



Anwendungsszenarien

KI-Systeme in der Produktionsautomatisierung

Anwendungsszenarien

KI-Systeme in der Produktionsautomatisierung

Einführung	3
Zur Auswahl der Szenarien	5
1. Cobots	6
1.1 Szenario 1 „Intelligenter Cobot montiert Klimakompressen falsch“	6
1.2 Szenario 2 „Intelligenter Cobot verletzt Arbeiter am Auge“	7
1.3 Diskussion der Szenarien	7
1.4 Definition Cobots	8
1.5 Anwendungen	8
1.6 Cobots ohne KI	9
1.7 Potenziale von KI bei Cobots	10
1.8 Technologische Trends	11
1.9 Sonstiges	12
2. Fahrerlose Transportsysteme	13
2.1 Szenario 3 „Diskriminierung bei der Routenplanung von FTFs und Gabel-staplerfahrern“	13
2.2 Szenario 4 „Autonomes FTF fährt Arbeiterin an“	14
2.3 Diskussion der Szenarien	15
2.4 Definition FTS und FTF	16
2.5 Anwendungen	16
2.6 FTS ohne KI	17
2.7 Potenziale von KI bei FTS	18
2.8 Technologische Trends	20
Impressum	22

Einführung

Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktionsautomatisierung berührt in besonderer Weise die Rechte von Arbeitnehmer*innen und erfordert daher eine genaue Prüfung der eingesetzten KI-Technologien hinsichtlich ihrer Nachvollziehbarkeit, Transparenz, Fairness, Gleichbehandlung, Haftbarkeit, Zuverlässigkeit und Datenschutzkonformität. So stuft auch die Europäische Kommission in ihrem Weißbuch zur Künstlichen Intelligenz KI-Anwendungen, die „in Situationen eingesetzt werden, die sich auf die Rechte von Arbeitnehmern auswirken, ausnahmslos als Anwendungen mit hohem Risiko“ ein.¹

1

Europäische Kommission,
*Weißbuch zur Künstlichen
Intelligenz – ein europä-
isches Konzept für Exzellenz
und Vertrauen.*
Brüssel, 2020, S. 21.

Vor diesem Hintergrund widmet sich das 2020 gestartete Forschungsprojekt „ExamAI – KI Testing & Auditing“ unter Leitung der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) der Erforschung geeigneter Test- und Auditierungsverfahren für KI-Anwendungen in zwei Anwendungsbereichen: im Personal- und Talentmanagement sowie in der Mensch-Maschine-Kooperation im Rahmen der Industrieproduktion. Ziel des Projektes ist es, Anforderungen an wirkungsvolle Test- und Auditverfahren für KI zu beschreiben und Vorschläge für deren Implementierung aufzuzeigen. Das Projekt wird von einem interdisziplinären Team bestehend aus Mitgliedern der TU Kaiserslautern, der Universität des Saarlandes, des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE, der Stiftung Neue Verantwortung und der GI getragen und im Rahmen des Observatoriums Künstliche Intelligenz in Arbeit und Gesellschaft (KIO)² der Denkfabrik Digitale Arbeitsgesellschaft des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert.

2

[https://www.denkfabrik-
bmas.de/projekte/ki-
observatorium](https://www.denkfabrik-bmas.de/projekte/ki-observatorium)


Die vorliegenden Szenarien bilden zusammen mit der Veröffentlichung „Anwendungsszenarien: KI-Systeme im Personal- und Talentmanagement“³ die Grundlage weiterer Untersuchungen. Sie dienen als Ausgangspunkt einer genauen juristischen sowie einer informatischen Analyse bestehender Probleme, Ungleichbehandlungen, Sicherheitsrisiken und Rechtsverstöße im Bereich KI und Arbeit

3

[https://testing-ai.gi.de/
veroeffentlichungen](https://testing-ai.gi.de/veroeffentlichungen)

Diese Veröffentlichung verstehen wir im Sinne der Open Science als Beitrag zu einem transparenten Forschungsprozess, dessen Zwischenergebnisse wir für andere Forscher*innen regelmäßig zugänglich machen wollen. Die beschriebenen Szenarien sind daher nicht abschließend zu verstehen, sondern spiegeln den aktuellen Stand der Arbeit wider. Wir wollen jedoch bereits jetzt mit Ihnen, mit Expert*innen, Betroffenen und der interessierten Fachöffentlichkeit in den Austausch treten: Welche Anwendungsszenarien halten Sie für besonders bedeutsam? Fallen Ihnen weitere Szenarien ein, die genauer untersucht werden sollten? Sehen Sie Nachbesserungsbedarf, haben Sie Anregungen oder Kritik? Schreiben Sie uns gerne! Unsere Kontaktdaten finden Sie unter <https://testing-ai.gi.de/>

Eine spannende Lektüre wünschen Ihnen



Daniel Krupka
Geschäftsführer der GI



Nikolas Becker
Projektleiter ExamAI

Zur Auswahl der Szenarien

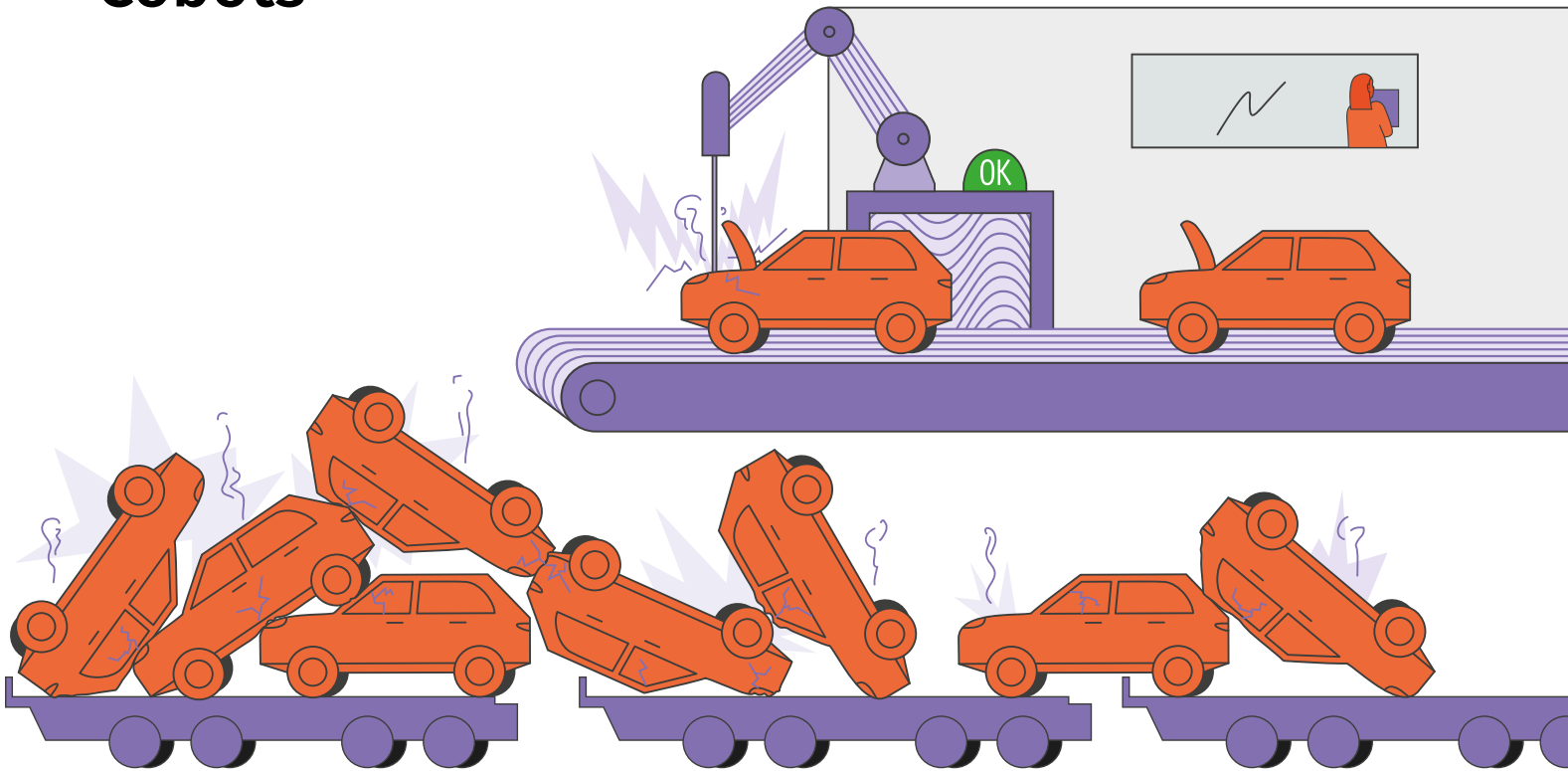
In der Mensch-Maschine-Kooperation im Rahmen der Industrieproduktion haben Gespräche mit Expert*innen aus der Industrie ergeben, dass KI ein besonderes wirtschaftliches Potenzial bei kollaborativen Robotern (Cobots) und bei Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) aufweist. Zwischen diesen beiden Fällen gibt es eine enge Verbindung. Aktuelle Cobots können noch nicht autonom ihren Arbeitsplatz wechseln. Beim flexiblen autonomen Fahren im Bereich FTS gibt es ähnliche Herausforderungen wie bei mobilen Cobots. KI ist eine Schlüsseltechnologie, um diese Herausforderungen zu bewältigen. Eine zeitnahe Realisierung von Cobots und FTS ist in verschiedenen KI-gestützten Ausbaustufen möglich. Die vier vorgestellten Szenarien gehen auf unterschiedliche Probleme bei der Anwendung von KI-Systemen ein: Sachschäden (Szenario 1), Personenschäden (Szenarien 2 und 4) und Diskriminierung (Szenario 3).

Eine detailliertere Darstellung der Szenarienauswahl findet sich zusammen mit Kriterien hinsichtlich der Relevanz eines KI-Anwendungsfalls, einer Klassifikation der Aufgabenbereiche und einer umfassenden Analyse in der ExamAI-Publikation „Möglichkeiten und Grenzen von Anwendungen künstlicher Intelligenz in der Produktionsautomatisierung – Konkrete Anwendungsfälle und Charakterisierung“¹.

1

Adler, R., Heidrich, J., Jöckel, L., Kläs, M. „Möglichkeiten und Grenzen von Anwendungen künstlicher Intelligenz in der Produktionsautomatisierung – Konkrete Anwendungsfälle und Charakterisierung“, 2020.

1. Cobots



Bei einer Fertigungsserie verwechselt die KI-basierte Bilderkennung die Motortypen. Der Cobot verwendet die falschen Schrauben ohne Bescheid zu geben.

1.1 Szenario 1 „Intelligenter Cobot montiert Klimakompressen falsch“

Ein Fahrzeughersteller (F) verwendet einen Cobot bei der Montage von Motoren. Der Cobot verschraubt mit seinem Roboterarm Klimakompressoren an Motorblöcke, weil dies eine für Menschen ergonomisch sehr belastende Tätigkeit ist.

Zusammen mit den Mitarbeiter*innen zieht er dafür im Stop-and-Go-Takt alle zwei Minuten drei Schrauben an. So wickelt der Cobot insgesamt 30 Motoren von bis zu sieben verschiedenen Motortypen pro Stunde ab. Mithilfe von KI-basierter Bilderkennung weiß der Cobot, welcher Motortyp gerade vor ihm liegt. Je nach Motortyp verwendet er unterschiedlich lange Schrauben, die er aus verschiedenen Kisten neben ihm nimmt. Er zeigt den Mitarbeiter*innen auch immer an, was er erkannt hat, damit sie ihn stichprobenartig überprüfen können. Er gibt den Mitarbeiter*innen Bescheid, wenn er sich unsicher ist, und diese können dann manuell eingeben, um was für einen Motortyp es sich handelt.

Bei einer Fertigungsserie verwechselt die KI-basierte Bilderkennung die Motortypen. Der Cobot verwendet deswegen die falschen Schrauben, ohne dem/der Mitarbeiter*in Bescheid zu geben, dass er sich unsicher ist. Eine Ursache dafür war vielleicht, dass die Kameralinse vor dem Start der Fertigungsserie nicht wie vom Cobot-Hersteller angegeben gewartet und gereinigt wurde. Das ließ sich im Nachhinein aber nicht feststellen. Durch die Verwendung der falschen Schraube kam es zu einem Riss (oder vergleichbaren Schaden) am Klimakompressor. Dies führte dazu, dass das Fahrzeug des Kunden (K) gemeinsam mit 100 Fahrzeugen derselben Fertigungsserie zurückgerufen werden musste.

1.2 Szenario 2 „Intelligenter Cobot verletzt Arbeiter am Auge“

Seit einem Jahr setzt der Fahrzeughersteller (F) neue Cobots ein. Diese Cobots reduzieren ihre Geschwindigkeit nicht so stark, wenn sich ein Arbeiter nähert. Zum Stopp des Cobots ist auch eine größere Annäherung des Arbeiters notwendig, was in der Regel aber noch geschieht, bevor der Arbeiter so nahekommt, dass er verletzt werden könnte. Ermöglicht wird dieses Verhalten durch eine KI-basierte Detektion des Arbeiters und eine KI-basierte Abschätzung seiner zukünftigen Bewegungen. Durch die KI-Anteile scheint das Verhalten aber unsicherer geworden zu sein. Zumindest kam es kürzlich zu einem Unfall, weil ein neuer Cobot nicht rechtzeitig angehalten hat. Er hat mit seinem Greifer das Auge von einem Arbeiter (A) verletzt und dieser ist nun auf einem Auge blind.

1.3 Diskussion der Szenarien

Wie in Szenario 1 veranschaulicht, kann ein fehlerhaftes Nominalverhalten bei Montage und anderen Aufgaben des Cobots zu Produktfehlern führen. Dadurch können enorme Sachschäden entstehen. Das Schadensausmaß in Szenario 1 und weitere Aspekte wurden initial festgelegt, um einen Startpunkt für erste rechtliche Betrachtungen zu bieten. Es sind viele Szenarien dieser Art denkbar und realistisch.

Wenn es sich um ein sicherheitskritisches Produkt handelt, kann der Produktfehler sogar zu Personenschäden führen. Szenario 1 widmete sich einem Fall, bei dem es zu einem Sachschaden kam. Von einem Szenario, bei dem es zu einem Personenschaden kommt, wurde abgesehen, da kein realistisches Szenario konstruiert werden konnte. Ein möglicher Spezialfall wäre die automatisierte Herstellung von „Advanced

Therapy Medicinal Products“ (ATMPs). Im Vergleich zu Szenario 2 oder ähnlichen Szenarien könnten hier theoretisch sehr viele Menschen verletzt oder getötet werden.

Wie in Szenario 2 veranschaulicht, kann ein fehlerhaftes Sicherheitsverhalten dazu führen, dass der Cobot die Menschen, mit denen er kollaboriert, verletzt und somit direkte Personenschäden verursacht. Dieses Szenario ist im Vergleich zu Szenario 1 weniger realistisch, da Hersteller versuchen sich an Sicherheitsnormen zu halten und die Nutzung von KI für die Realisierung von Sicherheitsverhalten nicht normativ geregelt ist.

1.4 Definition Cobots

Als kollaborativer Roboter oder kurz Cobot (aus dem Englischen: *collaborative robot*) wird ein Industrieroboter bezeichnet, der mit Menschen gemeinsam arbeitet und im Produktionsprozess nicht durch Schutzeinrichtungen von diesen getrennt ist ¹.

Die meisten Cobots sind Leichtbauroboter. Traditionelle Industrieroboter für große Lasten können aber auch zu Cobots umgebaut werden, um kollaborative Anwendungsszenarien zu ermöglichen ².

1.5 Anwendungen

Cobots übernehmen meist Tätigkeiten, die grundsätzlich auch ein Mensch übernehmen könnte, die jedoch so monoton, repetitiv, unergonomisch oder gar gesundheitsgefährdend sind, dass Mitarbeiter*innen dafür nur schwer zu finden und zu begeistern sind. Da ihre Arbeitsweise der eines menschlichen Arms ähnelt, können Cobots in vielen Anwendungsfällen direkt neben dem Menschen eingesetzt werden. Ihre Anwendungsbereiche sind breit gefächert ³:

Montage: Cobots eignen sich für präzise wiederholbare Prozesse wie Beschrauben, Einschlagen von Muttern und Einpassen von Teilen. Cobots können in der Montage von Kunststoff, Holz, Metallen oder anderen Materialien eingesetzt werden.

Dispensieren: Cobots können Klebe-, Versiegelungs-, Lackier- und andere Dispensieraufgaben flexibler und effizienter machen. Die präzise Durchführung der Dispensieraufgaben kann Abfall und Ausschuss reduzieren.

1

Wikipedia, *Kollaborativer Roboter*. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Kollaborativer_Roboter&oldid=203123709.
Zugegriffen: 09.09.2020

2

Vollmuth, J. (11.04.2017), *Neue Sicherheitstechnik macht Industrieroboter zu Cobots*. Konstruktionspraxis Vogel. <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/neue-sicherheitstechnik-macht-industrieroboter-zu-cobots-a-597962/>.
Zugegriffen: 09.09.2020

3

Universal Robots, *Anwendungsbereiche*. <https://www.universal-robots.com/de/anwendungsbereiche/>
Zugegriffen: 09.09.2020

Schweißen: Spezielle Cobots können Schweißprozesse flexibler und effizienter machen. Sie eignen sich grundsätzlich für das Lichtbogen-, WIG-, Laser-, MIG-, Ultraschall-, Plasma- und Punktschweißen sowie für Löttaufgaben. In der Praxis scheitert es allerdings häufig daran, dass die Temperaturen zu hoch für die verbaute Elektronik in den Cobots sind.

Maschinenbeschickung: Cobots können körperlich anstrengende, monotone Arbeiten von Maschinenführer*innen übernehmen. Sie können eingesetzt werden, um Maschinen wie CNC- und Spritzgussanlagen, Abkantpressen, Prägepressen und viele weitere Anlagen zu beschicken.

Endbearbeitung: Cobots mit integrierter Kraftsteuerung können auch auf geschwungenen und unebenen Oberflächen gleichmäßige Polier- und Schleifergebnisse erzielen.

Materialentfernung: Cobots können das Schleifen, Entgraten, Fräsen, Bohren und andere Materialentfernungsaufgaben flexibler und effizienter machen.

Materialumschlag: Cobots können Menschen unterstützen beim Materialhandling, beim Verpacken und Palettieren, beim Bin Picking sowie bei Etikettierungs- und Zusammenstellungsaufgaben.

Qualitätsprüfung: Cobots eignen sich aufgrund ihrer Präzision und Konsistenz für Qualitätsprüfungen.

1.6 Cobots ohne KI

Cobots lassen sich auch ohne KI-Methoden realisieren. Das gilt sowohl für das Nominalverhalten zur Erledigung der Aufgaben sowie für sicherheitsrelevantes Verhalten (Sicherheitsfunktionen), um Personenschäden zu vermeiden.

Das **Nominalverhalten** muss einfach anpassbar sein, da man den gleichen Cobot flexibel für verschiedene Aufgaben einsetzen will. Eine populäre Methode, um das Nominalverhalten festzulegen, besteht darin, dem Cobot durch manuelle Führung zu zeigen, wie er sich bewegen soll und diese Bewegung dann abzuspeichern. Aufwendige Programmierungen können auch durch domänenspezifische Programmiersprachen und ein geeignetes visuelles Benutzerinterface vermieden werden.

Das **Sicherheitsverhalten** ist normativ geregelt und wird insbesondere über die Implementierung von Leistungs- und Kraftbegrenzungen mit festgelegtem Sicherheitslevel geregelt, um Schäden bei Kontakt mit dem Menschen zu vermeiden ⁴. Um sicherzustellen, dass bei der Kraft- und/oder Drehmomentüberwachung eine Stoppreaktion schnell genug erfolgen kann, ist in der Regel eine Überwachung und Limitierung der Geschwindigkeit erforderlich. Diese Geschwindigkeitsbegrenzung kann dabei adaptiv realisiert werden, um die Performanz möglichst wenig einzuschränken und einen optimalen Betrieb zu ermöglichen. Wenn kein Mensch in der Nähe ist, kann der Cobot mit maximaler Geschwindigkeit arbeiten. Wenn sich ein Mensch nähert, wird zunächst ein akustischer oder optischer Hinweis gegeben. Wenn er sich weiter nähert, werden die Arbeitsprozesse des Cobots verlangsamt. Erst wenn er den engsten um die Maschine gelegten virtuellen Schutzraum verletzt, erfolgt in Sekundenbruchteilen der Not-Halt. Es gibt verschiedenste Möglichkeiten, um die Näherung des Menschen zu erfassen: Matten auf dem Boden, Laserscanner, Lichtvorhänge und sogar Kameras wie das SafetyEye von Pilz ⁵.

1.7 Potenziale von KI bei Cobots

KI-Methoden werden in der Robotik zunehmend eingesetzt und bergen auch für Cobots enormes Potenzial ^{6,7}.

KI-basiertes Nominalverhalten

Durch KI kann das Anleiten des Cobots vereinfacht werden. Insbesondere die ML-basierte Sprach- und Gestenerkennung kann genutzt werden, um die **Interaktion zwischen Mensch und Cobot zu optimieren**. Weiterhin ermöglicht KI auch **neue Fähigkeiten** aufgrund einer verbesserten Perzeption. ML-basierte Mustererkennung ermöglicht beispielsweise das Greifen auch nach unbekanntem Objekten. Der Cobot wird befähigt, Objekte zu erkennen, zu lokalisieren und schließlich zu greifen.

KI-basiertes Sicherheitsverhalten

KI ermöglicht **alternative Realisierungen von traditionellen Sicherheitsfunktionen** bzw. alternative Möglichkeiten, um die normativen Grenzwerte bezüglich Leistungs- und Kraftbegrenzungen einzuhalten. Mit KI können Objekte besser klassifiziert werden und eine Hand oder ein Arm erkannt werden. Dadurch lassen sich die Bewegungen dieser Objekte besser vorhersagen. Entsprechend dieser Vorhersagen kann der Cobot dann versuchen, Kollisionen zu vermeiden und Grenzwerte einzuhalten. Dabei kommen neue Unsicherheiten mit ins Spiel: 1) die Unsicherheit bezüglich der KI-basierten

4

Nördinger, S. (07.06.2017), *4 Konzepte für eine sichere Mensch-Roboter-Kollaboration*. Produktion <https://www.produktion.de/trends-innovationen/id-4-konzepte-fuer-eine-sichere-mensch-roboter-kollaboration-120.html>.
Zugegriffen: 09.09.2020

5

Schlüter, D., *Maschinen- und Anlagensicherheit. Sichere Säule für die Fertigung*, GIT Sicherheit + Management 6/2010, 2010. https://www.pilz.com/imperia/md/content/editors_mm/o-team/applikationsbericht_safetyeye_benteler_git.pdf.
Zugegriffen: 09.09.2020

6

Haller, M. (21.01.2019), *Nvidia eröffnet Robotik-KI-Forschungszentrum*. elektroniknet.de <https://www.elektroniknet.de/elektronik/automation/nvidia-eroeffnet-robotik-ki-forschungszentrum-161623.html>.
Zugegriffen: 09.09.2020

7

Schröder, N., (28.04.2020), *Engineeringtrends in der Robotertechnik*, Teil 1. KEM Konstruktion. <https://kem.industrie.de/robotik/engineering-trends-in-der-robotertechnik/>
Zugegriffen: 09.09.2020

Perzeption der aktuellen Situation sowie 2) die Unsicherheit bezüglich der (KI-basierten) Antizipation über mögliche zukünftige Entwicklungen. Hier stellt sich die Frage, welche Unsicherheiten unter welchen Umständen akzeptabel sind. Wie beschreibt man die Unsicherheiten der Perzeption und wie legt man akzeptable Grenzwerte fest? Muss man bei der Antizipation des menschlichen Verhaltens immer vom Worst Case ausgehen, oder ist es zulässig anzunehmen, dass sich der Mensch an bestimmte Vorgaben hält?

Weiterhin eröffnet KI die Möglichkeit, neuartige Sicherheitsfunktionen zu realisieren. Diese können zusätzlich zu den traditionell realisierten Sicherheitsfunktionen eingesetzt werden. Eine ML-basierte Bilderkennung könnte beispielsweise zusätzlich genutzt werden, um Missbrauch, wie etwa das Aushebeln einer traditionellen Sicherheitsvorrichtung zum Verlangsamen des Cobots, zu erkennen und zu verhindern. Hier stellt sich die Frage, unter welchen Umständen man diese Funktionen einführen muss und wie viel Sicherheitslast auf ihnen liegen sollte. Muss man sie einführen, wenn die Kosten gering sind und der Nutzen signifikant ist (ALARP-Prinzip)? Reicht es aus, wenn man darlegen kann, dass sie die Sicherheit insgesamt erhöhen?

Bisher gibt es allerdings keine Cobots, bei denen die ausgewiesenen Sicherheitsfunktionen mit KI/ML realisiert sind. Es gibt auch gar keine Norm, die beschreibt, wie die Sicherheitsintegrität, die durch ein normenspezifisches Level wie das Safety Integrity Level (SIL) der IEC 61508 oder das Performance Level (PL) der EN ISO 13849 definiert wird, durch Maßnahmen bei der KI-Entwicklung erreicht werden könnte.

1.8 Technologische Trends

Verschmelzung Nominalverhalten und Sicherheitsverhalten

Die klare Trennung zwischen dedizierten einfachen Sicherheitsfunktionen und intelligentem Nominalverhalten wirkt sich ungünstig auf die Performanz der Cobots aus und steht einer echten Mensch-Maschine-Kollaboration im Weg. Wenn man die Sicherheitsfunktionen weglässt, muss das Nominalverhalten Safety entsprechend berücksichtigen. Cobots könnten das Risiko einer Kollision abschätzen und sehr situationsspezifisch ihr Verhalten anpassen, um das Risiko auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Hier stellt sich die Frage nach dem Risikoakzeptanzniveau. Reicht es aus, wenn die Mensch-Cobot-Kollaboration so sicher ist wie die Mensch-Mensch-Kollaboration?

Vernetzung

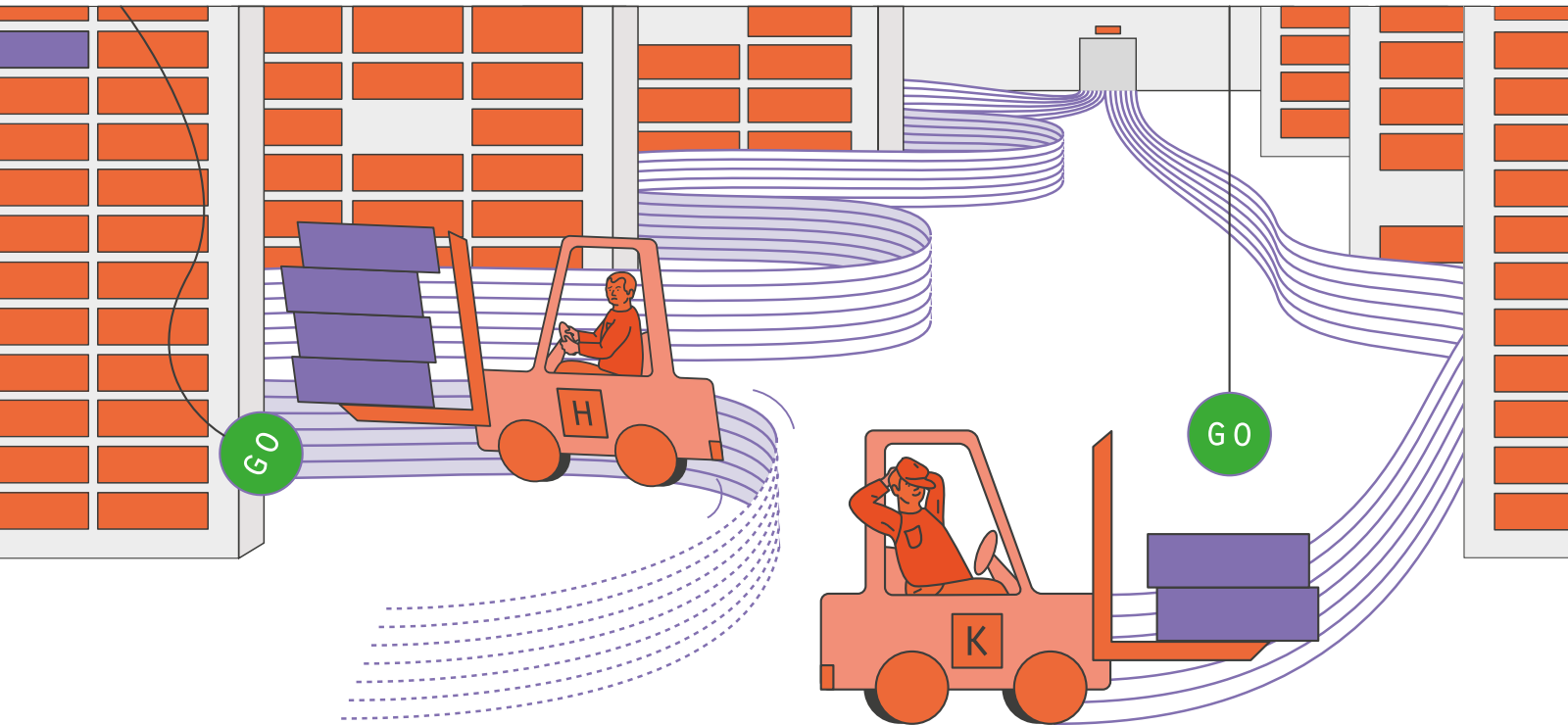
Die Perzeption, die Antizipation und die darauf basierende Steuerung des Cobots könnten zumindest teilweise die physikalischen Grenzen des Cobots verlassen. Wer haftet, wenn der Cobot aufgrund fehlerhafter Informationen von einer Cloud oder einem externen Sensor jemanden verletzt?

1.9 Sonstiges

Cobots können menschliche Fehler, die auf die Monotonie der Arbeit zurückzuführen sind, minimieren, gefährliche Aufgaben übernehmen und somit zur Sicherheit beitragen. Wenn ein Cobot durch KI neue gefährliche Aufgaben übernehmen kann, ist es dann überhaupt noch zulässig, wenn ein Arbeitgeber einen Menschen diese Aufgabe machen lässt?

Gefährdungen durch Verletzung ergonomischer Grundsätze müssen bei Cobots berücksichtigt werden (DIN 614-2, ISO 12100). Wenn ein Cobot KI nutzt, um sich an die/den jeweilige/n Benutzer*in anzupassen, dann könnten die ergonomischen Grundsätze aufgrund von KI verletzt werden.

2. Fahrerlose Transportsysteme

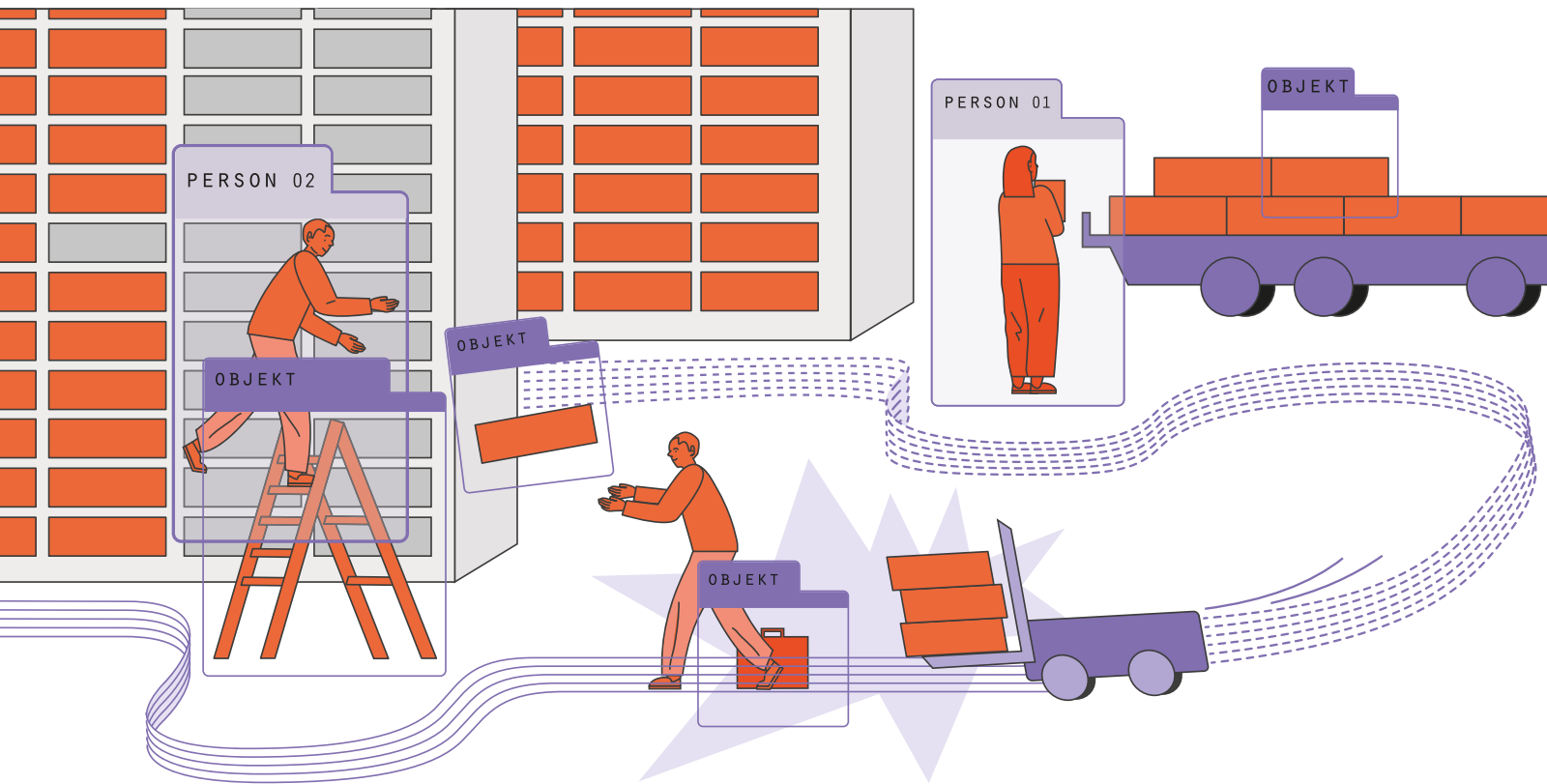


Die KI weist Gabelstaplerfahrer Hurtig immer mehr Fahrten zu als seinem Kollegen, weil Hurtig schneller unterwegs ist

2.1 Szenario 3 „Diskriminierung bei der Routenplanung von FTFs und Gabelstaplerfahrern“

Ein Fahrzeughersteller (F) setzt in seinen neuen Produktionshallen für Elektrofahrzeuge ein neues innovatives FTS ein. Die Leitsteuerung des FTS verwendet KI, um optimale Routen für die autonomen FTFs und die Gabelstaplerfahrer zu finden und ihnen vorzugeben.

Die KI weist Gabelstaplerfahrer Hurtig (H) immer mehr Fahrten zu als seinem Kollegen, weil H schneller unterwegs ist. Diese Ungleichbehandlung verstärkt sich im Laufe des Jahres. H erledigt seine Aufträge immer schneller, weil er sonst nicht hinterherkommt und Zeit für Kaffeepausen gewinnen will. Die KI erkennt diese Effizienzsteigerung und setzt H entsprechend immer häufiger ein. In einem Gespräch mit seinem Kollegen findet H heraus, dass er im letzten Jahr 10 % mehr arbeiten musste als sein Kollege und klagt.



Gabelstaplerfahrerin Müller wäre selbst unter größtem Stress nicht so riskant gefahren wie das FTF.

2.2 Szenario 4 „Autonomes FTF fährt Arbeiterin an“

Ein Zulieferer (Z) für Fahrzeugteile hat eines seiner Werke mit einem neuen FTS ausgerüstet. Seit der Corona-Krise gab es immer wieder Lieferschwierigkeiten und die Nachfrage schwankte ebenfalls stärker als früher. Immer wenn unvorhergesehene neue Aufträge und Lieferungen kamen, mussten neue Routen gefahren werden und die klassischen FTFs konnten nicht eingesetzt werden, weil ihre Routen fix sind. Gabelstaplerfahrerin Müller (M) musste lange unter Zeitdruck fahren und dies führte in der Vergangenheit schon zu gefährlichen Situationen.

Seitdem das neue FTS da ist, ist die Arbeit für M deutlich entspannter geworden. Sie kann den FTFs einfach beibringen, wo sie hinfahren sollen und was sie tun sollen. Während ein FTF unterwegs ist, kann M schon das nächste beauftragen. Die FTFs sind so flexibel, weil sie auf einem anderen Sicherheitskonzept beruhen. Die Sicherheitsfunktionen verwenden KI, um Hindernisse zu klassifizieren und dann sehr intelligent auszuweichen. Sie berücksichtigen beispielsweise, wie aufmerksam die Personen

sind, an denen sie vorbeifahren. Sie fahren vorsichtiger an einer Person vorbei, die einen Lärmschutz trägt und mit dem Rücken zum FTF steht als an einer Person, die „Blickkontakt“ mit dem FTF hat. Als M neulich ihren Arbeitspullover mit auf dem Rücken aufgesticktem Firmenlogo versehentlich falsch herum angezogen hatte, erkannte das FTF allerdings nicht, dass M mit dem Rücken zum FTF stand. Deswegen fuhr das FTF dicht an ihr vorbei und kollidierte mit M, als M einen Schritt zurücktrat. M verlor das Gleichgewicht, stürzte gegen ein Regal und erlitt eine schwere Kopfverletzung. Als Gabelstaplerfahrerin in einer vergleichbaren Situation wäre M selbst unter dem größten Stress nicht so riskant gefahren.

2.3 Diskussion der Szenarien

Wie in Szenario 3 veranschaulicht, kann durch eine autonome Leitsteuerung, die sowohl Gabelstaplerfahrer*innen als auch autonomen FTFs Arbeitsaufträge zuweist, zu Ungleichbehandlungen der beteiligten Personen kommen. Dieses Szenario wurde aufgenommen, um zu zeigen, dass es im Anwendungsbereich Produktionsautomatisierung auch zu Diskriminierung kommen kann und, um auch eine weiterlernende KI zu betrachten.

Szenario 4 veranschaulicht wie es zu Personenschäden kommen kann, wenn das komplexere Sicherheitsverhalten zur Kollisionsvermeidung nicht angemessen auf Personen reagiert. Dieses Szenario ähnelt Szenario 2, weil hier auch KI für die Realisierung von Sicherheitsverhalten verwendet wurde. Entsprechend hängt die Wahrscheinlichkeit eines entsprechenden Szenarios davon ab, ob Hersteller versuchen, sich an Sicherheitsnormen zu halten und ob, beziehungsweise wie, diese Normen zukünftig KI adressieren.

Ein weiteres denkbare Szenario wäre, dass ein autonomes FTF Sachschäden verursacht, indem es die zu transportierende Ware beschädigt. Ein deutlich größeres finanzielles Schadensrisiko birgt im Allgemeinen die autonome Planung des Materialflusses, da Verzögerungen im Materialfluss zu teuren Produktionsausfällen führen können. Ein solches Szenario wurde vorerst nicht mit aufgenommen, da Sachschäden bereits in Szenario 1 berücksichtigt wurden. Bezüglich Personenschäden wurden zwei Szenarien aufgenommen, da diese im Fokus des Projektes stehen. Zudem gibt es bezüglich Personenschäden bereits Standards. Es stellt sich die Frage, inwieweit man KI normativ regeln kann, ohne alle produktspezifischen Standards für Cobots, FTFs und weitere Produkte anzupassen, sondern nur die allgemeinen produktunabhängigen Sicherheitsstandards.

2.4 Definition FTS und FTF

Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen, deren primäre Aufgabe der Materialtransport, nicht aber der Personentransport ist. Sie werden innerhalb und außerhalb von Gebäuden eingesetzt und bestehen klassischerweise aus den folgenden Komponenten:

- einem oder mehreren Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF)
- einer Leitsteuerung
- Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lageerfassung
- Einrichtungen zur Datenübertragung
- Infrastruktur und peripheren Einrichtungen

Ein Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF, englisch Automated Guided Vehicle, AGV) ist ein flurgebundenes Fördermittel mit eigenem Fahrantrieb, das automatisch gesteuert und berührungslos geführt wird. Fahrerlose Transportfahrzeuge dienen dem Materialtransport, und zwar zum Ziehen oder Tragen von Fördergut mit aktiven oder passiven Lastaufnahmemitteln.

Beide Definitionen sind entnommen aus der VDI-Richtlinie 2510 „Fahrerlose Transportsysteme“⁸.

2.5 Anwendungen

Fahrerlose Transportsysteme kommen im Bereich der Intralogistik zur Anwendung. Im Folgenden geben wir basierend auf der Kategorisierung von FTFs in Ullrich 2016⁹ eine Übersicht über die verschiedenen Einsatzbereiche.

Die Hauptanwendung betrifft den Transport von Paletten durch Gabelhub-FTFs oder Huckepack-FTFs. Gabelhub-FTFs können mit ihrer Gabel die Paletten selbständig vom Boden aufheben. Huckepack-FTFs können Paletten oder andere Ladehilfsmittel wie Behälter oder Gitterboxen transportieren und werden meist seitlich beladen. Die seitliche Lastaufnahme ermöglicht es, ohne zu rangieren direkt an die stationäre Lastübergabestelle heranzufahren und mit der hohen Geschwindigkeit des Förderers

8

VDI-Richtlinie 2510, *Fahrerlose Transportsysteme*; Beuth-Verlag, Berlin, S. 6 f., 2005.

9

Ullrich, G., *Stand der Technik*. In: *Fahrerlose Transportsysteme*. Fortschritte der Robotik, vol. 22. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2016

(Rollenbahn, Kettenförderer o. Ä.) das Ladehilfsmittel zu übernehmen. Ein typisches Lastgewicht dieser FTFs beträgt eine Tonne.

Eine weitere häufige Art von FTFs sind **Schlepper**. Sie ziehen Anhänger mit einem typischen Gesamtgewicht von 5 Tonnen.

Montage-FTFs werden eingesetzt, um Montageobjekte zu transportieren. Bei Montage-FTFs bestimmen das Montageobjekt und die durchzuführenden Montageschritte wesentlich die Gestaltung des Fahrzeugs.

Schwerlast-FTFs kommen vorwiegend in der papiererzeugenden bzw. -verarbeitenden Industrie oder in der Stahlindustrie vor. Sie transportieren Papierrollen mit einem Gewicht von mehreren Tonnen oder Stahlcoils von üblicherweise 30 Tonnen.

Mini-FTFs werden typischerweise in größeren Flotten eingesetzt, z.B. zur Kommissionierung, d.h. zur Zusammenstellung von bestimmten Teilmengen (Artikeln) aus einer bereitgestellten Gesamtmenge (Sortiment) auf der Basis von Aufträgen.

10

Alogis, *Roboter mit KI-Sicht in der Lagerlogistik*. alogis verbindet SAP-System mit Robotern über IDoc-Schnittstelle. <https://www.alogis.com/unternehmen/news/roboter-mit-ki-sicht-in-der-lagerlogistik.html>.
Zugegriffen: 09.09.2020

2.6 FTS ohne KI

Die ersten FTS-Anlagen wurden bereits in den 60er Jahren gebaut und wurden seitdem technisch immer ausgereifter und zugleich kostengünstiger. Sowohl das Nominalverhalten als auch die Sicherheitsfunktionen können ohne KI realisiert werden.

Das **Nominalverhalten** wird durch zwei Ebenen bestimmt: die operative Fahrzeugebene und die übergeordnete FTS-Leitsteuerung. Die FTS-Leitsteuerung dient der Koordination mehrerer FTFs und übernimmt die Integration des FTS in die innerbetrieblichen Abläufe. Dazu gehört insbesondere die Verwaltung der Transportauftragsabarbeitung. Die Transportaufträge beinhalten Start- und Zielposition sowie zusätzliche Details wie beispielsweise Priorität, späteste Abholzeit/Ankunftszeit, oder Reihenfolgen. Mittlerweile gibt es erste standardisierte FTS-Leitsteuerungen, die herstellerübergreifende Lösungen unterstützen¹⁰. Beim automatischen Fahren wird dem FTF der Weg vom Start- zum Zielpunkt eindeutig und ohne vom Fahrzeug nutzbare Freiheitsgrade vorgegeben. Die Spurführung kann dabei sowohl physisch als auch virtuell sein. Eine physische Fahrspur wird durch eine wechselstromdurchflossene Drahtschleife im Boden, ein auf dem Boden aufgeklebtes Stahlband, eine Lackierung oder ein aufgeklebtes Textilband vorgegeben. Die virtuelle Spurführung basiert auf Messung

von Radumdrehungen und Referenzpunkten oder einer Laser-Triangulation. Die normale Fahrgeschwindigkeit beim automatischen Fahren beträgt meist 1 m/s (= 3,6 km/h), was der üblichen Gehgeschwindigkeit der Mitarbeiter*innen entspricht. So kommt es nicht zu der Situation, dass Mitarbeiter*innen von hinten durch die Fahrzeuge erschreckt werden.

Das **Sicherheitsverhalten** betrifft insbesondere den Personenschutz bzw. den Schutz gegen Kollisionen. Das Personenschutzsystem muss Personen und Gegenstände im Fahrweg sicher erkennen und zum Stillstand kommen, bevor Personen oder Gegenstände zu Schaden kommen. Dabei muss die Hüllkurve des FTF samt Last berücksichtigt werden. In den 70er und 80er Jahren wurden mechanische Systeme entwickelt, die mittels Kunststoffbügel oder Softschaum-Bumper Berührungen wahrnehmen. Mittlerweile werden meist berührungslose Systeme eingesetzt, die den Gefahrenraum vor dem Fahrzeug mit Laser, Radar, Infrarot oder Ultraschall bzw. einer Kombination dieser Technologien überwachen. Die Überwachung beschränkt sich aber darauf, zu erkennen, ob irgendein Objekt im Weg ist. Wenn Objekte im Weg stehen, stoppen die FTFs sanft bis zum völligen Halt und warten solange, bis der Weg frei ist. Dann fahren die FTFs selbständig wieder an. Es gibt den seltenen Fall, dass der Einsatzbereich der FTFs von dem der Menschen durch mechanische Grenzen wie Zäune oder virtuelle Begrenzungen wie Lichtvorhänge abgegrenzt ist. Normalerweise herrscht aber ein Mischbetrieb, bei dem sich Menschen und FTFs die Wege teilen. Die Mensch-Maschine-Interaktion beschränkt sich dabei meist auf die Mitarbeiter*innen. In manchen Fällen kann der Kontakt mit dem Publikumsverkehr, wie er etwa bei der Krankenhauslogistik häufiger vorkommt, nicht ohne Weiteres ausgeschlossen werden.

2.7 Potenziale von KI bei FTS

KI-Methoden ermöglichen die Transition vom automatischen zum autonomen Fahren und eröffnen neue Möglichkeiten für die Mensch-Maschine-Interaktion.

KI-basiertes Nominalverhalten

Ein aktueller Treiber für die Transition vom automatischen Fahren zum autonomen Fahren ist der optimierte Umgang mit Störfällen. Ein autonomes FTF kann flexibel auf Störfälle reagieren, indem es selbständig entscheidet, wie der Störfall behoben werden kann. Es kann beispielsweise in manchen Fällen Hindernisse umfahren, anstatt immer stehen zu bleiben. Dazu sind Verbesserungen bei der Perzeption der aktuellen Situation als auch bei der Antizipation möglicher Zukunftsszenarien notwendig.

Insbesondere bei der Verbesserung der Perzeption kann KI bzw. Maschinelles Lernen (ML) einen Beitrag leisten ¹¹.

Ein weiterer Treiber für die Einführung des autonomen Fahrens ist die Industrie 4.0 bzw. die notwendige Flexibilität im Materialfluss, um Visionen wie Losgröße 1 und die wandelbare Fabrik zu realisieren. Anstatt den Materialfluss zentral und ohne Freiheitsgrade von einer Leitstelle vorzugeben, könnten die FTFs sich selbst organisieren. Das hätte nicht nur Auswirkungen auf die Interaktion der FTFs untereinander, sondern auch auf die Interaktion zwischen den FTFs und den Menschen. Die Transportaufträge würden vom Menschen direkt an die FTFs übermittelt. Dies kann durch stationäre Ruftaster, stationäre Displays mit Tastatur, stationäre Touch-Displays, spezielle Handhelds zum Scannen, Smartphones oder Tablets erfolgen. KI-basierte Sprach- und Gestenerkennung wird bei der zunehmenden Interaktion eine immer größere Rolle spielen ^{12, 13}. Ein*e Werker*in könnte einem Gabelhub-FTF zeigen, wo es etwas abstellen soll. Er/Sie könnte FTFs sprachlich auffordern mitzukommen und auf eine Kiste zeigen, die mitgenommen werden soll. Vieles ist möglich und sinnvoll. Es gibt auch bereits Prototypen. Eine wesentliche Hürde zur Markteinführung ist die notwendige Verlässlichkeit und Vertrauenswürdigkeit dieser KI-basierten Lösungen. Dies wirft Forschungsfragen auf. Brauchen wir Testing- und Auditing-Verfahren, um die Markteinführung zu regeln? Und wenn ja, welche? Wer haftet, wenn das FTF Gesten nicht wie gewünscht interpretiert und einen Schaden verursacht? Kann nachgewiesen werden, ob der Mensch eine falsche Geste gemacht hat, oder ob das FTF die Geste falsch interpretiert hat?

KI-basiertes Sicherheitsverhalten

KI ermöglicht alternative Realisierungen von traditionellen Sicherheitsfunktionen bzw. alternative Möglichkeiten, um Kollisionen zu vermeiden. Mit KI-basierter Bilderkennung könnten FTFs besser zwischen verschiedenen Objekten unterscheiden und somit auch flexibler auf Störungen reagieren. Anstatt einfach immer anzuhalten, wenn etwas im Weg ist, könnten sie um das Objekt herumfahren. Sie könnten auch schneller fahren, wenn sie „wissen“, um welche Objekte es sich handelt und das dynamische Verhalten der Objekte abschätzen können. Das gilt insbesondere für das Verhalten von Menschen. Um die alternativen Lösungen umzusetzen, muss man mit zusätzlichen Unsicherheiten umgehen: 1) die Unsicherheit bezüglich der KI-basierten Perzeption der aktuellen Situation sowie 2) die Unsicherheit bezüglich der (nicht zwangsläufig KI-basierten) Antizipation über mögliche zukünftige Entwicklungen. Hier stellt sich die Frage, welche Unsicherheiten unter welchen Umständen akzeptabel sind. Wie beschreibt man die Unsicherheiten der Perzeption und wie legt man akzeptable Grenzwerte fest? Muss man bei der Antizipation des menschlichen Verhaltens immer vom

11

Kinexion, KINEXON überträgt Prinzipien des autonomen Fahrens auf FTS.
<https://kinexion.com/de/loesungen/fts-navigation>.
 Zugriffen: 09.09.2020

12

Kion Group (05.07.2019),
Is it a human or a shelf? Helping AGV's to 'see' better.
https://www.kiongroup.com/en/News-Stories/Stories/Automation/Story-Detail_25728.html.
 Zugriffen: 09.09.2020

13

Berthold, K. (08.05.2018),
Das Antlitz des FTS.
<https://logistik-aktuell.com/2018/05/08/fts-mensch-maschine-interaktion/>.
 Zugriffen: 09.09.2020

Worst Case ausgehen, oder ist es zulässig anzunehmen, dass sich der Mensch an bestimmte Vorgaben hält?

Weiterhin eröffnet KI die Möglichkeit **neuartige Sicherheitsfunktionen** zu realisieren. Wenn für die Steuerung der FTF Kameras in Deckennähe der Halle verwendet werden, dann ergeben sich ganz neue Möglichkeiten auch menschliches Fehlverhalten zu erkennen und Kollisionen aufgrund menschlicher Fehler zu vermeiden. Der Persönlichkeitsschutz könnte dabei durch eine integrierte Verpixelung des Kopfbereichs sichergestellt werden. Hier stellt sich die Frage, unter welchen Umständen man diese Funktionen einführen muss und wie viel Sicherheitslast auf ihnen liegen sollte. **Muss man Sie einführen, wenn die Kosten gering sind und der Nutzen signifikant ist (ALARP)? Reicht es aus, wenn man darlegen kann, dass sie die Sicherheit insgesamt erhöhen?**

Bisher gibt es keine ausgewiesenen Sicherheitsfunktionen, die mit KI/ML realisiert sind.

2.8 Technologische Trends

Verschmelzung Nominalverhalten und Sicherheitsverhalten

Die Transition vom automatischen zum autonomen Fahren stellt die klare Trennung zwischen dedizierten einfachen Sicherheitsfunktionen zum Personenschutz und der Nominalfunktion zum intelligenten autonomen Fahren in Frage. Die einfachen Sicherheitsfunktionen limitieren die Freiheitsgrade von autonomen Entscheidungen und wirken sich ungünstig auf die Performanz aus. Es werden Sicherheitsfunktionen benötigt, die das Risiko einer Kollision abschätzen und sehr situationsspezifisch das Fahrverhalten anpassen, um das Risiko auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Dieses Sicherheitsverhalten ist nicht mehr so klar trennbar vom Nominalverhalten. Es ist auch deutlich komplexer, aber ermöglicht dem autonomen Fahren näher an die Performanz und die Flexibilität von manuellem Fahren heranzukommen. Hier stellt sich die Frage, ob dieser zusätzliche Nutzen auch die Risiken des autonomen Fahrens **rechtfertigt**. **Reicht es aus, wenn autonome FTFs so sicher sind wie menschliche Gabelstaplerfahrer*innen?**

Vernetzung

Es gibt einen klaren Trend, externe Sensoren wie z. B. Kameras in Deckennähe mit einzubinden. Um sich ein allumfassendes Bild der aktuellen Situation zu machen

und Risiken besser abschätzen zu können, ist es sinnvoll, die Fusion der Sensordaten zumindest teilweise außerhalb der FTFs umzusetzen. Das gleiche gilt für die darauf basierende Antizipation möglicher Schadensszenarien und die Planung von risikominimierenden Maßnahmen. Die sicherheitsrelevante Wirkkette von Sensorik zu Aktuatoren verlässt somit die physikalischen Grenzen des FTFs. Das wirft die Frage auf: Wer haftet, wenn das FTF jemanden aufgrund fehlerhafter Informationen von einer Cloud oder einem externen Sensor verletzt?

Impressum

Eine Veröffentlichung aus dem Projekt „ExamAI – KI Testing & Auditing“.

<https://testing-ai.gi.de>

November 2020

Texte

Dr. Rasmus Adler, Dr. Jens Heidrich, Lisa Jöckel, Dr. Michael Kläs

Herausgeberin

Gesellschaft für Informatik e. V.

Anna-Louisa-Karsch-Str. 2

10178 Berlin

Projektleitung

Nikolas Becker

Gestaltung

Gabriela Kapfer

<http://smileinitial.plus>

Alle Texte dieser Veröffentlichung stehen, soweit nicht anders angegeben, unter der Creative Commons Lizenz Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Gerne dürfen Sie diese

- *teilen, vielfältigen und weiterverbreiten* in jedwedem Format oder Medium sowie
- *bearbeiten, remixen und weiterentwickeln!*



Über das Observatorium Künstliche Intelligenz in Arbeit und Gesellschaft (KIO)

Das Projekt „Exam AI - KI Testing & Auditing“ wird im Rahmen des Observatoriums Künstliche Intelligenz in Arbeit und Gesellschaft (KIO) der Denkfabrik Digitale Arbeitsgesellschaft gefördert. Die Denkfabrik, eine agile Organisationseinheit des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS), bündelt Projekte und Prozesse rund um die digitale Transformation innerhalb des BMAS und entwickelt daraus ein größeres Bild der Arbeitsgesellschaft der Zukunft. Mit dem KIO, einem Projekt im Rahmen der nationalen KI-Strategie, fokussiert das BMAS die Frage nach den Auswirkungen von KI auf Arbeit und Gesellschaft.

Projektpartner:

GESELLSCHAFT
FÜR INFORMATIK



 TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

INSTITUT FÜR
RECHTSINFORMATIK
UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

 **Fraunhofer**
IESE

 Stiftung
Neue
Verantwortung

Gefördert durch:



Im Rahmen des:

 **ki_lo**

Observatorium Künstliche Intelligenz
in Arbeit und Gesellschaft