



IMPULSPAPIER

Interoperabilität zwischen Robotiksystemen

Das Potenzial großer KI-Modelle

Kurzgefasst

Interoperabilität zwischen Robotiksystemen ist für viele Anwendungsbereiche von zentraler Bedeutung, wenn Teams aus Menschen und Robotern oder eine heterogene Robotergruppe zusammenarbeiten sollen. Ob bei Rettungseinsätzen, in der Landwirtschaft oder der Intralogistik: Systeme mit verschiedenen Fähigkeiten, Schnittstellen und teils geschlossenen Betriebssystemen sollen Informationen austauschen, deren Bedeutung verstehen und ihr Handeln aufeinander abstimmen, um übergeordnete Aufgaben zu erledigen. Interoperabilität stellt hierfür eine passive Grundlage dar, die auf technischer, syntaktischer, semantischer und pragmatischer Ebene umgesetzt werden kann. Bislang wird Interoperabilität vor allem durch Standards für Schnittstellen, Protokolle, Datenformate oder gemeinsame Modelle hergestellt. Diese Lösungen sind jedoch aufwändig, häufig unflexibel und besonders auf semantischer und pragmatischer Ebene schwer umzusetzen. Große KI-Modelle eröffnen hier neue Möglichkeiten.

Entscheidend für das erreichbare Interoperabilitätsniveau ist das Weltwissen, das im KI-Modell repräsentiert ist, und damit die Datengrundlage sowie verfügbare Kontextinformation. Gegenwärtigen Modellen fehlt es jedoch an Aktivitätsdaten und domänenspezifischen Daten. Sie halluzinieren miteinander, verfügen nur über begrenztes Kausalverständnis und können semantische Konzepte wie Objekte, Positionen oder Handlungen noch nicht zuverlässig in hinreichend präzise Angaben für physikalische Modelle übersetzen. Dadurch kann Interoperabilität zeitweise abreißen – mit Risiken für funktionale Sicherheit und Prozesssicherheit. Vielversprechende Perspektiven bieten dagegen künftig zuverlässigere multimodale KI-Modelle, die Fakten in Echtzeit überprüfen und mithilfe von physikalischen Simulationen und Weltmodellen die Folgen von Handlungen besser abschätzen können.

Inhalt

Robotikanwendungen und ihr Bezug zur Interoperabilität.....	3
Ebenen der Interoperabilität.....	5
Konstruierte Interoperabilität.....	6
Interoperabilität durch große KI-Modelle?.....	10
Herausforderungen am Beispiel der Intralogistik.....	17
Fazit und offene Fragen.....	19
Literatur.....	20
Über dieses Impulspapier.....	21

Empfohlene Zitierweise

Beyerer, J., Hinckeldeyn, J., Straube, S. (2026): Interoperabilität zwischen Robotiksystemen – das Potenzial großer KI-Modelle. Impulspapier aus der Plattform Lernende Systeme, München.

DOI: https://doi.org/10.48669/pls_2026-5

Robotikanwendungen und ihr Bezug zur Interoperabilität

In vielen Szenarien – etwa bei Rettungseinsätzen oder der Obsternte – werden realistischerweise mehrere und oft unterschiedliche Robotiksysteme zum Einsatz kommen oder sogar Teams aus Menschen und Robotiksystemen (engl. Human-Robot-Teaming). Solche Robotiksysteme können zum Teil sehr unterschiedlich sein und sind zum Teil mit geschlossenen Betriebssystemen ausgestattet (z. B. Flug- und Bodendrohnen, Fahrzeuge, Greifroboter, Roboterhunde und vieles mehr). Dennoch müssen sie miteinander interagieren, funktional zusammenarbeiten und effektiv kooperieren können, um das jeweilige übergeordnete Ziel zu erreichen, also etwa einen Brand in einer Chemiefabrik zu bekämpfen oder das reife Obst einer Plantage effizient einzubringen (siehe INFO-BOX, Seite 4). Interoperabilität (IO) zwischen den Robotiksystemen ist hierbei ausschlaggebend, und zwar nicht nur, um durch Kommunikation und Datenaustausch, zum Beispiel wechselseitig von Wissen über die Welt oder Gelerntem, zu profitieren, sondern auch, um gemeinsam zu handeln, also zu kooperieren. Dies ist eine große Herausforderung für Forschung und Anwendung.

Daher stellt sich die Frage, wie Interoperabilität hergestellt werden kann und welche Rolle große KI-Modelle dabei spielen können, das heißt Modelle mit hoher Anzahl an Parametern, die auf großen Datenmengen trainiert wurden. Hierbei sind insbesondere große Sprachmodelle zu nennen, aber auch auf logisches Schlussfolgern optimierte Sprachmodelle (engl. Large-Reasoning-Models) und auch multimodale Modelle (sprachlich-visuelle Modelle, engl. Vision-Language-Models, oder Modelle, die Sprache, Sehen und Handeln integrieren, engl. Vision-Language-Action-Models).

Das Impulspapier hat an verschiedenen Stellen Bezüge zur aktuellen Debatte um agentische KI (z. B. Multi-Agenten-Systeme, agentische Systemarchitekturen, API-Nutzung etc.). Es nähert sich der Problemstellung der Handlungsfähigkeit von KI-Systemen allerdings explizit aus der Perspektive der Interoperabilität in der Robotik an, um ein Bewusstsein für die spezifischen Herausforderungen bei der Herstellung von Interoperabilität in diesem Bereich zu schaffen und aufzuzeigen, inwiefern große KI-Modelle Lösungsansätze bieten.

Anwendungsperspektiven

Beispiele für perspektivisch mögliche Anwendungen auf der Basis von Interoperabilität, die durch große KI-Modelle als übergeordnete Instanz hergestellt wird (siehe [Abbildung 1, Seite 14](#)), sind Interaktion, Kooperation und Orchestrierung von Robotiksystemen in Domänen wie:

- **Intralogistik:** Koordination unterschiedlicher autonomer und mobiler Roboter-einheiten in einem Lagerhaus.
- **Landwirtschaft:** Koordinierte Ernte mit Drohnen, die Ansammlungen reifer Äpfel kartieren, sowie Pflückrobotern und autonomen Vehikeln für den Abtransport der Ernte (Sapkota et al., 2026, S. 15).
- **Rettung:** Koordination zwischen Flug- und Bodendrohnen für das Lagebild sowie Kommunikation mit einem Lagezentrum ([↗ Rettungsszenario](#), Plattform Lernende Systeme, 2019).
- **Inspektion:** Roboterhunde und Drohnen könnten sich bei der Inspektion von Gebäuden und Geländen koordinieren.
- **Straßenbau:** Größere autonome Baumaschinen, Drohnen und Bein-basierte Roboter könnten sich selbst koordinieren.

Zukunftsvision

Perspektivisch wäre eine Interaktion denkbar, die nicht mit einzelnen Maschinen oder Robotern stattfindet, sondern mit einem Projekt, einem Einsatz oder einer Unternehmung, welche jeweils eine heterogene Gruppe autonomer Robotiksysteme umfassen. Das heißt, es wäre möglich, mit einem gesamten Projekt so zu sprechen, wie heute mit einem Chatbot gesprochen wird. Aber: Darüber hinaus könnten Nutzende dieses Roboterensemble auch Aktionen ausführen lassen.

Diese könnten sich über den Status einer autonomen Baustelle, eines Lagerhauses oder einer Obsternte informieren oder sich ein komplexes Lagebild einer Gefahrensituation, wie im Fall eines Brandes in einem Chemiewerk, generieren lassen. Und auf der Basis der Informationen könnten Nutzende die Aktivitäten der Robotergruppe steuern oder generierte Entscheidungsoptionen des Systems reflektieren und umsetzen lassen.

Ebenen der Interoperabilität

Interoperabilität (IO) beschreibt „die Fähigkeit von zwei oder mehreren Systemen oder Komponenten, Informationen auszutauschen und die ausgetauschten Informationen weiterzuverwenden“ (Geraci, 1991). Sie kann sowohl auf digitaler Ebene innerhalb eines technischen Systems (z. B. eines Roboters) bedeutend sein als auch auf physischer Ebene, also mit Blick auf den Bezug des Systems zur realen Welt. Interoperabilität ist als anwendungsagnostische und passive Fähigkeit zu verstehen. Das heißt, sie verweist nicht auf die Güte der durch sie ermöglichten Anwendungen (z. B. Interaktion oder Kooperation der Roboter, Orchestrierung der Roboter), sondern bietet lediglich eine Grundlage dafür.

Es können vier Ebenen der Interoperabilität unterschieden werden¹:

1. **Technische IO** bezieht sich auf die grundlegende Fähigkeit, zwischen verschiedenen technischen Systemen Daten zu übertragen. Es geht um die Herstellung der Kompatibilität von Hardware, grundlegenden Kommunikationsschnittstellen, aber auch Netzwerkprotokollen (vgl. USB-Kabel, WLAN, Bluetooth, TCP/IP etc.).
2. **Syntaktische IO** bezieht sich auf passende Datenformate und -strukturen, sodass die übertragenen Daten auch verarbeitet werden können.
3. **Semantische IO** bezieht sich auf das Verständnis der Bedeutung der übertragenen Informationen über alle beteiligten Systeme hinweg. Ein Beispiel wäre die Bedeutung von Sensordaten eines Roboters.
4. **Pragmatische IO** bezieht sich auf das Verständnis der Bedeutung der übermittelten Informationen über den semantischen Gehalt hinaus, das heißt die Konsequenzen, die sich aus der Information ergeben. Bei einem Roboter kann es sich darum handeln, welche Aktionen sich aus den übertragenen Informationen ableiten. Beispiel (fiktives Szenario): Ein autonomer Bagger stößt auf Kabel und erkennt, dass er diese verletzen würde, wenn er fortfährt, daher sendet er die Information an andere Roboter, die in der Lage sind, feinere Abtragungen um die Kabel herum durchzuführen.



„Große KI-Modelle können in eleganter und effizienter Weise dabei helfen, Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Robotersystemen auf semantischem oder gar auf pragmatischem Niveau zu erreichen.“

Prof. Jürgen Beyerer | Geschäftsführender Institutsleiter,
Direktor Fraunhofer-Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Karlsruhe

¹ Die vier Ebenen orientieren sich an der Diskussion zu Ebenen der Interoperabilität, wie sie beispielsweise bei Tolk (2009) und Santos et al. (2021) geführt wird.

Konstruierte Interoperabilität

Interoperabilität wird in der Regel über Standardisierung hergestellt. Das bedeutet oft, dass Ingenieure, Forschende, Entwickelnde, Anwendende et cetera sich in Gremien, wie dem Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) oder der Internationalen Organisation für Normung (ISO), auf Standards einigen. Sie sind manuell durch den Menschen erstellt und können daher als konstruierte Interoperabilität bezeichnet werden.

Beispiele für konstruierte Interoperabilität auf den verschiedenen Ebenen sind:

1. Technische Interoperabilität: Einigung auf elektrische und mechanische Schnittstellen, Steckverbindungen, Flansche, Kommunikationsprotokolle
2. Syntaktische Interoperabilität: Einigung auf Datenformate, Programmiersprachen, Programmierkonventionen (z.B. Extensible Markup Language, XML, JavaScript Object Notation, JSON)
3. Semantische Interoperabilität: Einigung auf ein gemeinsames Verständnis, zum Beispiel mittels Ontologien (Objekte, Attribute, Relationen, ...), semantischer Umweltmodelle und Wissensgraphen bezüglich der gemeinsamen Domäne. Übernimmt ein Roboter beispielsweise eine Fähigkeit oder ein semantisches Weltmodell eines anderen Roboters, wären sie auf semantischer Ebene interoperabel.
4. Pragmatische Interoperabilität: Einigung auf gemeinsame Prädiktionsmodelle, um nach Aktionen gleiche Erwartungen zu haben, was diese in der realen Welt bewirken (Was wird eine bestimmte Aktion in einem bestimmten Kontext bewirken? Welcher Nutzen bzw. Schaden, welche Kosten werden entstehen? Etc.). Wenn Roboter beispielsweise miteinander kooperieren, um gemeinsam ein Problem zu lösen, läge pragmatische Interoperabilität vor.

Konstruierte Interoperabilität in der Robotik

Interoperabilität in der Robotik bezeichnet die Fähigkeit unterschiedlicher robotischer Systeme, **Informationen, Fähigkeiten und Handlungen effektiv auszutauschen und aufeinander abzustimmen**, ohne explizit füreinander entwickelt worden zu sein. Dies unterscheidet sich vom Konzept der Orchestrierung, wie es beispielsweise im Bereich agentischer KI verbreitet ist (z.B. die Orchestrierung von KI-Agenten, Werkzeugen, Datenbanken, Applikationen, APIs etc.). Anders als bei der Orchestrierung agentischer KI ist die Interoperabilität gerade nicht auf die Umsetzung eines durch generative KI erstellten Plans mit konkreten vom Menschen vorgegebenen Zielen ausgerichtet, sie stellt lediglich die Voraussetzungen für diese Anwendung her.

Das Thema der Interoperabilität begleitet die Robotik-Forschung und -Anwendung schon seit Langem. Was sich allerdings – gerade in den letzten Jahren – geändert hat, sind die Technologien. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten, die Herausforderung der Interoperabilität anzugehen.

In der Vergangenheit war konstruierte Interoperabilität in der Robotik stets kostspielig und die Lösungen waren oft wenig flexibel. Es gibt aber durchaus Ebenen, in denen Lösungen gefunden wurden:

- Bei **Hardware** als Teil der technischen Ebene wurden feste und standardisierte Schnittstellen eingeführt, zum Beispiel für Greifer und Docking-Module.
- Für die **Kommunikation** wurden auf technischer und syntaktischer Ebene gemeinsame Datenformate und Übertragungsprotokolle formuliert, beispielsweise via Robot Operating System (ROS) (siehe Tabelle 1). Diese Lösungen sind jedoch einerseits aufwändig und andererseits Gegenstand der Forschung. Zudem fehlt in den Daten eine semantische und pragmatische Ebene.
- Auf **syntaktischer Ebene** wurden mit JSON und XML unter anderem Formate geschaffen, die strukturell gegliedert sind, sodass Maschinen die Daten austauschen können.
- Auf **semantischer Ebene** finden sich Bestrebungen, zum Beispiel bei Industriestandards (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Relevante Standards und Middleware-Lösungen für die Robotik und ihr Bezug zu Ebenen der IO (Auswahl)

	Technische IO	Syntaktische IO	Semantische IO	Pragmatische IO
Robot Operating System 2 (ROS 2): ROS 2 ist der Nachfolger des Standards ROS 1, um Defizite der bestehenden Programmbibliotheken und Werkzeuge zur Erstellung von Roboteranwendungen zu adressieren, u. a. was die Eignung für Multi-Roboter-Systeme, Echtzeitverhalten und Zuverlässigkeit für den industriellen Einsatz angeht. ↗ https://docs.ros.org/	Ja, via DDSI-RTPS	Ja	Nein, bzw. lediglich über Brücken zu AAS und OPC	–
Asset Administration Shell (AAS): Ermöglicht die digitale Darstellung eines Assets, etwa als digitalen Zwilling (z. B. eines Roboters), und kann als interoperable Basis für autonome Systeme und Künstliche Intelligenz fungieren. Sie besteht aus einer Reihe von Teilmodellen, in denen alle Informationen und Funktionalitäten eines bestimmten Assets – einschließlich seiner Merkmale, Eigenschaften, Parameter, Messdaten und Fähigkeiten – beschrieben werden können. Sie ermöglicht die Nutzung verschiedener Kommunikationskanäle und Anwendungen und dient als Bindeglied zwischen Objekten und der vernetzten, digitalen und verteilten Welt. ↗ https://admin-shell-io.com/#get-started	Ja	Ja, via AASX, JSON, XML, RDF	Ja, Produktdaten via ECLASS, IEC CDD	–



	Technische IO	Syntaktische IO	Semantische IO	Pragmatische IO
OPC Unified Architecture (OPC UA): Ein Interoperabilitätsstandard für den sicheren und zuverlässigen Datenaustausch in der industriellen Automatisierung und in anderen Branchen. Er ist plattformunabhängig und gewährleistet einen nahtlosen Informationsfluss zwischen Geräten verschiedener Hersteller. ➤ https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/	Ja	Ja	Ja, via Informationsmodelle, Companion Specifications für Industriedaten; auch für agentische KI optimierte Spezifikationen	–
Model Context Protocol (MCP): Open-Source-Standard für die Anbindung von KI-Anwendungen an externe Systeme (z. B. Datenbanken, APIs, Software-Werkzeuge etc.), z. B. auch an Maschinen via Industriestandards. ➤ https://modelcontextprotocol.io/docs/2026-07-28/getting-started/intro	Ja, via client-server communication via Streamable HTTP, stdio	Ja, via JSON-RPC	Z. T. via Beschreibungen von Werkzeugen oder Metadaten	–
VDA 5050: Universell anwendbare Schnittstelle für die Kommunikation zwischen Leitständen und fahrerlosen Transportsystemen. ➤ https://www.vda.de/de/themen/automobilindustrie/vda-5050	Ja, via Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)	Ja, via JSON	Im Transportkontext: Definition von Roboternetzwerk (Knoten, Kanten), Aktionen, Fehler und Zustand	–
M2X: Standardisierte Schnittstellen für fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) und deren Umgebung. Ziel: Interaktionen zwischen FTF und Umgebungssystemen wie Lagerverwaltungs- oder ERP-Systemen sowie mit Peripheriegeräten wie Türen, Aufzügen oder Ladestationen zu standardisieren. ➤ https://m2x-project.github.io/m2x/	Ja, via Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)	Ja, via JSON	Zustandsmodelle für Übergabe, Andocken, Laden	–
MassRobotics: Ermöglicht es autonomen mobilen Robotern (AMRs) verschiedener Hersteller, ihre Fähigkeiten sowie grundlegende Informationen wie ihren Standort und ihre aktuellen Aktivitäten miteinander zu teilen. ➤ https://www.massrobotics.org/what-is-the-massrobotics-amr-interoperability-standard/	Ja, via Datentransmission via WebSocket	Ja, via JSON	Fokus auf Statusinformationen: Position, Geschwindigkeit, Richtung, Zustand, Verfügbarkeit	–

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis der angegebenen URLs sowie von Fraunhofer IOSB (2025), Liao (2020) und OPC Foundation (2026).



„Interoperabilität zwischen Robotern ist ein entscheidender Zukunftsbaustein, der die praktische Nutzung und das Zusammenspiel vielfältiger Robotiksysteme nachhaltig voranbringen wird. Die Forschung entwickelt bereits vielversprechende Projekte und Konzepte – nun gilt es, diese gemeinsam in marktfähige und anwendungsnahe Lösungen zu überführen. Dafür braucht es einen starken Schulterschluss zwischen Anwendern, Robotikherstellern und Forschung, um die Robotik gemeinsam auf das nächste Entwicklungsniveau zu heben.“

Dr. Johannes Hinckeldeyn | Director of
Advanced Core Technologies, Global Technology Strategy,
Central Technology Organization, KION Group

Herausforderungen konstruierter Interoperabilität in der Robotik

Die Herstellung von Interoperabilität über Standards bringt entsprechend eine Reihe von Herausforderungen mit sich:

- Standardisierung stützt gemeinsame Schnittstellen, ist aber durch starre Definitionen oftmals zu unflexibel für sich verändernde Anforderungen. Der Aufwand für semantische und pragmatische IO mittels formaler Standards ist enorm hoch. Dies liegt unter anderem an der nötigen Genauigkeit und Detailtiefe sowie den Kombinationsmöglichkeiten realer Sachverhalte.
- Erstellung, Pflege und Anpassung von standardisierten Lösungen sind sehr aufwändig.
- Fehlen von Informationen, um Interoperabilität auf anderen Ebenen herzustellen (z. B. semantische und pragmatische IO).
- Nicht alle Standards sind offen, sondern oft wird aus wirtschaftlichen Motiven heraus auf proprietäre Lösungen gesetzt, was der Interoperabilität abträglich ist.

Anmerkung: Durch verbesserte Fähigkeiten im Bereich Programmierung und Schlussfolgern bergen große Sprachmodelle ebenfalls großes Potenzial bei der Unterstützung des Menschen in der Konstruktion von Standards für Interoperabilität, etwa bei der Erstellung von Schnittstellen, Ontologien und Wissensgraphen. Dies verspricht unter anderem eine Reduktion des Aufwandes sowie die Approximation fehlender Informationen für die Erstellung und Pflege solcher Standards in der Robotik, aber auch im Allgemeinen. Im Folgenden sollen jedoch große KI-Modelle selbst als Ansatz zur Herstellung von Interoperabilität im Mittelpunkt stehen.

Interoperabilität durch große KI-Modelle?

Wie oben gezeigt, konnte konstruierte Interoperabilität in der Robotik trotz der Herausforderungen auf technischer und syntaktischer Ebene durchaus erfolgreich hergestellt werden. Auf semantischer und pragmatischer Ebene war dies dagegen bisher sehr schwierig zu realisieren, gerade bei gemeinsamen Handlungen und Fähigkeiten von Robotern. Mit großen KI-Modellen, wie etwa großen Sprachmodellen (engl. Large Language Model, LLM), erschließen sich für diese zwei Ebenen allerdings nun neue Möglichkeiten. Mindestens zwei Lösungsoptionen sind hierbei denkbar.

Lösungsoption 1: Große KI-Modelle als übergeordnete Instanz

Große KI-Modelle können als eine Art übergeordnete, intelligente, maschinelle Instanz eingesetzt werden. Werden große KI-Modelle so als „Intermediär“ oder „Dolmetscher“ genutzt, müssen die verschiedenen technischen Systeme nicht angeglichen werden. Vielmehr bieten große KI-Modelle die Möglichkeit, auch ungenaue und ungefähre Beschreibungen richtig zu interpretieren und zu verarbeiten, denn Beschreibungen in natürlicher Sprache sind in der Regel bereits mit Ungenauigkeiten und Unschärfen behaftet. Strenge Eigenschaften von Standards (siehe oben u. a. Genauigkeit etc.) wären nicht mehr im selben Maße nötig, flexiblere Lösungen greifbar.

Lösungsoption 2: Große KI-Modelle zur Verständigung zwischen eingebetteten KI-Modellen

Eine alternative Architektur zur beschriebenen Herstellung von Interoperabilität zwischen Robotiksystemen durch ein großes KI-Modell als übergeordnete, übersetzende Instanz (siehe [Abbildung 1, Seite 14](#)) besteht darin, den KI-Modellen selbst neue Fähigkeiten zur Interoperabilität zu ermöglichen, sodass diese sich zuverlässig mit anderen Modellen austauschen können. Folglich könnten sich auch Robotiksysteme verständigen, in die solche Modelle eingebettet sind (siehe [Abbildung 2, Seite 15](#)).

Da Option 1, „Großes KI-Modell als übergeordnete Instanz“, eine gewisse Konsistenz und Robustheit ermöglicht und derzeit näher an der Realisierung liegt als Option 2 der sich verständigenden, eingebetteten KI-Modelle, wird im Folgenden das Hauptaugenmerk auf erstere Variante gelegt. Mit der künftigen Entwicklung von KI-Modellen, die in der physischen Welt verankert sind (Grounding, Weltmodelle) und ein sicheres Operieren der Robotiksysteme ermöglichen, wird auch Option 2 eine immer größere Rolle spielen.

Potenzial und Limitation von großen Sprachmodellen

Auf semantischer Ebene sind bestimmte Begriffe wie „greifen“, „Position“, „Objekt“ nicht eindeutig definiert. Wenn ein Roboter A nicht weiß, wie Roboter B solche Begriffe bzw. Konzepte repräsentiert, ist manuell hoher Aufwand nötig. Zwar bieten große Sprachmodelle heute schon die Möglichkeit, implizit die Semantik solcher Konzepte abzubilden, dennoch bleibt die Frage, wie ein gemeinsames Bedeutungsverständnis zwischen den Robotern entstehen kann.

Bevor es große Sprachmodelle gab, wurden hierfür Ontologien genutzt. Die Entwicklung solcher Ontologien ist jedoch mit einem hohen manuellen Aufwand verbunden. Die Kopplung wurde sehr stark durch den Menschen hergestellt und standardisiert, mit dem Ergebnis, dass die Ontologien wiederum unflexibel und in ihrer Einsatzmöglichkeit begrenzt waren.

Diese Situation hat sich durch das Potenzial von großen Sprachmodellen verändert. Bisher ist es jedoch noch sehr schwierig, die semantische Ebene der Sprachmodelle tatsächlich in physische Modelle zu überführen. Über die semantische Ebene wird es zusätzlich möglich, von der Interoperabilität auf Verhaltensebene (Transportiere „Objekt“ von A nach B) auch auf die Ebene von Intentionen zu gelangen („Roboter mit Ziel/Aufgabe X wird als Nächstes folgendes Y tun“). Dies war in der Vergangenheit nahezu unmöglich und scheint nun zumindest in eingeschränkten Domänen umsetzbar zu sein, wenn auf semantischer Ebene ein Sprachmodell mit einem Weltmodell (inkl. der physischen Welt), also einem Modell, in dem unter anderem physikalische Gegebenheiten der Welt repräsentiert sind, verbunden werden kann. In der Forschung werden Sprachmodelle bereits heute mit Simulatoren und Weltmodellen gekoppelt, um physikalisches Wissen zu integrieren.



„Roboter können im Verbund komplexe Handlungsstränge oder Missionen abarbeiten, wenn sie in der Lage sind, zuverlässig physisch zu interagieren, Informationen auszutauschen und zu interpretieren. Der Kern der Herausforderung liegt oft in der Autonomie und dem Weltmodell der Systeme. Heutige große generative KI-Modelle können hier Lücken schließen und Roboter koordinieren, durch zukünftige Modelle könnten sich sogar neue Formen von Interoperabilität etablieren.“

Dr. Sirko Straube | Forschungsbereichsmanager
Emergency Response and Recovery Management,
Robotics Innovation Center, DFKI GmbH

Große KI-Modelle und Repräsentationen von Weltwissen

Große Sprachmodelle, beziehungsweise generell große generative KI-Modelle (GPT-Reihe, Mistral etc.) sowie Large Reasoning Models, also große Sprachmodelle, die zusätzlich für das Schlussfolgern (Reasoning) optimiert werden, haben eine Reihe von Fähigkeiten, die im Kontext von Robotiksystemen vielversprechend sind. Sie können:

- Abfragbares Weltwissen repräsentieren (auf semantischem und pragmatischem Niveau).
- Viele Informationen über die Einheiten einer heterogenen Robotergruppe einbeziehen, etwa weil diese Teile der Trainingsdaten waren oder durch eine Datenbankanbindung (siehe Retrieval-Augmented Generation, RAG). Solche Informationen können unter anderem sein:

- Statisch: Pläne, Dimensionen, Datenblätter, Eigenschaften, Schnittstellen, Instruktionen, Code, ...
- Dynamisch: Kontext, Aufgaben, Missionen, aktueller Zustand (Zustandsvariablen)
- Sprache der Roboter
- Fähigkeitsspektrum der Roboter
- Verfügbares freies Wissen über die Roboter
- Kontextinformationen für den Einsatz (z. B. semantische Karten)
- Proprietäre Daten und Modelle (z. B. kinematisches Modell der Roboter), die auf lokaler Ebene eingebunden werden können, um etwa Geschäftsgeheimnisse zu wahren
- oERP-/WMS-Systeme: Enterprise-Resource-Planning- und Warehouse-Management-Systeme bilden das operative Rückgrat industrieller Robotikeinsätze. Sie definieren Aufträge, Lagerstrukturen und Prozesskontexte, auf deren Basis Robotiksysteme agieren. Die Integration über standardisierte APIs (z. B. OData, REST) oder Protokolle wie MCP ermöglicht den Zugriff auf Auftragsdaten, Bestandsinformationen und Prozesszustände in Echtzeit (siehe Tabelle 1) (Blumhofer et al., 2025; Technische Universität München, 2026; Xie et al., 2018).

- mit dem Roboter in seiner Sprache sprechen (Instruktionsfolgen).
- Codes von Robotern ändern bzw. generieren (Umprogrammieren). So können aktuelle große KI-Modelle auch Programmcodes erstellen, sodass sie beispielsweise auch in der Lage sind, Programmierbibliotheken für Standards wie ROS 2 als Werkzeug zu nutzen.

Hieraus ergibt sich eine Reihe von neuen Chancen für die Mensch-Maschine- sowie für die Roboter-Roboter-Kommunikation und darüber hinaus:

- „Übersetzung“ einer frei formulierten Anweisung in die formale „Eingabesprache“ des Systems bzw. Ergebnismeldungen in natürlicher Sprache.
- Beispiel, Kommunikation mit Industriemaschinen (Projekt LLM4OPC, Fraunhofer IOSB, 2025): Große Sprachmodelle können Daten von Maschinen auslesen, Zustände erläutern und unter Abnahme durch den Menschen auch Aktionen ausführen lassen. Dies basiert auf einer Verbindung von großen Sprachmodellen, die via Model Context Protocol mit den Industriestandards OPC UA und Asset Administration Shells verbunden werden (siehe Tabelle 1).

Über die Herstellung von IO hinaus gehen folgende Punkte, die mit einer eigenständigen Leistung großer KI-Modelle verbunden sind:

- Zerlegung einer Missionsvorgabe in Teilaufgaben und Missionsplanung
- Anpassung und Optimierung durch Selbstprogrammierung (Code-Generierung) und Rekonfiguration

INFO-BOX

Experiment autonome Inspektion

Unter den genannten Bedingungen wurde am Fraunhofer IOSB mit einem Spot-Roboterhund ein Freifeldversuch durchgeführt. Der Roboter war mit einem großen Sprachmodell sowie einem Umweltmodell eines Geländes ausgestattet. Er konnte einen abstrakten Befehl (siehe Prompt) ausführen, sodass er durch das Gelände navigierte und verschiedene Aufgaben erledigte. Auf Basis des Prompts konnte der Roboterhund das Gelände entsprechend der Instruktion ablaufen. Dabei wurde nur auf das vorhandene Fähigkeitsspektrum der Roboter zugegriffen.

Prompt: „Besuche das Manometer eins und zwei. Beginne mit Manometer eins. Navigiere schließlich zur Ladestation.“

Der Versuch demonstrierte, dass das KI-Modell eine in natürlicher Sprache formulierte Aufgabe selbständig in ausführbare Teilaufgaben zerlegte, die Missionsplanung übernahm, die Roboter instruierte und die Mission ohne weiteres menschliches Zutun erledigt wurde. Das KI-Modell wusste die vorhandenen Fähigkeiten des Robotertyps selbständig zu nutzen. Ein zusätzliches Nachtrainieren des KI-Modells war nicht erforderlich.

Mensch instruiert Roboterensemble über ein großes Sprachmodell (Lösungsoption 1)

Auf dieser Grundlage lässt sich eine allgemeine Systemarchitektur beschreiben. Ein Mensch kann ein Ensemble von Robotern instruieren oder sich über den Status quo des Ensembles informieren lassen.

Das große KI-Modell:

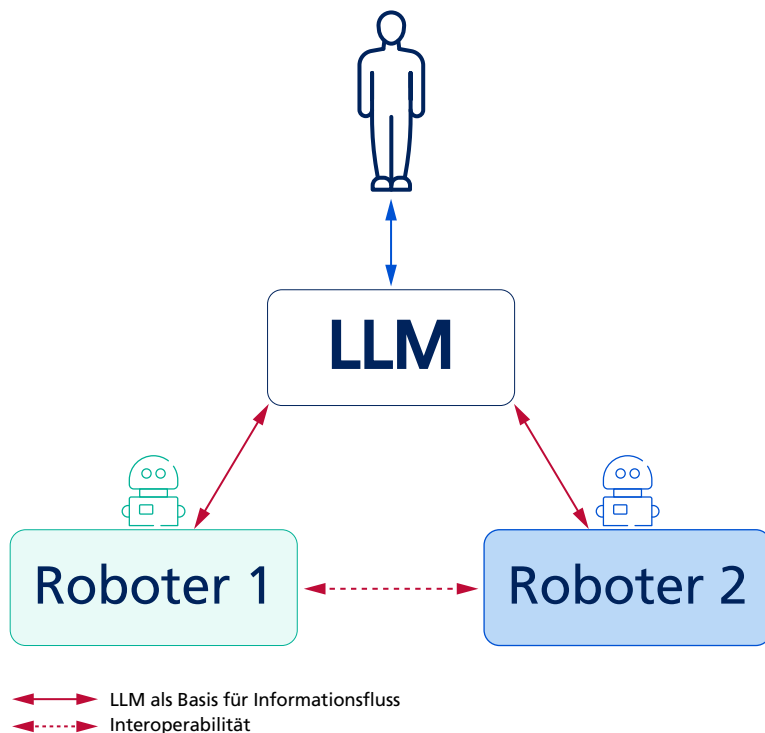
- kennt alle technischen Daten u. a. der Roboter,
- kann diese über ihre Schnittstellen mit den passenden Instruktionen befehligen und
- kann mit den Robotern in ihrer jeweiligen Sprache sprechen,
- kann Codes der Roboter ändern,
- kennt Kontext, Aufgabe, Zustände, relevante Umwelt und so weiter und
- hat Weltwissen auf einem gewissen Niveau.

These: Interoperabilität wird auf dem Niveau, auf dem dieses Weltwissen repräsentiert ist, hergestellt.

Aus dieser These folgt auch, dass ein höheres Interoperabilitätsniveau zum Beispiel durch erneutes Trainieren oder Fine Tuning des bestehenden übergeordneten KI-Modells erreicht werden kann. Die Grundlage hierfür können neue Trainingsdaten sein, die auf Fällen (z.B. Situationen, Edge Cases) beruhen, mit denen die Roboter konfrontiert sind. Dieser Ansatz skaliert jedoch noch nicht.



Abbildung 1: Hierarchische Architektur zwischen KI-Modellen und Robotern



Quelle: Eigene Abbildung.

Ein großes KI-Modell dient als übergeordnete Instanz und als „Übersetzer“ zwischen den Robotern. In dieser Illustration ist vereinfachend ein großes Sprachmodell (Large-Language-Model, LLM) als Beispiel für ein großes KI-Modell dargestellt; auch ein anderes Modell, etwa ein multimodales Modell (z. B. ein Vision-Language-Modell), wäre möglich.

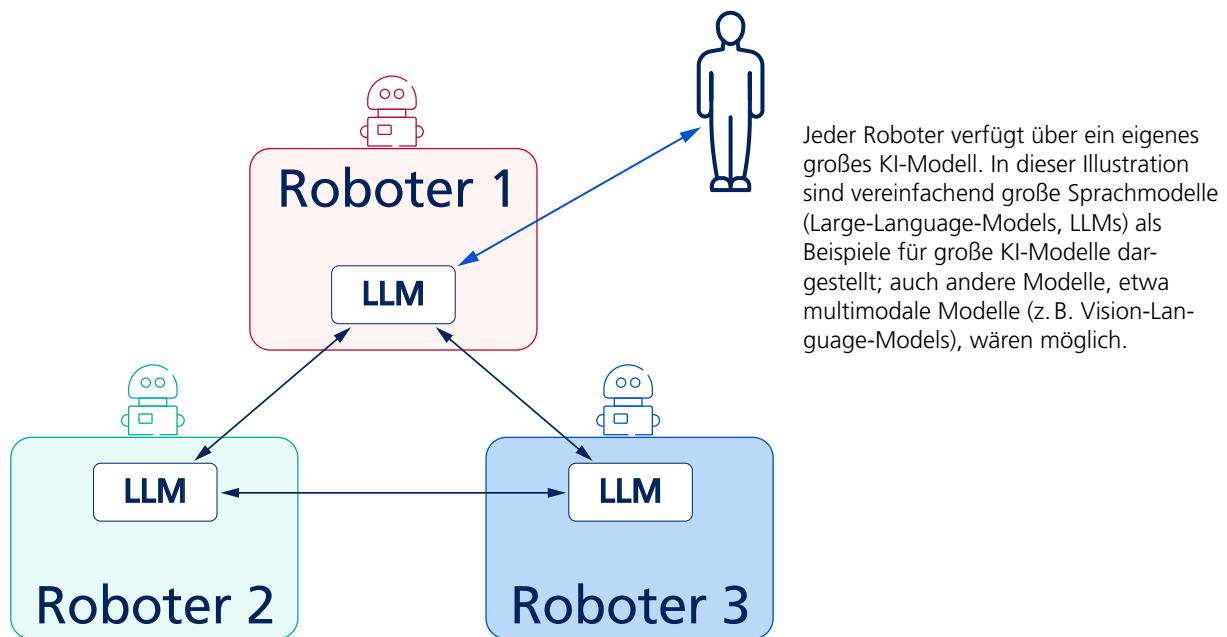
Roboterensemble mit eingebetteten großen KI-Modellen (Lösungsoption 2)

Ein Mensch könnte auch eine Aufgabe an ein Roboterensemble übertragen, in dem jeder einzelne Roboter über ein eigenes großes KI-Modell verfügt (siehe Abbildung 2). In diesem Fall müssten sich die Roboter allerdings über ein gemeinsames Weltwissen verständigen oder spezifischer über das gemeinsame Verständnis der erhaltenen Aufgabe. Dieses gemeinsame Verständnis würde die Gruppe von Robotern erst in die Lage versetzen, erfolgreich interagieren und kooperieren zu können, um die Aufgabe zu bewältigen.

Es ist allerdings nicht abschließend geklärt, wie Standards für semantische und pragmatische IO auf geeignete Weise realisiert werden können, sodass immer flexiblere KI-Modelle in der Lage sind, zuverlässig miteinander zu operieren. Weiterhin skaliert dieser Ansatz gegenwärtig noch nicht, weil die Überführung der semantischen Ebene in physikalische Modelle noch schwierig ist. Semantische Konzepte sind unter anderem häufig mehrdeutig, unvollständig und zu unspezifisch, um hinreichend präzise Angaben für physikalische Modelle zu erreichen. Die KI-Modelle der einzelnen Roboter im Ensemble müssten für jeden Fall (z. B. Situation, Edge Case etc.), mit dem die Roboter konfrontiert sind, mit neuen Trainingsdaten erneut maschinell trainiert werden.



Abbildung 2: Egalitäre Architektur zwischen in Robotern integrierten KI-Modellen



Quelle: Eigene Abbildung.

Schlussfolgerungen

Aus den vorangegangenen Überlegungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Je umfangreicher und besser die Datengrundlage (inkl. Domänendaten und Datenblättern verschiedener Robotertypen) und damit das große KI-Modell, desto:

- mehr Weltwissen ist im Modell enkodiert,
- höhere Ebenen der Interoperabilität sind mit dem Modell als „übersetzende Instanz“ umsetzbar,
- höher das mögliche Interoperabilitätsniveau zwischen den Robotern.

2. Zusätzlich kann jedem Modell (nach dem Training) weiteres Weltwissen als Kontext zur Verfügung gestellt werden, etwa für einen konkreten Einsatz (z. B. Karten, Datenblätter etc.).

3. Je besser das Modell (1) und die Kontextinformation (2), desto seltener wird die Interoperabilität „abreißen“ (z. B. aufgrund von Halluzinationen, mangelndem Kausalverständnis etc.; s. u.):

- a) Semantische Interoperabilität: weniger Fehler in der Interpretation von Semantiken der übertragenen Informationen.
- b) Pragmatische Interoperabilität: weniger Fehler beim Schließen auf mögliche Konsequenzen einer Handlung jenseits der Semantik der übertragenen Informationen. Um auf Konsequenzen zu schließen und dabei Fehler zu vermeiden, sind zuverlässige Prädiktionsmodelle nötig, die einen kurzen Blick in mögliche Zukünfte (z.B. einige Sekunden oder Minuten) erlauben.

Treten solche Fehler (siehe a und b) auf, wirft dies auch die Frage nach einer möglichst schnellen Wiederherstellung der Interoperabilität auf.

4. Je höher das Interoperabilitätsniveau, desto höher das Potenzial für erfolgreiche Interaktion und Kooperation zwischen den Robotern. Ob das Potenzial ausgeschöpft werden kann, liegt wiederum nicht an der Interoperabilität, sondern an anderen Faktoren, wie zum Beispiel den Fähigkeiten der einzelnen Roboter. Interoperabilität ist insofern Voraussetzung für mögliche Anwendungen, die Aufgaben lösen, hat aber keinen Einfluss auf die Güte der Aufgabenerfüllung.

Aber: Wenn die Güte eines Modells so hoch ist, dass es ohne Fehlübertragungen Interoperabilität auf pragmatischem Level herstellen kann, dann können auch Anwendungen konzipiert werden, die auf dieser Basis Aufgaben lösen und gegebenenfalls dadurch besser lösen können als Anwendungen, die lediglich auf der Basis von semantischer Interoperabilität alleine konzipiert sind.

Da gegenwärtige große Sprachmodelle noch immer mit Halluzinationen, mangelndem Kausalverständnis et cetera einhergehen, verbleibt eine Restwahrscheinlichkeit, dass die Interoperabilität auf semantischer und pragmatischer Ebene (temporär) „abreißt“. Das bedeutet unter anderem, dass in einem Ensemble aus Mensch und Robotiksystemen Instruktionen eines Menschen oder rückfließende Daten aus den Robotiksystemen auch missinterpretiert werden könnten. Dies führt insbesondere für Domänen mit strengen Anforderungen wie dem Gesundheitswesen, Energiesystemen oder der Intralogistik zu Herausforderungen. Im Folgenden wird dies anhand des Beispiels der Intralogistik dargestellt.

Herausforderungen am Beispiel der Intralogistik

Die Herausforderungen lassen sich besonders in Fällen, die hohe Anforderungen stellen, veranschaulichen. Daher wird im Folgenden die Intralogistik herangezogen, um einige besonders essenzielle Herausforderungen zu illustrieren. Weltmodelle und auch große Sprachmodelle (sowie ihre Kombination) sind sehr relevant für die Robotik in der Intralogistik. Gerade bei der Inbetriebnahme von robotischen Systemen, bei der Entwicklung oder bei der Wahrnehmung ergeben sich große Potenziale. Das synchrone Erkennen gleicher Objekte und das damit verbundene Ausführen von Operationen über unterschiedliche Roboter hinweg ist bedeutend für die Intralogistik. Es kann ein zukünftiger Schritt in Richtung mehr Autonomie sein. Allerdings gibt es hierbei noch hohe Hürden:

- **Funktionale Sicherheit (Safety):** Vollautomatisierte Lagerhäuser (Dark Warehouses) sind noch keine Realität. In Europa werden autonome, robotische Systeme bzw. Fahrzeuge auf absehbare Zeit neben Menschen eingesetzt werden. Die Interaktion mit dem Menschen ist entsprechend zentral und somit sind besondere Sicherheitsanforderungen einzuhalten, die mit heutigen probabilistischen (Sprach-)Modellen nicht gewährleistet werden können (u. a. wegen unzuverlässiger Ausgaben, mangelndem Kausalverständnis und Grounding, d. h. mangelnder Verankerung in der faktischen Welt). Auch aus diesem Grund agieren autonome Systeme im Vergleich zum Menschen immer noch mit unterlegener Geschwindigkeit. Die Restwahrscheinlichkeit bei aktuellen KI-Modellen, dass die Interoperabilität „abreißt“, stellt gerade für die funktionale Sicherheit in der Mensch-Maschine-Interaktion eine Herausforderung dar.
- **Prozesssicherheit:** Die Prozesssicherheit von probabilistischen Modellen ist für das notwendige Niveau in der Logistik nicht gegeben. Aufgrund der großen Skalen in der Logistik können bereits geringe Fehlerquoten ($< 1\%$) in der Interoperabilität zu erheblichen Prozessstörungen führen, welche für den Kunden erhebliche Auswirkungen haben können. Gerade bei großen Sprachmodellen, die nach wie vor fehlerhafte Ausgaben – sogenannte Halluzinationen – produzieren können, ergeben sich entsprechende Risiken für die Prozesssicherheit. Durch den Menschen hergestellte, deterministische Lösungen sind in diesem Fall zwar aufwändiger, aber auch robuster und weisen geringere Fehlerquoten auf.
- **Trainingsdaten:** Für die Intralogistik gibt es nur eine geringe Verfügbarkeit von domänenspezifischen Trainingsdaten, auch deshalb ist der Anteil solcher spezifischen Daten bei existierenden Modellen gering. Diese Trainingsdaten sind oftmals nur schwer oder gar nicht zugänglich. Dies behindert das entsprechende Training von Modellen, die leistungsfähig genug sind, um semantische und pragmatische Interoperabilität mit akzeptablen Unsicherheiten zu ermöglichen. Es ist eine Herausforderung für Intralogistik, entsprechend skalierende Datensätze zu erzeugen. Allerdings können Ansätze mit Hilfe von Simulation vielversprechend sein, um dieser Herausforderung zu begegnen.
- **Fehlende Backend-Integration als Interoperabilitätslücke:** In industriellen Umgebungen werden Auftrag, Ziel und Priorität einer Robotermission nicht vom Roboter selbst definiert, sondern durch vorgelagerte Enterprise-Resource-Planning-

(ERP) oder Warehouse-Management-Systeme (WMS). Diese Systeme tragen die pragmatische Semantik der Aufgabe – warum ein Objekt von A nach B transportiert werden soll. Große KI-Modelle, die als übergeordnete Instanz (Lösungsoption 1) eingesetzt werden, müssen daher nicht nur die technischen Fähigkeiten der Robotiksysteme kennen, sondern auch auf diesen betrieblichen Kontext zugreifen können. Standardisierte Protokolle wie MCP (siehe Tabelle 1) eröffnen hier neue Integrationswege – ihre Nutzung ist eine Voraussetzung dafür, dass Interoperabilität auch auf pragmatischer Ebene zuverlässig gelingen kann.

Fazit und offene Fragen

Es wird deutlich, dass die Potenziale großer KI-Modelle zur Herstellung von Interoperabilität zwischen Robotiksystemen nicht für jede Domäne im gleichen Maße ausschöpfbar sind. Gerade in Domänen, in denen eine hohe funktionale Sicherheit und Prozesssicherheit mit einem Mangel an einschlägigen Daten einhergehen, verbleiben aktuell große Herausforderungen für den Einsatz in der Anwendung.

Für viele der angesprochenen Herausforderungen deuten sich für die Zukunft allerdings Lösungsoptionen an, wenn zuverlässige große, multimodale KI-Modelle entwickelt werden, die weniger halluzinieren, weil sie zum Beispiel über RAG-Systeme in Echtzeit Fakten abgleichen und überprüfen und sich das Kausalverständnis verbessert, wenn die Modelle auf physikalisch exakte Simulations- und Weltmodelle zugreifen. Auch hybride Architekturen aus großen KI-Modellen und manuell erstellten Standards für Interoperabilität können Lösungsoptionen sein (➔ [KI-Kompakt Hybride KI](#), Plattform Lernende Systeme, 2023).

Im Besonderen bedürfen folgende Fragestellungen der näheren Klärung, um das Potenzial großer KI-Modelle für die Herstellung von Interoperabilität zwischen Robotiksystemen sowie Teams aus Menschen und Robotern auszuschöpfen:

- Wie kann das Kausalverständnis großer KI-Modelle erhöht werden? Wie können physikalische Simulatoren mit Sprachmodellen gekoppelt werden, um pragmatische Interoperabilität herzustellen?
- Wie kann die Zuverlässigkeit der Modelle so erhöht werden, dass sie auch in Domänen mit hohen Anforderungen für die Herstellung von Interoperabilität genutzt werden können?
- Wie versorgt man große KI-Modelle, insbesondere große Sprachmodelle, mit ausreichend umfassendem Wissen über die Roboter?
- Wenn probabilistische Modelle als zentrale Instanz für die Herstellung von Interoperabilität eingezogen werden, welche Möglichkeiten der Absicherung gibt es dann, um Safety-Normen zu entsprechen und zu verhindern, dass ein Single-Point-of-Failure entsteht (z. B. aufgrund von Ausfällen oder unzureichenden Latenzzeiten)?
- Wie können große KI-Modelle gestaltet werden, sodass sie, eingebettet in Robotiksysteme, zuverlässig miteinander operieren können?
- Wie lassen sich Echtzeitfähigkeit und Ressourcenbeschränkungen mit Sprachmodellgestützter Interoperabilität vereinbaren?
- Wie können große KI-Modelle zur Unterstützung der Erstellung von Standards für die höheren Ebenen der Interoperabilität genutzt werden?
- Wie sollen große KI-Modelle und ihre Ausgaben im Kontext der Herstellung von Interoperabilität konkret in bestehende Standards (siehe Tabelle 1) eingebettet werden?
- Wie erhalten wir die nötigen Datenmengen für das Training großer KI-Modelle?
- Wie kann semantische und pragmatische Interoperabilität standardisiert werden, wenn sie auf probabilistischen Sprachmodellen basiert?
- Wie können große KI-Modelle gestaltet werden, damit sie ein möglichst hohes Interoperabilitätsniveau für Robotiksysteme erreichen und in Echtzeit aufrechterhalten können?
- Wie kann die Forschung zu Robotik und agentischer KI noch besser verzahnt werden?

Literatur

Blumhofer, B., Richard, P., Legler, T. & Ruskowski, M. (2025): Enhancing flexibility in intralogistics 4.0 by using Services, Capabilities, and Skills. *Procedia Computer Science*, 253, 2377–2388.

➤ <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.298>

Fraunhofer IOSB (2025): LLM4OPC – in natürlicher Sprache mit Industriemaschinen kommunizieren.

➤ <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/projekte-produkte/llm4opc-in-natuerlicher-sprache-mit-industriemaschinen-kommunizieren.html>

Geraci, A. (1991): IEEE standard computer dictionary: Compilation of IEEE standard computer glossaries. IEEE Press.

Liao, L. (2020): Autonome Systeme Roboter-Betriebssysteme: ROS2 bündelt Schwächen aus. Fraunhofer IKS.

➤ <https://safe-intelligence.fraunhofer.de/artikel/autonome-systeme-ros2>

OPC Foundation (2026): OPC Foundation Advances OPC UA for the AI Era with Companion Specifications Optimized for Agentic AI [Pressemitteilung]. ➤ <https://opcfoundation.org/news/press-releases/opc-foundation-advances-opc-ua-for-the-ai-era-with-companion-specifications-optimized-for-agentic-ai/>

Plattform Lernende Systeme (2019): Anwendungsszenario. Schnelle Hilfe beim Rettungseinsatz.

➤ <https://www.plattform-lernende-systeme.de/anwendungsszenario-rettungseinsatz.html>

Plattform Lernende Systeme (Hrsg.) (2023): Hybride KI. Wissen und Daten kombiniert nutzen.

➤ https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/KI_Kompakt/PLS_KI_Kompakt_Hybride_KI.pdf

Santos, K. S. S., Pinheiro, L. B. L. & Maciel, R. S. P. (2021): Interoperability Types Classifications: A Tertiary Study. In R. D. Araújo (Hrsg.), *ACM Digital Library, XVII Brazilian Symposium on Information Systems* (S. 1–8). Association for Computing Machinery. ➤ <https://doi.org/10.1145/3466933.3466952>

Sapkota, R., Roumeliotis, K. I. & Karkee, M. (2026): AI Agents vs. Agentic AI: A Conceptual taxonomy, applications and challenges. *Information Fusion*, 126, 103599. ➤ <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2025.103599>

Technische Universität München (2026): TUM AVS Lab and SAP Launch Applied Research Project on Cognitive Robotics and Embodied AI. ➤ <https://www.mos.ed.tum.de/en/avs/news/article/tum-avs-lab-und-sap-starten-gemeinsames-forschungsprojekt-zu-cognitive-robotics-und-embodied-ai/>

Tolk, A. (2009): Composable Mission Spaces and M&S Repositories – Applicability of Open Standards.

In *Spring Simulation Interoperability Workshop 2004: Arlington, Virginia, USA, 18–23 April 2004* (S. 55–69). Curran.

Xie, L., Li, H. & Thieme, N. (2018): From Simulation to Real-World Robotic Mobile Fulfillment Systems.

➤ https://doi.org/10.23773/2019_9

Über dieses Impulspapier

Die Autoren des Impulspapiers sind Mitglieder der Arbeitsgruppe „Lernfähige Robotiksysteme“ sowie der Arbeitsgruppe „Technologische Wegbereiter und Data Science“ der Plattform Lernende Systeme.

Unter den insgesamt sieben Arbeitsgruppen der Plattform widmet sich die Arbeitsgruppe „Lernfähige Robotiksysteme“ dem Nutzen und dem Potenzial von lernfähigen Robotiksystemen für Wirtschaft und Gesellschaft. Sie thematisiert Voraussetzungen, Herausforderungen und Kontrollmöglichkeiten solcher Systeme und skizziert mögliche Geschäftsmodelle. Die Arbeitsgruppe „Technologische Wegbereiter und Data Science“ thematisiert Fragen zu KI-Forschungsfeldern und Potenzialen von KI-Technologien sowie zu Ausbildung von KI-Talenten und Transfer in die Anwendung.

Autoren

Prof. Dr. Jürgen Beyerer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

Dr. Johannes Hinckeldeyn, KION Group

Dr. Sirko Straube, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

Redaktion

Dr. Maximilian Hösl, stellv. Leiter der Geschäftsstelle der Plattform Lernende Systeme
Daniel Wagner, Geschäftsstelle Plattform Lernende Systeme

Redaktionelle Mitarbeit

Oskar Halser, Geschäftsstelle Plattform Lernende Systeme

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Impressum

Herausgeber

Lernende Systeme –
Die Plattform für Künstliche Intelligenz
Geschäftsstelle | c/o acatech
Karolinenplatz 4 | 80333 München
➔ www.plattform-lernende-systeme.de

Gestaltung

PRpetuum GmbH, München

Stand

Oktober 2026

Bildnachweis

Eigene Darstellung basierend auf iStock, DrAfter123 und
edeos – digital education GmbH / Titel
KIT – Karlsruher Institut für Technologie / S. 5
KION Group / S. 9
DFKI / S. 11

Empfohlene Zitierweise

Beyerer, J., Hinckeldeyn, J., Straube, S. (2026):
Interoperabilität zwischen Robotiksystemen –
das Potenzial großer KI-Modelle. Impulspapier aus
der Plattform Lernende Systeme, München.
DOI: ➔ https://doi.org/10.48669/pls_2026-5

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch
begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung,
des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der
Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege
und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen,
bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung –
vorbehalten.

Bei Fragen oder Anmerkungen zu dieser
Publikation kontaktieren Sie bitte
Dr. Thomas Schmidt
(Leiter der Geschäftsstelle):
info@plattform-lernende-systeme.de



Über die Plattform Lernende Systeme

Die Plattform Lernende Systeme ist ein Netzwerk von Expertinnen und Experten zum Thema Künstliche Intelligenz (KI). Sie bündelt vorhandenes Fachwissen und fördert als unabhängiger Makler den interdisziplinären Austausch und gesellschaftlichen Dialog. Die knapp 200 Mitglieder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft entwickeln in Arbeitsgruppen Positionen zu Chancen und Herausforderungen von KI und benennen Handlungsoptionen für ihre verantwortliche Gestaltung. Damit unterstützen sie den Weg Deutschlands zu einem führenden Anbieter von vertrauenswürdiger KI sowie den Einsatz der Schlüsseltechnologie in Wirtschaft und Gesellschaft. Die Plattform Lernende Systeme wurde 2017 vom Bundesforschungsministerium auf Anregung von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften gegründet und wird von einem Lenkungskreis gesteuert. Die Leitung der Plattform liegt bei Dorothee Bär (Bundesministerin für Forschung, Technologie und Raumfahrt) und Claudia Eckert (Präsidentin acatech).

Weiteres unter ➤ www.plattform-lernende-systeme.de