung (Steuerung, organisatorisch) **kombinieren und konservativ** einrichten – wenn sich dies bewährt, können Regeln ggf. noch einmal anpasst werden.

2

Eine **genaue Risikobeurteilung** ist wichtig! Bei möglichen Kollisionen sollten die **Kräfte und Drücke gemessen** werden, um die Roboterbewegungen entsprechend anzupassen.

3

Alle **Menschen** im Umfeld des Humanoiden müssen über die Risiken **geschult** werden.

4



© KI-generiert mit ChatGPT

Empfehlungen an Hersteller

1

Auslegung von **Software- und KI-gestützten Sicherheitsfunktionen** nach verfügbaren Standards. Nutzung multipler Sensoren und Sensorfusion.

2

Integration der bekannten **Cobot-Sicherheitsfunktionen** z. B. Achsgeschwindigkeiten, TCP-Geschwindigkeit, Kraft- und Arbeitsraumbegrenzung etc.

3

Beachten der neuen Entwicklungen in der Normung, speziell zum »sicheren Zustand« eines Humanoiden.

4

Maßnahmen zur Reaktion auf Unvorhersehbares – im Notfall sollte jeder Mensch **eine Stoppmöglichkeit** erreichen können.

Kontakt

Dr.-Ing. Theo Jacobs
Tel. +49 711 970-1339
theo.jacobs@ipa.fraunhofer.de

Nadine Ferber, M. Sc.
Tel. +49 711 970-1213
nadine.ferber@ipa.fraunhofer.de

Forschungsteam Robotersicherheit und Cobots
Forschungsbereich Automatisierung und Robotik

Fraunhofer IPA
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de/robotsafety



Fraunhofer-Institut für Produktions-
technik und Automatisierung IPA

Gefördert
durch



Baden-Württemberg
Ministerium für Wirtschaft,
Arbeit und Tourismus



Dieser Leitfaden dient als Übersicht über den aktuellen Stand der Technik im Bereich der Sicherheit Humanoider Roboter im September 2025 und ersetzt nicht die eigene Risikobeurteilung und sorgfältige Anwendung von Normen.