Technische Logistik

Hebezeuge Fördermittel

huss
www.technische-logistik.net
HUSS-MEDIEN GmbH
ISSN 0017-9442 · A 06792
1-2
2022

AUS DER BRANCHE
Prozesse digitalisieren | 23

AUS DER PRAXIS
Roboter-Piece-Picking | 30

SPECIAL PRODUKTIONSLOGISTIK
Stufenweise Automatisierung | 50

Autonomie von mobilen Robotern messbar gemacht

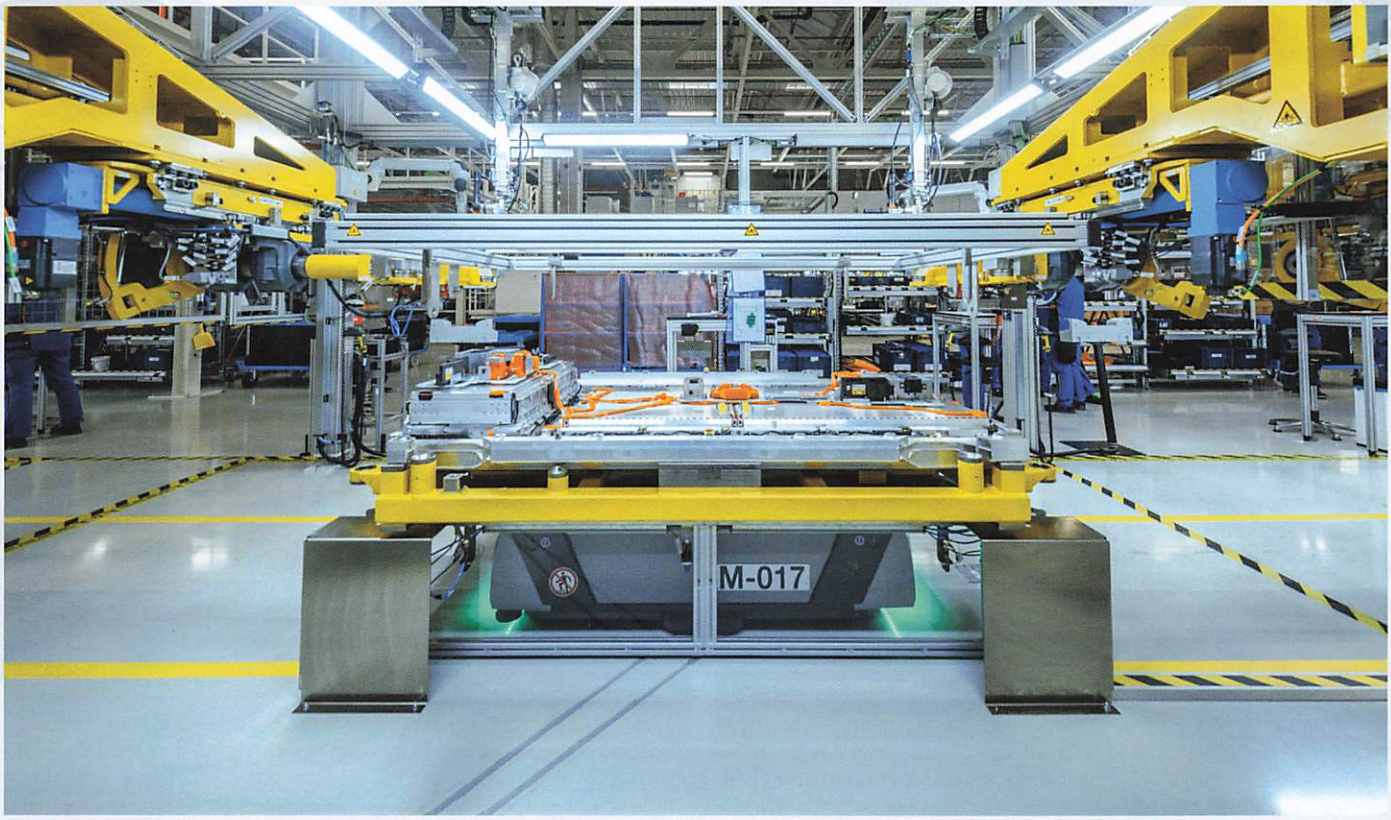
Der VDI Fachausschuss FTS hat sich in einem umfangreichen Leitfaden dem Thema „Autonomie bei mobilen Robotern" gewidmet. Im Folgenden sollen die Motivation für das Vorhaben, die Grundlagen und der praktikable Ansatz zur Messbarkeit der Autonomie beschrieben werden. Der Leitfaden zeigt darüber hinaus auf, was die Vor- und Nachteile, aber auch die sicherheitstechnischen Aspekte jeder einzelnen Autonomie-Funktion sind. Mit konkreten Anwendungsbeispielen wird die vorgestellte Methode einem ersten Praxistest unterzogen. Es wird deutlich werden, dass das Vorhandensein von autonomen Funktionen nicht per se gut ist, sondern die Lösung zur Anwendung passen muss.

Die Autonomie gehört zu den Buzzwords unserer Zeit. Auch in der Intralogistik beansprucht die Autonomie gerade bei mobilen Systemen sehr viel Platz. Wo es früher nur FTS und FTF gab, gibt es heute zusätzlich noch AMR, MR, aAGV, IGVs und weitere Begrifflichkeiten, die weitgehend dem Marketing entsprungen sind. Dabei wird insbesondere durch Verwendung der Begriffe Autonomie/autonom versucht, neuen Produkten mit neuen Funktionen einen höheren Wert und Anwendernutzen zuzuschreiben. Eine ganze Reihe von Herstellern solcher Systeme wenden sich von den vermeintlich antiquierten Begriffen „automatisch" und „Fahrerloses Transportsystem (FTS)" ab und bieten lieber autonome Roboter (AMR) an. Sie versprechen dem Kunden ein moderneres, zeitgemäßes Produkt, ohne den Nachweis erbringen zu müssen, wie autonom ihr Produkt nun wirklich ist und ob es zu den Anforderungen des Kunden passt. Beim Kunden führt das in der Folge zu Missverständnissen und enttäuschten Erwartungen.

Begriffswelt der Autonomie

Der Begriff **„Fahrerloses Transportsystem"** (FTS, engl. AGV System) wird seit mehr als sechzig Jahren verwendet und beschreibt ein Logistiksystem, mit dem eine konkrete Logistikaufgabe – beispielsweise Transporte zur Verknüpfung von Quellen und Senken, Montagelinien für Serienprodukte oder eine Aufgabenstellung in Lager und Kommissionierung – mittels einer Flotte automatischer Flurförderzeuge erledigt wird.
So ein FTS versteht sich als Organisationsmittel und Garant für einen zuverlässigen, sicheren Materialtransport mit höchster Leistung, Verfügbarkeit und Qualität. Die Peripherie und alle im Umfeld ablaufenden Logistik- und Produktionsprozesse sind sorgfältig aufeinander abgestimmt. Typische Anwendungen finden sich praktisch in allen Branchen, beispielhaft genannt seien hier Automobilfertigung, Automobilzulieferbetriebe, Logistikzentren, Serienfertiger der weißen und braunen Ware, Lebensmittelindustrie, Warenströme in Krankenhäusern (Essen, Medikamente, Wäsche, Abfall etc., abseits der Bettenstationen). Die Fahrzeuge, die in solchen Systemen zum Einsatz kommen, werden üblicherweise **„Fahrerlose Transportfahrzeuge"** (FTF, engl. AGV; auch Fahrerlose Flurförderzeuge (FFZ), engl. Driverless Trucks) genannt und können sich technologisch hinsichtlich ihrer Funktionalitäten (mechanisch, mechatronisch, elektrisch), aber auch hinsichtlich Ihrer „Intelligenz" (Sensorik, Steuerungsfunktionen) stark unterscheiden.

Wurden in der Vergangenheit die Fahrzeuge praktisch ausschließlich als Teil des Gesamtsystems betrachtet und immer ein Gesamtsystem beschafft, so gibt es seit einigen Jahren Bestrebungen, den Fokus auf die Fahrzeuge zu legen und lediglich diese zu beschaffen. Diese Fahrzeuge werden häufig nicht als FTF, sondern als **Mobiler Roboter** (MR),



DS AUTOMOTION, A-LINZ

DS AUTOMOTION, A-LINZ

Bild ❶: Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) in einer Montagelinie für Auto-Batterien

Autonomer Mobiler Roboter (AMR), oder schlicht „robot" bezeichnet. Im Vordergrund steht also der mobile Roboter, der „einfach" in eine bestehende Industrieumgebung integriert werden und nach kurzer Inbetriebnahmezeit einfache Dienstleistungen (wie Transportieren, Handhaben, Reinigen, Informieren) übernehmen kann.

Als **Autonomie** bezeichnet man in nicht-technischen Bereichen einen Zustand der Selbstbestimmung, Unabhängigkeit, Selbstverwaltung oder Entscheidungs- bzw. Handlungsfreiheit. Sie ist in der idealistischen Philosophie die Fähigkeit, sich als Wesen der Freiheit zu begreifen und aus dieser Freiheit heraus zu handeln. Eine direkte Übertragbarkeit des Begriffs in die Welt der Technik ist offensichtlich schwierig und bietet daher viel Raum für Interpretationen. Wir haben einen Teil dieser Diskussion im Leitfaden zitiert und als Basis unserer Betrachtungen genommen.

Abgrenzung von automatischen und autonomen Funktionen

Der VDI Fachausschuss FTS geht nicht von einem Entweder/Oder – AGV oder AMR – aus, sondern betrachtet im Detail die Funktionen eines Systems mit automatischen Fahrzeugen. Es geht also um Fahrzeuge mit mehr oder weniger vielen verschiedenen autonomen Funktionen mit der Beschränkung auf Fahren, Lasthandling und Sicherheit. Dabei ist es unerheblich, ob die Funktionen als Software lokal im Fahrzeug, in einer zentralen Leitsteuerung, in einer externen Cloud oder einer geeigneten Kombination realisiert werden.

Zur Abgrenzung und Klarstellung sollen zunächst Funktionen genannt werden, die nach unserem Verständnis „nur" Automatikfunktionen darstellen, da sie den Anforderungen an autonomes Agieren nicht genügen. Denn autonome Funktionen sind komplex. In der Regel handelt es sich dabei um situatives Reagieren auf sich verändernde Umgebungs-/Rahmenbedingungen und Systemzustände, welche mittels mehrdimensionaler Sensorinformationen erfasst und ausgewertet werden. Probate Mittel hierfür sind Verfahren der künstlichen Intelligenz, z. B. „Machine Learning". Vorstellbar ist aber auch, dass in aufwendiger Hochsprachenprogrammierung vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

AUTOMATISCHE Funktionen[1]

- **Fahren auf bzw. Spurführung mittels kontinuierlichvorhandener, physischer Spur**
  Die Spurführung mittels kontinuierlich vorhandener physischer Spur – induktiver Leitdraht im Boden, optische Leitlinie oder Magnetband auf dem Boden – erlaubt dem Fahrzeug keinerlei Freiheiten bezüglich seiner Bewegung, d. h. das Fahren abseits der vorgegebenen Leitspur ist nicht möglich. Somit können Fahrzeuge mit dieser Art der Spurführung zwar automatisch Güter von A nach B transportieren, führen aber keine Bewegung aus, die ein Programmierer nicht zuvor festgelegt hat.
- **Automatisches Energie-Management**
  Typischerweise das automatische Wechseln oder Nachladen des Onboard-Energiespeichers an einer Wechsel- oder Ladestation in Verbindung mit Speichertechnologien (z. B. Batterien, Power-Caps, Tanks zum Nachfüllen).
- **Automatisches Lasthandling**
  Eigenständiges Aufnehmen und Abgeben von Last/Ladungsträgern durch das Fahrzeug an genau definierten Positionen und nach exakt festgelegten Abläufen. Hierzu können auch Funktionen gehören wie z. B. das Aufstapeln und Abstapeln von Paletten/Ladungsträgern.
- **Geführtes Kartieren der Einsatzumgebung bei Inbetriebnahme und Erweiterungen/Änderungen**
  Aufnahme der Kartendaten für eine konturbasierte Navigation in bisher unbekannter Umgebung. Dies erfolgt typischerweise manuell mit einem

1) Diese automatischen Funktionen werden explizit als NICHT-autonom eingestuft.

Bild ❷: Autonomer Mobiler Roboter (AMR) für Kurierfahren auf einer Krankenhaus-Station

Fahrzeug oder mit einer dafür geeigneten mobilen Messeinrichtung (3D-Scanner, Kamera(s)) und wird in der Regel durch Fachpersonal durchgeführt.

- Mit den aufgenommenen Daten wird automatisch eine Karte erstellt. In der Regel ist eine manuelle Nachbearbeitung dieser Karte erforderlich. Diese automatische Kartierung erfolgt ausschließlich im Rahmen einer Erstinbetriebnahme, im Rahmen der Erweiterung des Einsatzbereiches oder im Rahmen einer umfangreicheren Änderung des Einsatzbereiches.
- **Lageerfassung**
  Bestimmung der Pose (Position und Ausrichtung) eines Fahrzeuges im Raum entweder mit zusätzlichen Einrichtungen wie Bodenmarkierungen, Magnete, Reflektoren, Funkanker oder andere Landmarken, die für den Betrieb des Systems angebracht/montiert werden, oder mittels bereits vorhandener Umgebungsmerkmale (Säulen, Wände, Tore, Regale, Maschinen ...).
- **Situationsbedingte dynamische Verteilung der Transportaufträge**
  Situationsabhängige, dynamische Zuweisung von Transportaufträgen an die gesamte Fahrzeugflotte unter Berücksichtigung der aktuellen Anlagensituation (z.B. Fahrzeugverfügbarkeit, Fahrzeugposition, Fahrzeugzustand, Batterieladezustand, Auftragspriorität, Verkehrsverhältnisse usw.).
- **Situationsbedingtes Umplanen von Routen durch das System (Dynamic Routing)** Dynamische Routenplanung für die gesamte FTF-/AMR-Flotte unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrsverhältnisse und/oder der Systemauslastung sowie aktives Reagieren auf Verkehrsstörungen durch die eigene Flotte.
- **Situationsbedingte Verkehrsregelung**
  Situationsbedingte, dynamische Verkehrsregelung der FTF-/AMR-Flotte unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrs- und Anlagensituation (z.B. Verkehrsaufkommen, Verkehrsverhältnisse, Auftragspriorität, Fahrzeugposition, Fahrzeugbeladezustand/-Batterieladezustand usw.).
- **Selbstdiagnose für eine vorbeugende Wartung**
  Fahrzeuge führen eine Selbstdiagnose zur vorbeugenden Wartung durch mit dem Ziel, rechtzeitig vorab Verschleiß oder Ausfallgefahr zu melden, um rechtzeitig und situationsbedingt eine Wartung durchführen zu können. Somit kann ein vorzeitiger Ausfall vermieden werden.
- **Reagieren auf besondere Betriebszustände**
  Betriebszustände werden durch externe elektrische Signale oder intern fest parametrierte Ereignisse umgeschaltet. Beispiele hierfür sind:
  - Reaktion auf Brandalarm, i.d.R. das Freifahren von Flucht- und Rettungswegen sowie Brandschutztüren
  - Erkennen von Betriebsunterbrechungen (Schichtende, Wochenende, Feiertage, Betriebsurlaub) und Abschalten in einen energiesparenden Schlummermodus
  - Erkennen von Betriebsbeginn (nach Schichtende, nach Wochenende, nach Feiertagen, nach Betriebsurlaub) und Wiedereinschalten in den Normalmodus
  - Erkennen des Ausfalls einer nicht fahrrelevanten Funktion (z.B. Defekt eines Lastaufnahmemittel-Sensors) führt zu einer automatischen Fahrt zum Service-/Wartungsbereich.

Aktuell bekannte AUTONOME Funktionen[2]

Im Folgenden werden Funktionen eines mobilen Roboters in der Intralogistik beschrieben, die der VDI-Fachausschuss als autonom einstuft. Diese werden funktional beschrieben und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile kurz bewertet. Zusätzlich werden sicherheitstechnische Aspekte aufgezeigt, als wichtige Hinweise für Hersteller und Betreiber, die diese Punkte ggf. in ihren Risiko- oder Gefährdungsbeurteilungen berücksichtigen müssen. Denn auch Fahrzeuge mit autonomen Funktionen unterliegen grundsätzlich der Maschinenrichtlinie! Somit ist immer

2) Diese Funktionen sind ebenfalls automatische Funktionen, aber eben auch autonom.

FTS-FORUM

Drei Experten im Gespräch (v.l.n.r.): Jan Kaulfuhs-Berger, Chefredakteur Technische Logistik, Dr. Günter Ullrich, Geschäftsführer Forum-FTS und Thomas Albrecht, Leiter Fahrerlose Transportsysteme beim Fraunhofer-Institut IML Dortmund

eine Risikobeurteilung gemäß DIN EN ISO 12100 erforderlich. Hinweise zur Risikominimierung finden sich insbesondere in den entsprechenden Typ B-Normen oder der Typ C-Norm DIN EN ISO 3691-4.

1. Selbstständige, dynamische Aktualisierung der Modellierung der Einsatzumgebung im laufenden Betrieb

Fortlaufende Aufnahme von Kartendaten durch die Fahrzeuge in Verbindung mit einer dynamischen Aktualisierung der Karte der Einsatzumgebung. Ziel dabei ist es, neue markante Umgebungsmerkmale zu erkennen, in das Umgebungsmodell aufzunehmen und für die Navigation zu nutzen. Weiter werden nicht mehr vorhandene Umgebungsmerkmale aus der Karte entfernt und nicht mehr für die Navigation genutzt. Im Idealfall werden die aktualisierten Kartendaten zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht, um alle Fahrzeuge in allen Bereichen zur dynamischen Aktualisierung zu nutzen und zugleich alle Kartendaten auf allen Fahrzeugen auf aktuellem Stand zu halten.

Positiv: Durch stets aktuelle Kartendaten erreicht man eine robuste Lokalisierung und ggf. weniger Störungen bei der Lokalisierung. Da keine bei der Erstkartierung erfassten temporären Objekte durch manuelle Nachbearbeitung gelöscht werden müssen, sinkt der Inbetriebnahme- und Wartungsaufwand.
Negativ: Es besteht ein Risiko, dass sich Ungenauigkeiten in die Lokalisierung einschleichen und erst (zu) spät erkannt werden.
Sicherheit: Die Funktion hat keine besonderen sicherheitstechnischen Aspekte.

2. Fahren auf freigegebenen Flächen ohne vorgegebene physische oder virtuelle Spuren

Das Fahrzeug kann auf dafür freigegebenen Flächen seine Fahrtroute eigenständig, i.d.R. unter Berücksichtigung von Regeln wie Rechtsfahrgebot, Einhalten von seitlichen Mindestabständen zu festen Einbauten, anderen Fahrzeugen, Personen etc., planen und abfahren.

Positiv: Diese Funktion sorgt für einen geringeren Inbetriebnahme-Aufwand, insbesondere bei heterogenen Fahrzeugflotten, da (Abstands-) Regeln automatisch eingehalten werden. Auch ist der laufende Aufwand bei Änderungen der freigegebenen Flächen und/oder der Anordnung von Layoutelementen (z.B. Quellen, Senken, Ladeplätze etc.) geringer.
Negativ: Wenn die freigegebene Fläche genutzt wird, wird auch der Flächenbedarf größer – im Vergleich zu geplanten festen Spuren. Auch sollte man mit dem Vergeben der Freiflächen vorsichtig sein, da die gesamte freigegebene Fläche über die komplette Höhe des Fahrzeugs inkl. Last frei sein muss. Die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen mit zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme nicht bekannten Objekten (z.B. Dreiecksleiter, Gabelspitze, Deichsel, schwebende Last etc.) ist auf freigegebenen Flächen größer als auf vorgegebenen Spuren. Die Vorhersagbarkeit von Fahrzeugbewegungen nimmt ab, was zu Irritationen bei den Mitarbeitern führen kann.
Sicherheit: Die freigegebenen Flächen müssen über die komplette Höhe des Fahrzeugs inkl. Last frei sein. Für die Einhaltung der Sicherheitsabstände sind Maßnahmen mit dem erforderlichen Sicherheitsniveau zumindest gemäß der Typ B-Norm DIN EN ISO 13854 umzusetzen.

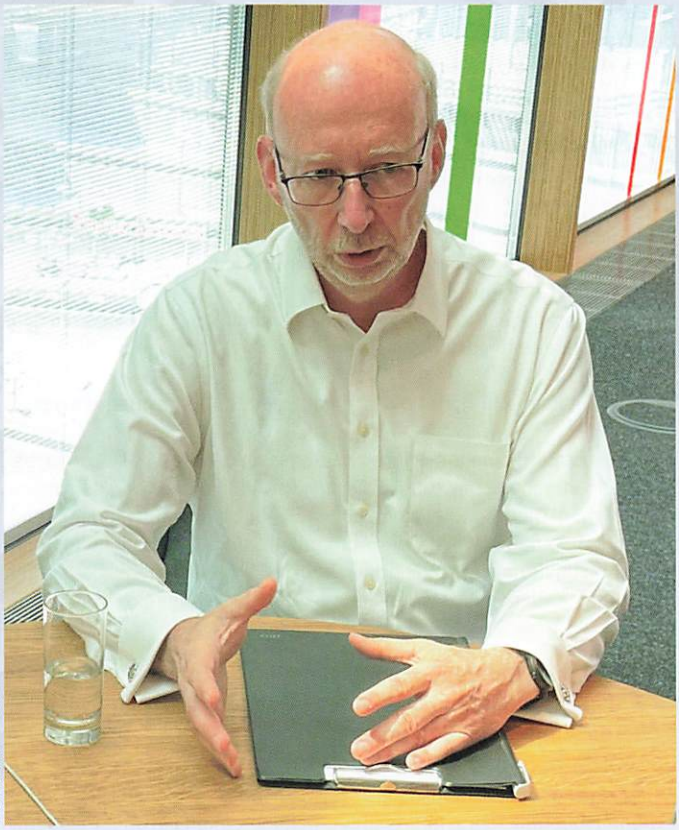
3. Umfahren von Hindernissen

Eigenständiges Ausweichen vor statischen und dynamischen Hindernissen mit dem Ziel, um diese herum zu fahren. Die Hindernisse werden zumindest zweidimensional mit geeigneter Sensorik erfasst, die Umfahrung erfolgt mit eigenständiger Bahnplanung ohne vorgegebene Fahrspuren oder Ausweichbuchten.

Positiv: Störungen im Ablauf durch temporäre Hindernisse werden vermieden.
Negativ: Diese Funktion hebt den generellen Vorteil des FTS auf, als Organisationsmittel die Abläufe der Produktionslogistik zu optimieren: Der Zwang zur Sauberkeit und Ordnung (aufgeräumte Einsatzumgebung) lässt nach und die Abläufe werden chaotischer. Die Vorhersagbarkeit von Fahrzeugbewegungen nimmt ab, was zu Irritationen bei den Mitarbeitern führen kann. Die Gefahr von Deadlocks nimmt zu.
Sicherheit: Die bei der Hindernisumfahren benutzte Fläche muss über die komplette Höhe des Fahrzeugs inkl. Last frei sein. Das Fahrzeug muss hier-

FTS-FORUM

„Wir sehen nicht, dass ein Fahrzeug entweder autonom ist oder nicht, sondern dass ein Fahrzeug autonome Funktionen hat."



FTS-FORUM

„Im Bereich der Forschung sind wir natürlich am Thema autonome Fuktionen dran – ein Forschungszweig in unserem Institut ist z. B. das Sortieren mittels autonomer Fahrzeuge."

bei die erforderlichen Sicherheitsabstände entsprechend der Typ B-Norm DIN EN ISO 13854 oder einer C-Norm wie der DIN EN ISO 3691-4 einhalten. Wird beim Umfahren eines Hindernisses die Gegenfahrbahn benutzt, ist ggf. für die Reichweite der Personenerkennungseinrichtungen die Summe der Bremswege der beteiligten Fahrzeuge zu berücksichtigen (insbesondere bei heterogenen Flotten). Das erforderliche Sicherheitsniveau ergibt sich aus der Risikobeurteilung. Diese muss Personenschäden, die durch die Kollision entstehen können, berücksichtigen. Dem Betreiber obliegt die Verantwortung, organisatorische Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter zu formulieren und deren Einhaltung sicherzustellen. Abhängig von der sensorischen Ausstattung der Fahrzeuge können diese Maßnahmen ggf. sehr umfangreich ausfallen.

4. Situationsbedingtes Umfahren von Hindernissen mit 3D-Umfelderfassung

Eigenständiges Ausweichen vor statischen und dynamischen Hindernissen mit dem Ziel, um diese herum zu fahren.
Die 3D-Umfelderfassung deckt dabei die Kontur des Fahrzeugs einschließlich der zu transportierenden Last ab. Die Umfahrung erfolgt unter Beachtung der Fahrzeugkontur mitsamt Last sowie unter Berücksichtigung von Informationen über andere Fahrzeuge, die ggf. der momentan beabsichtigten Umfahrung entgegenstehen. Diese Informationen können von der Leitsteuerung oder direkt von anderen Fahrzeugen zur Verfügung gestellt werden. Die Bahnplanung erfolgt dabei durch das Fahrzeug eigenständig und ohne vorgegebene Fahrspuren oder Ausweichbuchten.

Positiv: Entsprechend Nr. 3. Die positiven Aspekte sollten durch die 3D-Umfelderfassung und dem damit möglichen intelligenteren Agieren stark verbessert werden.
Negativ: Diese Funktion hebt den generellen Vorteil des FTS auf, als Organisationsmittel die Abläufe der Produktionslogistik zu optimieren, d.h. der Zwang zur Sauberkeit und Ordnung (aufgeräumte Einsatzumgebung) lässt nach. Die Vorhersagbarkeit von Fahrzeugbewegungen nimmt ab, was zu Irritationen bei den Mitarbeitern führen kann. Weitere Nachteile sollten bei guter Implementierung nicht auftreten.
Sicherheit: Entsprechend Nr. 3. Da die sensorische Ausstattung der Fahrzeuge hier umfangreicher als im vorigen Punkt ist, sind voraussichtlich weniger organisatorische Maßnahmen erforderlich.

5. Agieren auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung

Erkennung von unterschiedlichen Objekten (z.B. Paletten, Personen, Flurförderzeuge, Kraftfahrzeuge) und, sofern vorhanden, deren Bewegungsrichtung, sowie damit verbunden angepasstes Reagieren auf diese. Typisches Verhalten: Statische Hindernisse umfahren, auf bewegende Personen reagieren und ausweichen, z.B. von rechts kommenden Fahrzeugen die Vorfahrt gewähren, nicht aber das reine Lasthandling. Dies setzt in der Regel eine 3D-Umfelderfassung voraus. Die hierfür erforderliche Sensorik befindet sich wahlweise am Fahrzeug oder ist (flächendeckend) stationär montiert.

Positiv: Das Fahrzeug kann sich an seine Umgebung anpassen und angemessen reagieren. Es kommt auch mit anspruchsvolleren Umgebungen zurecht.
Negativ: Nutzt man dieses Potenzial lediglich für die Umfahrung von Hindernissen, gelten die gleichen Nachteile wie in Nr. 3 / 4.
Sicherheit: Die Anforderungen an die Sicherheit entsprechen den Angaben in Nr. 4. mit einem der Risikobeurteilung entsprechenden Sicherheitsniveau.

6. Lasthandling auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung

Eigenständiges Anfahren, Aufnehmen und Abgeben von Last/Ladungsträgern durch das Fahrzeug an grob definierten Positionen, einschließlich Anpassen an die genaue Lastposition auf Basis der Erkennung der Objekte und deren Klassifizierung. Hierzu können auch Funktionen gehören wie das eigenständige Einstellen des Lastaufnahmemittels auf die klassifizierte Last (Gabelzinken auf erkannten Ladungsträger angepasst einstellen). Die Klassifizierung der Last hinsichtlich ihrer Transportierbarkeit (Lastgewicht, Lastabmessungen/ Überstände, ggf. Lastsicherung, Qualität des Ladehilfsmittels etc.) und die lastabhängige Auswahl der Personenschutzfelder setzt eine speziell dafür geeignete Sensorlösung voraus.

Bei sicherheitsrelevanten Funktionen muss diese Lösung den dafür erforderlichen Performance-Level gemäß Maschinenrichtlinie erreichen. Auch hier kann diese Sensorik wahlweise am Fahrzeug oder stationär montiert sein.

Positiv: Diese Funktion ist die Basis für mehr Fehlertoleranz beim Lasthandling: Die Lastbereitstellung vereinfacht sich dadurch deutlich. Bei der manuellen Bereitstellung (z.B. mit Gabelhubwagen/Stapler ...) muss die Ladeeinheit nicht mehr so genau positioniert werden. Bei der automatischen Bereitstellung (z.B. Rollen-/Kettenförderer ...) unterschiedlicher, ggf. auch verschieden breiter Ladeeinheiten, können Zentriervorrichtungen entfallen.
Die Störanfälligkeit sinkt, und die Verfügbarkeit steigt.
Negativ: Fahrzeuge brauchen ggf. mehr Platz zum Rangieren vor ungenau bereitgestellten Ladeeinheiten.
Sicherheit: Die sicherheitsrelevanten Anforderungen werden anspruchsvoller.

Das Fahrzeug hat bei der Annäherung an Lasthandling-Positionen die erforderlichen Sicherheitsabstände einzuhalten. Unterschreitet es die Sicherheitsabstände, sind zusätzliche Maßnahmen mit dem entsprechenden Sicherheitsniveau umzusetzen.

Achtung: Ggf. ist die Umschaltung von Schutzfeldern aufgrund unterschiedlicher Ladeeinheiten mit dem entsprechenden Sicherheitsniveau umzusetzen.

Bei der Planung und Inbetriebnahme ist der Fokus auf die technischen Schutzeinrichtungen (z. B. Sicherheitslichtvorhang, Zäune, Stehverhinderer ...) zu legen. Weiterhin sind organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. Bodenmarkierung, Beschilderung, Mitarbeiterunterweisung ...) zu ergreifen.

7. Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb

Dynamische Routenplanung für die gesamte FTF-/AMR-Flotte unter Berücksichtigung der anderen Flurförderzeuge und Verkehrsteilnehmer. Berücksichtigt werden die aktuellen Verkehrsverhältnisse und/oder die Systemauslastung sowie das aktive Reagieren auf Verkehrsstörungen durch die eigene Flotte, andere Verkehrsteilnehmer oder durch sonstige Objekte. Hier wird vorausgesetzt, dass die Automatikfunktion „Situationsbedingtes Umplanen von Routen durch das System (Dynamic Routing)" vorhanden ist.

Hinweis: die Wirksamkeit der Funktion ist abhängig von der Qualität der Daten, insbesondere der Ortungsinformationen.
Positiv: Bei einer Behinderung/Störung auf der geplanten Route zum Zielpunkt können Transportaufträge dennoch erledigt werden.
Negativ: Der Zeitzuschlag für die Alternativroute kann ggf. länger dauern als die durch die Behinderung versachte längere Fahrzeit auf der ursprünglichen Strecke. Es besteht das Risiko, dass die Funktion von den Mitarbeitern missbräuchlich benutzt wird, indem sie z. B. Hindernisse im Fahrweg zur Regel machen und/oder nicht zeitnah beseitigen. Eine genaue Planbarkeit der Transportaufträge hinsichtlich der Durchführungszeit pro Auftrag ist nicht mehr möglich. Genau geplante Abläufe mit dem Ziel einer exakten bedarfsgerechten Anlieferung werden erschwert.

Sicherheit: Es sind keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich, solange das Wegenetz nur aus geeigneten Routen besteht.

8. Verkehrsregelung unter Berücksichtigung des Mischbetriebs

Verkehrsregelung, die auf Regeln (allgemeine, temporäre oder räumlich begrenzte) oder Zeichen (Verkehrsschilder, Ampeln) basiert und die nicht nur die eigene FTF-/AMR-Flotte berücksichtigt, sondern auch den Mischverkehr aus Flurförderzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern. Hier wird vorausgesetzt, dass die Automatikfunktion „Situationsbedingte Verkehrsregelung" vorhanden ist.

Positiv: Es kann ein höherer Durchsatz des Gesamtsystems erreicht werden.
Negativ: Es wird eine umfangreiche Sensorik und Software zur Erfassung der Umgebung und Klassifizierung benötigt, um ein gutes Ergebnis zu erreichen. Das bedeutet einen hohen Realisierungsaufwand (Kosten). Sicherheit: Genauso wie bei der Automatikfunktion „Situationsbedingte Verkehrsregelung" muss die Risikobeurteilung Personenschäden, die durch eine Kollision entstehen können, berücksichtigen.

9. Selbstständiges Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugzustandsdaten ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebes

Fahrzeuge werten Zustandsdaten aus (z. B. schwergängige Antriebe, stark erhöhter Schlupf, keine ausreichend genaue Lokalisierung, Probleme der Energieversorgung, ...) und reagieren situationsabhängig auf unvorhergesehene Zustände. Sie versuchen beispielsweise selbstständig, sich aus dem Verkehrsfluss und aus dem System herauszunehmen, ggf. mit reduzierter Geschwindigkeit, um für den Rest der Flotte kein Hindernis darzustellen.

Fallbeispiel 1: Montage-FTF in Batteriemontage

		Funktion (laut Anbieter)		Funktion (in der Anwendung / im Use Case)			Erfüllungsgrad (für Anwendung)	Bemerkungen (Relevanz der autonomen Funktion für den Usecase unter Berücksichtigung der Stärken und Schwächen)
Pos.	Bezeichnung der autonomen Funktion	vorhanden	nicht vorhanden	erwünscht	egal (nicht relevant)	unerwünscht		Montage-FTF (nicht spurgeführt) in Batteriemontage
1	Dynamische Aktualisierung der Modellierung der Einsatzumgebung	◉	○	◉	○	○	1	Für stabile Navigation wichtig!
2	Fahren auf freigegebenen Flächen	○	◉	○	○	◉	1	Im Montageumfeld kritisch!
3	Umfahren von Hindernissen	○	◉	○	○	◉	1	Im Montageumfeld kritisch!
4	Umfahren von Hindernissen mit 3D-Umfelderfassung	○	◉	○	○	◉	1	Im Montageumfeld kritisch!
5	Agieren auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung	○	◉	○	◉	○	0	Wäre wünschenswert, FTF kann aber auf Grund vorgegebener Fahrwege nur bedingt reagieren!
6	Lasthandling auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung	○	◉	○	◉	○	0	Last ist klar definiert, somit kein Vorteil!
7	Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb	◉	○	◉	○	○	1	Sofern Alternativrouten möglich sind, wünschenswert!
8	Verkehrsregelung unter Berücksichtigung des Mischbetriebs	○	◉	◉	○	○	0	Im Montageumfeld durchaus von Vorteil!
9	Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugzustandsdaten	○	◉	○	◉	○	0	Wäre wünschenswert, FTF kann aber auf Grund vorgegebener Abläufe nur bedingt reagieren!
10	Leitsteuerungsfunktionen in den Fahrzeugen	◉	○	○	◉	○	0	Neutral
	Autonomie-Funktionen	**3 (von 10)**		3	4	3	5 (von 6)	
		30,0%					**83,3%**	**Die gewünschten Anforderungen werden zum Großteil erfüllt!**
		Autonomie-Index AIx		**Bemerkung:** AIx ist bezogen auf alle Autonomiefunktionen, AEIx ist bezogen auf die relevanten Autonomiefunktionen			**Anforderungs-Erfüllungs-Index AEIx**	

Tabelle ①: Autonomie-Index und Anforderungserfüllungs-Index für das Montage-FTF.

DS AUTOMOTION, A-LINZ

Positiv: Es kann ein höherer Durchsatz für die verbliebenen Fahrzeuge erreicht werden.
Negativ: Damit das möglich ist, sind zusätzliche Sensoren samt intelligenter Auswertung im Fahrzeug erforderlich.
Sicherheit: Es sind keine zusätzlichen Sicherheitsanforderungen gegenüber dem Normalbetrieb erforderlich.

10. Teilweises oder komplettes Verlagern von Leitsteuerungsfunktionen auf die Fahrzeugseite

Gemeint ist hiermit bei einer Flotte von zwei oder mehr Fahrzeugen die Auslagerung von Entscheidungsaufgaben an die Fahrzeuge unter Verzicht auf zentrale Leitsteuerungsfunktionen.
Beispiele für derartige Entscheidungsaufgaben sind die Verteilung von Transportaufträgen an einzelne Fahrzeuge (vollständiger Verzicht auf eine Leitsteuerung) oder die Regelung des Verkehrs in einzelnen Verkehrsbereichen wie Kreuzungen und Einmündungen oder an Übergabestationen (ohne Einbeziehung der Leitsteuerung).
Hierbei können Multiagentensysteme oder dezentralen Verhandlungsstrategien zum Einsatz kommen. Zwingende Voraussetzung für derartige dezentrale Entscheidungsaufgaben ist ein leistungsfähiges (breitbandiges, schnelles, latenzarmes) und flächendeckend vorhandenes Funkkommunikationssystem.

Ein Sonderfall ist die gemeinsame Ausführung von speziellen Aufgaben, wie der Transport von Lasten, die vom Gewicht und/oder den Abmessungen her nicht von einem Fahrzeug allein ausgeführt werden können. Hierbei bilden zwei oder mehr Fahrzeuge physisch durch Ankoppeln oder virtuell durch softwareseitige Synchronisierung einen entsprechenden Verbund, der den Transport der Last bewältigen kann. Nach Abschluss der Aufgabe löst sich der Verbund eigenständig wieder auf.

Positiv: Durch die Verteilung der Funktion auf mehrere Rechner wird eine höhere Resilienz erreicht.
Negativ: Jedes Fahrzeug benötigt einen entsprechend leistungsfähigen Rechner, und es ist ein leistungsfähiges Funkkommunikationssystem erforderlich. Beides führt ggf. zu höheren Kosten.
Sicherheit: Es ist zu prüfen, ob durch die Verlagerung ein sicherheits-technischer Zusammenhang entsteht. Trifft dies zu, dann ergibt sich die Notwendigkeit einer CE-Zertifizierung nicht nur für die einzelnen Fahrzeuge, sondern für das komplette System (s. VDI Statusreport Technik – FTS-Leitfaden Sicherheit für Planer). Im Falle eines Fahrzeugverbundes besteht unabhängig der Verlagerung von Leitsteuerungsfunktionen immer ein sogenannter sicherheitstechnischer Zusammenhang.

Bestimmung von Autonomie- und Anforderungserfüllungs-Index

Nachdem im ersten Teil sowohl typische Automatikfunktionen als auch eine Reihe von derzeit bekannten bzw. von einigen FTF-Herstellern angebotenen Autonomie-Funktionen von Fahrerlosen Transportsystemen beschrieben wurden, soll nun eine Möglichkeit vorgestellt werden, wie beurteilt werden kann,

- welche Autonomiefunktionen bei dem betrachteten (entweder bereits vorhandenen oder geplanten/in der Beschaffungsphase befindlichen) System vorhanden sind
- und inwieweit die jeweilige Funktion für den Anwendungsfall relevant (sinnvoll, nützlich, erforderlich) ist.

Im Ergebnis entstehen dann:

- der **Autonomie-Index (AIx):** eine Klassifizierung des Fahrzeugs bzw. des Fahrzeugsystems hinsichtlich seiner Autonomie und
- der **Anforderungserfüllungs-Index (AEIx):** eine Beurteilung der Lösung hinsichtlich der Eignung für eine konkrete Aufgabenstellung.

Der AIx errechnet sich aus der Summe der vorhandenen, bezogen auf die aktuell zehn zuvor beschriebenen Autonomiefunktionen.

Fallbeispiel 2: Kurierfahrten im Krankenhaus

		Funktion (laut Anbieter)		Funktion (in der Anwendung / im Use Case)			Erfüllungsgrad (für Anwendung)	Bemerkungen (Relevanz der autonomen Funktion für den Usecase unter Berücksichtigung der Stärken und Schwächen)
Pos.	Bezeichnung der autonomen Funktion	vorhanden	nicht vorhanden	erwünscht	egal (nicht relevant)	unerwünscht		SALLY Kurier im Krankenhaus (öffentlicher Bereich)
1	Dynamische Aktualisierung der Modellierung der Einsatzumgebung	◉	○	◉	○	○	1	Im Krankenhaus unverzichtbar!
2	Fahren auf freigegebenen Flächen	◉	○	◉	○	○	1	Im Krankenhaus unverzichtbar!
3	Umfahren von Hindernissen	◉	○	◉	○	○	1	Im Krankenhaus unverzichtbar!
4	Umfahren von Hindernissen mit 3D-Umfelderfassung	◉	○	◉	○	○	1	Im Krankenhaus unverzichtbar!
5	Agieren auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung	○	◉	◉	○	○	0	Wäre sehr wünschenswert!
6	Lasthandling auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung	○	◉	○	○	◉	1	Für Kurier, der von Hand be- und entladen wird, nicht relevant!
7	Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb	◉	○	○	◉	○	0	Neutral
8	Verkehrsregelung unter Berücksichtigung des Mischbetriebs	○	◉	○	◉	○	0	Neutral, da kein hohes Verkehrsaufkommen an Kurieren und anderen Fahrzeugen zu erwarten ist!
9	Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugzustandsdaten	○	◉	◉	○	○	0	Wäre wünschenswert!
10	Leitsteuerungsfunktionen in den Fahrzeugen	◉	○	○	◉	○	0	Neutral
	Autonomie-Funktionen	**6 (von 10)**		6	3	1	5 (von 7)	
		60,0%					**71,4%**	**Die gewünschten Anforderungen werden zum Großteil erfüllt!**
		Autonomie-Index AIx		**Bemerkung:** AIx ist bezogen auf alle Autonomiefunktionen, AEIx ist bezogen auf die relevanten Autonomiefunktionen			**Anforderungs-Erfüllungs-Index AEIx**	

Tabelle ②: Autonomie-Index und Anforderungserfüllungs-Index für den Kurier AMR

DS AUTOMOTION, A-LINZ

Der AEIx ergibt sich aus dem Abgleich des AIx mit den Anforderungen der Anwendung. Dabei müssen vom Anwender alle Autonomiefunktionen hinsichtlich ihrer Notwendigkeit für die betrachtete Anwendung bewertet werden: erwünscht – egal – nicht erwünscht.

Aus der Sicht des VDI Fachausschuss FTS ist es sinnvoll und erforderlich, über das reine Vorhandensein einer Autonomiefunktion hinaus auch ihre Eignung bzw. Notwendigkeit für eine spezifische Anwendung zu betrachten – denn:

» Eine autonome Funktion ist nicht grundsätzlich gut oder schlecht – sie muss vielmehr zur jeweiligen Anwendung passen!

Beispielsweise ist die **Autonome Hindernisumfahrung** für den Reinigungsroboter in der Flughafenhalle sicherlich eine die Produktivität steigernde und daher notwendige Funktion – für ein FTF in einer durchgetakteten und auf größtmögliche Effizienz des Transportsystems ausgelegten Produktion ist sie aber möglicherweise nicht zielführend.
Das oben erwähnte Analyse- und Bewertungstool ist ein EXCEL-Arbeitsblatt, das auf der Web-Seite des VDI und des Forum-FTS zum kostenlosen Download bereitgestellt wird (ebenso wie der gesamte Autonomie-Leitfaden).

Um die Wirkungsweise des Verfahrens und das Tabellenblatt zu erklären, werden im Folgenden zwei Praxisbeispiele des FTS-/AMR-Lieferanten DS Automotion aus Österreich dargestellt. Das erste Beispiel beschreibt eine innerbetriebliche Anwendung, nämlich eine moderne Montagelinie für Akkumulatoren für E-Autos. Das zweite Beispiel ist eine Anwendung im öffentlichen Bereich, nämlich Kurierfahrten in einem Krankenhaus. Anhand dieser völlig unterschiedlichen Use Cases wird deutlich, wie unterschlich die Anforderungen und die zum Einsatz kommenden Lösungen sein können.

Fallbeispiel 1: Montage-FTF in Batteriemontage

Bei der Deutschen Akkumotive in Kamenz werden Akkus (Hochvoltspeicher) für E-Autos produziert (Bild ❶, DS Automotion). Die Montageanlage ist mit Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) ausgerüstet, auf denen die Hochvolt-Akkus transportiert und montiert werden. Eine FTF-Flotte von 50 freifahrenden FTF übernimmt die Logistik-Prozesse im Taxibetrieb in den verschiedensten Bereichen des gesamten Werkes. Eine weitere Flotte von ca. 100 Fahrzeugen der gleichen Bauart unterstützt die Montage-Prozesse im Linienbetrieb.

Tabelle ① zeigt, wie der verhältnismäßig niedrige Autonomie-Index der FTF von 30 % zur Anwendung passt: Der Anforderungserfüllungs-Index liegt bei über 83 %. Die Bemerkungen enthalten zu jeder Autonomie-Funktion weitere fallspezifische Details. Hier wird auch begründet, warum bestimmte Autonomie-Funktionen in dieser Anwendung unerwünscht sind.

Fallbeispiel 2: Kurierfahrten im Krankenhaus

Im Uniklinikum Köln werden mobile Roboter für Kurierfahrten zwischen der zentralen Apotheke und verschiedenen Stationen eingesetzt (Bild ❷, DS Automotion). Die Be- und Entladung der Roboter mit Medikamenten erfolgt durch zugriffsberechtigtes Apotheken-/Stationspersonal. Die Fahrt führt durch öffentliche Bereiche mit Patienten, Besuchern und Stationspersonal.

Diese Anwendung erfordert deutlich mehr Autonomiefunktionen als die im ersten Beispiel. So weist Tabelle ② einen Autonomie-Index der mobilen Roboter von vergleichsweise hohen 60 % aus. Der Abgleich mit den Erfordernissen des Use Case führt zu einem hohen Anforderungserfüllungs-Index von über 70 %. Damit ist die Eignung des Roboters für die Anwendung (bezogen auf die Autonomie) eindeutig nachgewiesen!

Dieser Kurier-Roboter verfügt über sechs der insgesamt zehn Autonomiefunktionen, was eine hohe Anzahl ist. Es soll an dieser Stelle betont werden, dass die Realisierung der Autonomiefunktionen technisch anspruchsvoll ist und manche Funktionen zurzeit noch nicht zur Standard-Ausrüstung von AMRs gehören. So ist in diesem Fall die Ehrlichkeit der Angaben erwähnenswert, dass die Funktionen 5 und 9 durchaus wünschenswert wären, allerdings (noch) nicht im Funktionsumfang der Roboter verfügbar sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Der VDI-Fachausschuss FTS veröffentlicht diesen Leitfaden in der Hoffnung, den Umgang mit der modernen Begriffswelt des FTS/AMR zu erleichtern. Es soll ein neutrales, praktikables und aussagekräftiges Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, mit dem angebotene/beschriebene FTS-/AMR-Lösungen hinsichtlich der Autonomie bewertet werden können. Dieses Hilfsmittel wird dem schriftlichen Leitfaden als EXCEL-Tool beigefügt. Das ganze Paket steht auf www.forum-fts.com zum kostenlosen Download zur Verfügung.

Mit diesem Autonomie-Paket wird ein Weg aufgezeigt, mit dem Buzzword Autonomie bei mobilen Robotern umzugehen. Es werden folgende Fragen beantwortet, bzw. zur Diskussion gestellt: Was ist Autonomie? Wie „autonom" ist ein bestimmtes Fahrzeug? Ist die Bezeichnung AMR berechtigt? Passt die Funktionalität einer Lösung zur Anwendung?

Den Autoren dieses Leitfadens ist klar, dass nicht alle Leser/Nutzer allen Ausführungen zustimmen werden. Auch wenn hier versucht wurde, unvoreingenommen, neutral und kompetent zu arbeiten, ist eine weiterführende Diskussion beabsichtigt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass es in unregelmäßigen Abständen neue, verbesserte Versionen des Textes sowie des EXCEL-Tools geben wird. Diskussionsbeiträge können per E-Mail gerichtet werden an: vdi@forum-fts.com

Gegenstand dieses Beitrags:

VDI-Leitfaden:
„Leitfaden Autonomie für mobile Roboter – Statusreport Technik"
aus dem Fachausschuss FA 309 „Fahrerlose Transportsysteme (FTS)",
Stand: Dezember 2021.

Autoren des Leitfadens:
Thomas Albrecht, Frank Bauder, Jochen Luz, Waldemar Osterhoff, Dr. Kai Pfeiffer, Karl Rapp und Dr. Günter Ullrich.

Dr.-Ing. Günter Ullrich,
Leiter des VDI Fachausschusses FTS und des Forum-FTS, Voerde

Dipl.-Ing. Thomas Albrecht,
Leiter FTS im Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, Dortmund

FORUM FTS AGV

www.forum-fts.com | info@forum-fts.com

SCHMUCKBILD: CHESKY/STOCK.ADOBE.COM