

Leitfaden

Autonomie für mobile Roboter

**Begriffe, Erklärungen, Abgrenzungen und Vorstellung eines
„Autonomie-Index“ für Fahrerlose Transportsysteme,
bestehend aus FTF (engl. AGV) und AMR**



Herausgeber:

**Forum-FTS (www.forum-fts.com)
VDI-Fachausschuss 309 „Mobile Robotik“**

Autoren:

Thomas Albrecht (Fraunhofer IML), Jochen Luz † (MLR System), Waldemar Osterhoff (Forum-FTS),
Dr. Kai Pfeiffer (Fraunhofer IPA), Karl Rapp (DS Automotion), Dr. Günter Ullrich (Forum-FTS), Jens Wegener
(K.Hartwall), Dr. Ullrich Scheunert (FusionSystems) und Peter Stoiber (Digitale Faszination)

Ausgabe: Juni 2026, Version 2.0

Dieses Dokument wurde vom VDI FA 309 „Mobile Robotik“ erstellt und liegt der technischen
Redaktion des VDI zur Erstellung eines VDI-Statusreports vor.

Mit Veröffentlichung des VDI-Statusreports wird dieses Dokument zurückgezogen.

Inhaltsverzeichnis

1	MOTIVATION	3
2	BEGRIFFSWELT DER AUTONOMIE	4
3	ABGRENZUNG VON AUTOMATISCHEN UND AUTONOMEN FUNKTIONEN	9
3.1	AUTOMATISCHE Funktionen	9
3.2	Aktuell bekannte AUTONOME Funktionen	11
4	BESTIMMUNG VON AUTONOMIE- UND ANFORDERUNGSERFÜLLUNGS-INDEX	18
4.1	Beispiel 1: FTF in der Batteriemontage	19
4.2	Beispiel 2: AMR für Kurierfahrten im Krankenhaus	20
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	22
6	ABKÜRZUNGEN UND BEGRIFFE	23

1 Motivation

Wo es früher nur FTS und FTF / AGV gab, gibt es seit einiger Zeit 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. Da ein allgemein anerkanntes Verständnis oder gar eine Definition der Begriffe automatisiert, voll-automatisiert, autonom, hoch-autonom sowie intelligent im Bereich der Intralogistik fehlt, kommt es zu einer Vielzahl von schwer miteinander vergleichbaren Angeboten und in deren Folge zu Missverständnissen und enttäuschten Erwartungen bei den Anwendern.

Ziel dieses Leitfadens ist es, ein gemeinsames Verständnis dieser Begriffswelt zu erreichen und darauf basierend für Anbieter und Anwender ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, mit dem eine neutrale und praktikable Bewertung der Autonomie von Fahrerlosen Transportsystemen mit FTF (engl. AGV) und AMR, die in der Intralogistik eingesetzt werden, ermöglicht wird.

2 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 sind: Durchgeplante, komplexe Logistikprozesse in Unternehmen, in denen mittels Serien- / Massenfertigung produziert sowie höchste Leistung und Verfügbarkeit in Lager und Kommissionierung gefordert wird.

Typische Beispiele sind: 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“ (Steuerungsfunktionen, Sensorik, Autonomie) sehr unterscheiden.

Seit einigen Jahren gibt es Bestrebungen, anders als beim klassischen FTS, das im Rahmen eines Systemgeschäfts beschafft und als Projekt realisiert wird, den Fokus auf die Fahrzeuge zu legen und lediglich diese zu beschaffen (Produktgeschäft). Diese Fahrzeuge werden häufig nicht als FTF, sondern als **Mobiler Roboter** (MR), Autonomer Mobiler Roboter (AMR), oder schlicht „robot“ bezeichnet. Daneben gibt es zahlreiche weitere Bezeichnungen, die häufig auch Produktnamen einzelner Hersteller sind.

Im Vordergrund steht also der mobile Roboter, der „einfach“ in eine bestehende Industrieumgebung integriert werden und nach kurzer Inbetriebnahmezeit einfache Dienstleistungen (wie Transporte, Handhaben, Reinigen, Information) übernehmen kann. Es ist möglich, dass einige wenige solcher Roboter miteinander kommunizieren und sich die Aufgaben teilen. Solche Fahrzeuge sind vielfältig einsetzbar, benötigen wenig Planung, kaum Vorbereitungen der Einsatzumgebung und kurze Zeiten für das in Betrieb nehmen. Sie können ggf. ohne eine stationäre FTS-Leitsteuerung funktionieren, wenn sie selbst in Abstimmung mit den anderen MRs ihre Aufgaben finden, verteilen und ausführen.

Anmerkung: Im angelsächsischen Sprachraum wird der Begriff „robot“ häufig nicht wie der deutsche Begriff „Roboter“ verstanden, sondern steht eher für eine automatisch arbeitende Maschine, häufig auch eine automatisch fahrende mobile Plattform / ein automatisches Fahrzeug; ein Roboterarm/ Manipulator kann, muss aber nicht vorhanden sein. So bezeichnet auch ein „robot car“ nicht ein Auto mit einem darauf montierten Roboter, sondern sehr häufig lediglich eine mobile, automatisch fahrende Plattform ohne jegliche weitere Anbauteile/Komponenten. Dementsprechend werden „robots“ auch nicht zwingend in Industrieumgebungen eingesetzt, sondern können auch außerhalb von Werkhallen und sogar im öffentlichen Raum angetroffen werden.

Da sich die in solchen Fahrerlosen Transportsystemen eingesetzten MR und / oder FTF nicht grundsätzlich unterscheiden – in beiden Fällen können aber Funktionalität, Komplexität und Intelligenz stark variieren –, gelten unter anderem die VDI-Richtlinienreihen 2510 und 2710 für beide gleichermaßen. Auch die Richtlinien zur FTS-Sicherheit und die FTS-Leitfäden Sicherheit (für Planer und Betreiber) sind anwendbar bzw. anzuwenden.

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.

In der breiten Öffentlichkeit wurde der Begriff Autonomie im technischen Kontext erstmals ab etwa 2010 im Zusammenhang mit **autonomen Pkw** (selbstfahrende Autos im öffentlichen Straßenverkehr) wahrgenommen. In technisch interessierten Kreisen erregte die vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium als Wettbewerb angelegte *DARPA Grand Challenge*, mit der die Entwicklung autonom fahrender Landfahrzeuge vorangetrieben werden sollte, bereits vorher (2004, 2005, 2007) große Aufmerksamkeit.

Beim Begriff des autonomen Pkw handelt es sich bei genauem Hinsehen um eine sprachliche Ungenauigkeit, denn die zuständige Norm SAE J3016¹, die auch die Grundlage für das im Mai 2021 vom Bundestag verabschiedete Gesetz zum automatischen Fahren (auf dafür frei gegebenen Streckenabschnitten öffentlicher Straßen) bildet, kennt bzw. erwähnt den Begriff „autonom“ gar nicht. Es werden vielmehr fünf verschiedene Automatisierungsstufen (Level) beschrieben. Die höchste Stufe, in der kein Fahrer mehr einzugreifen braucht und auch nicht kann (mangels Bedienelementen wie Lenkrad, Gas-/Bremspedal etc.), wird als „Full Automation“ („Vollautomatisierung“) bezeichnet. Dieser Level 5 wird häufig (vor allem umgangssprachlich) im deutschsprachigen Raum auch als autonomes Fahren bezeichnet.

Wenn man nun die Abwesenheit eines menschlichen Fahrers zum – alleinigen – Kriterium für die Entscheidung macht, ob ein Fahrzeug als autonom bezeichnet werden kann/darf, könnte man zu dem Ergebnis kommen, dass Fahrerlose Transportfahrzeuge und mobile Roboter autonom agieren, da sie per Definition ohne menschliche Fahrer betrieben werden. Bei etwas genauerem Hinsehen stellt man aber fest, dass in bestimmten Situationen sehr wohl noch ein menschlicher Eingriff möglich und nötig ist, dass ein FTF/MR also nicht immer vollkommen selbstständig auf alle im Tagesbetrieb auftretenden Situationen reagieren kann.

Die Fähigkeiten eines vollautomatisch fahrenden Pkw gehen also in einigen Situationen – z. B. Fahrt bei hohem Tempo und hohem Verkehrsaufkommen, bei schlechter Sicht (nachts, bei Nebel oder Schneeregen), bei Annäherung an eine temporäre Fahrbahnsperre wg. einer Baustelle – weit über die Anforderungen an ein FTF / einen MR hinaus. In anderen Bereichen – beispielsweise bei Lastwechselvorgängen einzuhaltende Positioniertoleranzen im Bereich weniger Millimeter – sind die Anforderungen an FTF/MR dagegen deutlich höher.

Die pauschale Aussage, jedes FTF / jeder MR ist ein autonomes Fahrzeug, ist nicht korrekt, kann einen falschen Eindruck erwecken und verleitet zu falschen Annahmen – und dennoch erfolgt genau dies in der jüngeren Vergangenheit immer häufiger. Auf vielen Hersteller-Webseiten wird der Begriff „autonom“ als Synonym für selbstfahrend, fahrerlos und vollautomatisch verwendet.

¹ 2014 von der SAE International herausgegeben, engl. Original-Titel „*Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*“

Um das Verständnis für die Bandbreite des Themengebiets zu wecken und die Basis für die Ausführungen in den nachfolgenden Kapiteln zu bilden, folgen zunächst einige Aussagen und Erläuterungen zur Autonomie technischer Systeme von Mitarbeitern maßgeblicher Forschungseinrichtungen.

Prof. Hans-Jörg Kreowski, Professor (i. R.) für Theoretische Informatik, Universität Bremen
Ausschnitt aus einer schriftlichen Ausarbeitung eines Vortrags zu „Autonomie in technischen Systemen“, der im Rahmen einer Veranstaltung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 10. Dezember 2015 gehalten wurde; im März 2018 veröffentlicht

„... Autonomie in technischen Systemen ist heute immer von Menschen gemacht und daran wird sich vorläufig nichts ändern. Es handelt sich also nicht um Autonomie im Sinne von Philosophie und Biologie, sondern um Artefakte, um eine Analogiebildung, ähnlich wie künstliche Intelligenz nicht mit menschlicher Intelligenz vergleichbar ist und maschinelles Lernen mit dem Lernen von Lebewesen wenig bis gar nichts zu tun hat. Autonome technische Systeme haben kein Bewusstsein, sind nicht vernunftbegabt, können nicht denken.

Das „Kind“ braucht einen Namen. Im technisch-wissenschaftlichen Bereich bedient man sich dabei gern bekannter Begriffe, wenn ihre eigentliche Bedeutung gewisse Ähnlichkeiten mit dem neu Benannten aufweist. Von technischer, künstlicher, maschineller Autonomie zu sprechen, ist also durchaus nachvollziehbar, aber darf nicht mit dem ursprünglichen Autonomiebegriff verwechselt werden. Wenn dieser Unterschied nicht beachtet oder sogar bewusst vertuscht wird, ist das Irreführung. Leider passiert das im Zusammenhang mit technischer Autonomie häufig – teils unbedacht, teils absichtsvoll. ...“

Mensch-Maschine-Interaktion, Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik,

Herausgeber: Kevin Liggieri, Oliver Müller, Springer-Verlag 2019

Kap. 34 „Automation / Automatisierung“ von Martina Heßler, TU Darmstadt

„Der Begriff »Automation« bezeichnet die Delegation von Tätigkeiten an Maschinen, die in der Lage sind, diese selbstständig auszuführen. Prinzipielles Ziel von Automatisierung ist es, einen Prozess ohne menschliche Handlungen ablaufen zu lassen. Kern des Begriffs ist die automatische Steuerung und Kontrolle von Prozessen auf der Grundlage eines rückgekoppelten Regelsystems. [...] Automatisierung veränderte und verschob stets das Verhältnis von Mensch und Maschinen, allerdings nicht immer in der erwarteten Weise. So machten Automatisierungsversuche auch deutlich, was Maschinen (noch) nicht können und unterstrichen umso deutlicher die Bedeutung und Notwendigkeit menschlicher Fähigkeiten.“

Kap. 35 „Autonomie“ von Niels Gottschalk-Mazouz(†), Universität Bayreuth

„Innerhalb technischer Autonomie werden für gewöhnlich Grade der Autonomie als Grade der Unabhängigkeit vom Menschen und der Umwelt bei der technischen Ausführung bestimmter Aufgaben unterschieden. [...]

Mit zunehmender Autonomie nimmt typischerweise die Häufigkeit und Dauer von Benutzerinterventionen ab und verändert sich die Art der Benutzerinteraktion; sie wird globaler, abstrakter und höherwertiger. [...] Autonomie bezeichnet dann die Abhängigkeit des zukünftigen Verhaltens nur von inneren Zuständen des Systems (inklusive Sensorik), sowie die Fähigkeiten, denselben Auftrag in verschiedenen Situationen und in denselben Situationen verschiedene Aufträge auszuführen. Anders gesagt geht es hier um Innensteuerung, Adaptivität und Flexibilität. [...]

Drittens schließlich wird Autonomie mit der Fähigkeit verbunden, uns zu überraschen. Autonome Systeme können demnach dazulernen, weisen nicht explizit bei der Konstruktion vorgegebene Verhaltensweisen oder uns unbekannte Zustände und Gesetze auf. Anders gesagt geht es um Lernen, Innovation und Unvorhersagbarkeit.“

Blog: Autonom oder vielleicht doch nur hochautomatisiert, was ist eigentlich der Unterschied?

Dr. Rasmus Adler, Program Manager “Autonomous Systems”, Fraunhofer IESE, Kaiserslautern

(Quelle: <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/autonom-oder-vielleicht-doch-nur-hochautomatisiert-was-ist-eigentlich-der-unterschied/>)

„... Sowohl autonom als auch vollautomatisiert beziehen sich darauf, dass etwas zielgerichtet und ohne menschliche Weisung passiert. Die Begriffe werden neuerdings – insbesondere beim Thema „automatisiertes Fahren“ – häufig synonym verwendet. ...

Wenn alles im Vorfeld genau durchgedacht ist, auch wenn es noch so kompliziert ist, und wir dem System die durchdachten kausalen Zusammenhänge einprogrammieren, dann reden wir von automatisiert. Wenn wir die kausalen Zusammenhänge aber gar nicht richtig erfassen und dem System mit KI-Ansätzen nur indirekt sagen, wie es sich in einer bestimmten Situation verhalten soll, dann reden wir von autonom. ...“

Deutsches Zentrum für künstliche Intelligenz – DFKI

(Quelle: <https://www.dfki.de/web/forschung/forschungsthemen/autonome-systeme/>)

„Autonome Systeme handeln selbstständig, lernen, lösen komplexe Aufgaben und können auf unvorhersehbare Ereignisse reagieren. Dabei handelt es sich nicht nur um klassische Roboter, sondern ebenso um intelligente Maschinen, Geräte oder Softwaresysteme, die im Interesse des Menschen in speziellen Bereichen eingesetzt werden. So wird beispielsweise die Mobilität der Zukunft von autonomen Fahrzeugen bestimmt werden. Auch im häuslichen Umfeld werden autonome Systeme beeinträchtigte Menschen unterstützen. Zudem werden sie in der Produktion flexibel mit den Arbeitenden interagieren können und dort selbsttätig handeln, wo es für den Menschen zu gefährlich ist. Künstliche Intelligenz liefert die Schlüsseltechnologien in den Bereichen Maschinelles Lernen, Cyber-Sicherheit und agiler IT-Infrastrukturen, die für die Weiterentwicklung und den Einsatz autonomer Systeme maßgeblich sind.“

Katharina Giese, Fraunhofer IOSB-INA Autonome Anlagenkomponenten

(Quelle: <https://www.vdi.de/news/detail/autonome-systeme-wie-und-warum-sollte-man-sie-vergleichen>)

„Generalisiert man die Grundstrukturen Autonomer Systeme, ergeben sich die Elemente ...

- **Zielerkennung:** Technische Systeme werden für bestimmte Anwendungszwecke entworfen. Die erste Gemeinsamkeit ist das Ziel, zu dessen Erfüllung ein solches System beiträgt.
- **Selbstständige Umfelderkennung:** Autonome Systeme müssen ihre Umgebung beziehungsweise ihren Kontext wahrnehmen, um den Grad der Zielerfüllung einschätzen zu können. Diese Umfelderkennung übernehmen z. B. Sensoren.
- **Selbstständig generierter Handlungsplan:** Um ein gegebenes Ziel zu erreichen, muss ein System Einfluss auf die Umgebung nehmen können, und zwar auf eine Weise, die der Zielerfüllung zweckdienlich ist. Ein vom autonomen System selbstständig generierter Handlungsplan bildet die nachvollziehbare Grundlage der Aktionen.

- **Resilienz und Failsafe-Strategien:** Diese Handlungspläne werden auf der Grundlage historischer und aktueller Daten unter anderem mit Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz generiert. Für das Erreichen der Unabhängigkeit ist die Resilienz besonders wichtig. Denn nur so kann das System auf unvorhergesehene Ereignisse und Fehlerzustände angemessen reagieren. Die Strategien umfassen nicht nur die vom Entwickler vorgedachten potenziellen Probleme. Sie schließen auch die Fähigkeit ein, auf unerwartete Ereignisse sowie Ausfälle innerhalb des Systems zu reagieren, entsprechende Failsafe-Strategien zu entwickeln und umzusetzen, um die eigentliche Aufgabe angemessen weiter zu bearbeiten.

3 Abgrenzung von automatischen und autonomen Funktionen

Wir gehen im Folgendem nicht von einem Entweder/Oder – AGV oder AMR – aus, sondern betrachten autonome Funktionen eines Systems mit automatischen Fahrzeugen. Wir sprechen also von mehr oder weniger autonomen Fahrzeugen bzw. von Fahrzeugen mit mehr oder weniger vielen autonomen Funktionen. Hierbei beschränken wir uns auf Funktionen zum Fahren, zur Sicherheit und zum Lasthandling. Dabei ist es unerheblich, ob die Funktionen als Software lokal im Fahrzeug, in einer externen Cloud oder einer geeigneten Kombination realisiert werden.

Auf Basis der Ausführungen im vorigen Kapitel werden im Folgenden autonome Funktionen vorgestellt und im Detail beschrieben. Zur Abgrenzung und Klarstellung sollen aber zunächst Funktionen genannt werden, die nach unserem Verständnis „nur“ Automatikfunktionen darstellen. Sie genügen also nach unserer Einschätzung den zuvor genannten Anforderungen an autonomes Agieren nicht. 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.

3.1 AUTOMATISCHE Funktionen

Die gängigsten automatischen Funktionen werden im Folgenden ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgeführt.

➤ **Fahren auf bzw. Spurführung mittels Schienen**

Auch wenn es trivial erscheint, sei darauf hingewiesen, dass ein schienengeführtes Fahrzeug weder ein FTF ist (widerspricht der Definition eines FTF) noch autonom agieren kann, also auch kein AMR sein kann: Aufgrund der Zwangsführung durch die Schiene fehlen Bewegungsfreiheitsgrade, da solch ein Fahrzeug außer den durch die Ablaufsteuerung vorgegebenen Zuständen „fahren entlang der Schiene“ – ggf. mit unterschiedlicher Geschwindigkeit – und „nicht fahren“ (= stoppen an ausgewählten bzw. von außen vorgegeben Positionen) keine weiteren Bewegungsmöglichkeiten hat. Die Einsatzumgebung ist so wenig komplex, dass hier sämtliche Ereignisse und daraus abgeleitete Zustände vom Programmierer „vorgedacht“ und in einfachen Wenn-Dann-Entscheidungsbaumen programmiert werden können.

➤ **Fahren auf bzw. Spurführung mittels kontinuierlich vorhandener, physischer Spur**

Ähnlich wie bei der Spurführung durch eine mechanische Schiene erlaubt auch die Spurführung mittels kontinuierlich vorhandener physischer Spur – induktiver Leitdraht im Boden, optische Leitlinie oder Magnetband auf dem Boden – 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.

➤ **Lageerfassung und Navigation für virtuelle Spurführung**

Bestimmung der Pose (Position und Ausrichtung) eines Fahrzeuges im Raum entweder mit zusätzlichen Einrichtungen wie Bodenmarkierungen, Magnete, Reflektoren, Funkanker oder andere künstliche Landmarken, die für den Betrieb des Systems angebracht/montiert werden,

oder mittels bereits vorhandener Umgebungsmerkmale (Säulen, Wände, Tore, Regale, Maschinen...). Fahrzeuge, die diese Technologie einsetzen, folgen einer virtuellen Spur, was eine größere Flexibilität bei Fahrkursgestaltung und Fahrkursänderungen ermöglicht.

➤ **Automatisches Energie-Management, d. h. ohne manuelle Eingriffe**

Typischerweise das automatische Wechseln oder das 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 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.

➤ **Situationsbedingte dynamische Verteilung der Transportaufträge**

Situationsabhängige, dynamische Zuweisung von Transportaufträgen an die gesamte Fahrzeugflotte unter Berücksichtigung der aktuellen Anlagensituation (z. B. Fahrzeugposition, Fahrzeugverfügbarkeit, Fahrzeugzustand, Batterieladezustand, Auftragspriorität, Verkehrsverhältnisse usw.).

➤ **Situationsbedingtes Umplanen von Routen (Dynamic Routing)**

Dynamische Routenplanung für die gesamte FTF-/AMR-Flotte unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrs- bzw. Streckenverhältnisse, z. B. das aktive Reagieren auf Verkehrsstörungen, die durch die eigene Flotte verursacht wurden.

➤ **Situationsbedingte Verkehrsregelung**

Situationsbedingte, dynamische Verkehrsregelung der FTF-/AMR-Flotte unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrs- und Anlagensituation (z. B. Verkehrsaufkommen, Streckenauslastung, Auftragsprioritäten, Fahrzeugpositionen, Fahrzeugbeladestände, Batterieladestände 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 ungeplanter Ausfall vermieden werden.

➤ **Reagieren auf besondere Betriebszustände**

Betriebszustände werden durch externe elektrische Signale oder intern fest parametrisierte 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.

3.2 Aktuell bekannte AUTONOME Funktionen

Die gängigsten autonomen Funktionen werden im Folgenden ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgeführt. Dabei erfolgt jeweils im Anschluss eine kritische Auseinandersetzung.

Folgende allgemeine Aussagen beziehen sich auf alle Funktionen:

- Generell positiv: Autonome Funktionen versprechen einen Mehrwert.
- Generell negativ: Jede zusätzliche Funktion bedeutet erhöhte Kosten durch Hard- und/oder Software und belastet die Wirtschaftlichkeit.
- Genereller Sicherheitsaspekt: Auch Fahrzeuge mit autonomen Funktionen unterliegen grundsätzlich der Maschinenrichtlinie²! Somit ist immer 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. Bei Abweichungen ist eine gleichwertige Risikominimierung nachzuweisen.
- Genauso betroffen ist die Gefährdungsbeurteilung des Betreibers, hier müssen alle autonomen Funktionen und ihre Konsequenzen ebenfalls berücksichtigt werden. Die Gefährdungsbeurteilung kann dadurch deutlich komplexer werden.
- Bereits bei der Planung ist das sog. TOP-Prinzip für Schutzmaßnahmen zu beachten. Dabei gilt eine verbindliche Rangfolge für Schutzmaßnahmen im Arbeitsschutz (§4 BetrSichV, §4 ArbSchG), die Gefährdungen effektiv minimiert. Die Hierarchie lautet: 1. **T**echnisch (direkt an der Quelle), 2. **O**rganisatorisch (Arbeitsabläufe), 3. **P**ersonenbezogen (PSA als letztes Mittel). Maßnahmen müssen in dieser Reihenfolge geprüft werden!

Autonomiefunktionen sind nicht für alle Einsatzfälle (Anwendungen, Use Cases) gleich gut geeignet oder sinnvoll. So hat jede Autonomiefunktion positive wie negative Eigenschaften und auch spezielle Sicherheitsaspekte.

Generell ist bei den jeweiligen autonomen Funktionen festzulegen, wo (Fahrzeugsteuerung oder Verkehrsleitsteuerung, Flottenmanager) die Entscheidungsfindung erfolgt. In der Regel sollte es so sein, dass die Fahrzeuge die Leitsteuerung – sofern vorhanden – über ihre autonomen Aktionen informieren. Je autonomer sich die Fahrzeuge verhalten, desto schwieriger wird es für die Leitsteuerung, Voraussagen zum Systemverhalten und zur Systemleistung zu treffen.

Autonome Funktionen benötigen hohe Rechenleistungen und darüber hinaus ein für die Aufgabe geeignetes leistungsfähiges Kommunikationssystem.

² Die sog. Maschinenrichtlinie (MRL) – genauer: EU-Richtlinie 2006/42/EG – wird ab dem 20.01.2027 durch die EU-Verordnung 2023/1230 – „Maschinenverordnung“ (MVO) ersetzt

1. 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. Eine 2D-Umfelderfassung deckt dabei nur die Abstände des Fahrzeugs zu anderen Fahrzeugen und zur Umgebung auf der Sensorebene ab.

Zur Erhöhung der Betriebssicherheit wird eine 3D-Umfelderfassung durch das Fahrzeug empfohlen. 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 oder Objekte, die ggf. der momentan beabsichtigten Umfahrung entgegenstehen. Diese Informationen können von der Leitsteuerung oder von anderen Fahrzeugen zur Verfügung gestellt werden.

Grundsätzlich sollten z. B. mögliche Überholverbote, Kreuzungen, Einmündungen, max. Geschwindigkeiten, Fahrzeugtypen usw. berücksichtigt werden. Dafür ist eine (streckenweise) Abschaltung der autonomen Funktion „Umfahren von Hindernissen“ zwingend erforderlich.

Das Umfahren von Hindernissen ist mit den anderen Verkehrsteilnehmern und ggfs. mit der Leitsteuerung abzustimmen/ zu melden.

Umfahren von Hindernissen mit 2D-Umfelderfassung

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 kann zunehmen.

Sicherheit: Die bei der Hindernisumfahren benutzte Fläche muss über die komplette Höhe des Fahrzeugs inkl. Last frei sein. Das Fahrzeug muss hierbei 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 Personenschutzeinrichtungen aller Fahrzeuge die Summe der Bremswege der beteiligten Fahrzeuge zu berücksichtigen (insbesondere bei heterogenen Flotten mit unterschiedlich schnell fahrenden Fahrzeugen). Das Sicherheitsniveau ergibt sich aus der Risikobeurteilung, die hier die Besonderheit von bewegten Hindernissen im Fahrweg berücksichtigen muss. Insbesondere müssen Personen- und Sachschäden berücksichtigt werden, die entstehen können, wenn Fahrzeuge mit deutlich unterschiedlicher Geschwindigkeit und/oder Gewicht kollidieren.

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.

Umfahren von Hindernissen mit 3D-Umfelderfassung

Positiv: Störungen im Ablauf durch temporäre Hindernisse werden vermieden.

Die positiven Aspekte sollten durch die 3D-Umfelderfassung und das damit mögliche intelligentere 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 der 2D-Umfelderfassung. Da die sensorische Ausstattung der Fahrzeuge hier umfangreicher als im vorigen Punkt ist, sind voraussichtlich weniger organisatorische Maßnahmen erforderlich.

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

Eine vorhandene Karte wird fortlaufend durch Abgleich der Kartendaten mit Sensorwerten der Fahrzeuge aktualisiert. Ziel ist es, neue markante Umgebungsmerkmale zu erkennen, in die Karte aufzunehmen und für die Navigation zu nutzen. Weiter werden nicht mehr vorhandene Umgebungsmerkmale aus der Karte entfernt und nicht mehr für die Navigation genutzt.

Anmerkung:

Die aktualisierten Kartendaten können direkt oder indirekt über ein Drittsystem zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden, um alle Fahrzeuge in allen Bereichen zur dynamischen Aktualisierung zu nutzen und zugleich alle Kartendaten auf allen Fahrzeugen auf aktuellem Stand zu halten. Diese Konnektivität unterstützt und verbessert die in diesem Kapitel beschriebenen autonomen Funktionen.

Positiv: Durch stets aktuelle Kartendaten erreicht man eine robuste Lokalisierung mit weniger Störungen.

Da keine bei der Erstkartierung erfassten temporären Objekte durch manuelle Nachbearbeitung gelöscht werden müssen, sinkt der Inbetriebnahme- und Wartungsaufwand.

Negativ: Da sich Messfehler aufaddieren (z. B. bei wenigen statischen Konturen wie Säulen und Wände), besteht ein Risiko, dass Ungenauigkeiten in der Karte entstehen. Die Lokalisierung wird schlechter und die Stabilität der Prozesse leidet.

Sicherheit: Die erwartbaren Ungenauigkeiten bewegen sich im kleinen zweistelligen Zentimeterbereich und kumulieren sich über einen längeren Zeitraum, treten also nicht sprunghaft auf. Aus diesem Grunde hat diese Funktion keine besonderen sicherheitstechnischen Aspekte. Bei größeren Ungenauigkeiten, die zu deutlichen Abweichungen zur ursprünglichen Fahrspur führen, würden rechtzeitig die fahrzeugseitigen Sicherheitssysteme ansprechen.

3. Fahren auf freigegebenen Flächen

Zusätzlich zu physischen oder virtuellen Spuren können auch freigegebene Flächen genutzt werden. Das Fahrzeug kann auf diesen 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: Um die Flexibilität des Systems nutzen zu können, sollten größere Flächen freigehalten werden. Damit steigt der Flächenbedarf 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.

Der Durchsatz des Gesamtsystems ist schwankend und schwierig vorhersagbar.

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.

4. Fahren und Reagieren auf Basis von Objekterkennung und -klassifizierung

Erkennung und Klassifizierung von Objekten (z. B. Paletten, Personen, Flurförderzeuge, Kraftfahrzeuge) und, sofern vorhanden, deren Bewegungsrichtung, sowie daraus abgeleitetes angemessenes Reagieren. Das setzt in der Regel eine 3D-Umfelderfassung voraus. Die hierfür erforderliche Sensorik befindet sich wahlweise am Fahrzeug oder ist extern ortsfest oder mobil vorhanden.

Typisches Verhalten: Statische Hindernisse umfahren, auf sich bewegende Personen reagieren und ausweichen, von rechts kommenden Fahrzeugen die Vorfahrt gewähren.

Positiv: Das Fahrzeug passt sich an seine Umgebung an und reagiert angemessen. Es kommt auch mit anspruchsvolleren Umgebungen zurecht. Störungen im Ablauf durch temporäre Hindernisse werden vermieden, die Prozessstabilität steigt. Sicherheitskritische Situationen können besser erkannt, eingeschätzt und durch vorausschauendes Agieren gegebenenfalls vermieden werden.

Negativ: Auf Grund der komplexeren Technologie sind die Systemkosten höher. Bei fehlerhafter Objekterkennung/ Klassifizierung steigen die Risiken eines unangemessenen Verhaltens.

Bei der Umfahrung von Hindernissen gelten die gleichen Nachteile wie unter Pos. 1.

Sicherheit: Die Anforderungen an die Sicherheit entsprechen den Angaben unter Pos. 1. Die Risikobeurteilung wird deutlich komplexer.

5. 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 (z. B. Gabelzinken auf erkannten Ladungsträger angepasst einstellen). Die Klassifizierung der Last hinsichtlich ihrer Transportierbarkeit (Lastgewicht, Lastabmessungen/ Überstände, ggf. Lastsicherung, Qualität des Ladehilfsmittels etc.) und der lastabhängigen Auswahl der Personenschutzfelder setzt eine speziell dafür geeignete Sensorlösung und/oder Kommunikation voraus. Die hierfür erforderliche Sensorik kann entweder ortsfest oder mobil sein.

Bei sicherheitsrelevanten Funktionen muss diese Lösung den dafür erforderlichen Performance-Level gemäß Maschinenrichtlinie/ Maschinenverordnung erreichen. Auch hier kann die eingesetzte Sensorik wahlweise am Fahrzeug montiert oder extern vorhanden sein.

Positiv: Diese Funktion ist die Basis für höhere Prozesssicherheit und mehr Toleranz beim Lasthandling: Die Lastbereitstellung vereinfacht sich dadurch deutlich. Bei der manuellen Bereitstellung (z. B. mit Gabelhubwagen/Stapler o. ä.) muss die Ladeinheit nicht mehr so genau positioniert werden. Bei der automatischen Bereitstellung (z. B. Rollen-/Kettenförderer) unterschiedlicher, ggf. auch verschieden breiter Ladeeinheiten, können Zentriervorrichtungen entfallen.

Eine Klassifizierung der Ladung ermöglicht ggf. die automatische Einstellung des Lastaufnahmemittels und zusätzlich die Generierung von Transportauftragszielen.

Negativ: Fahrzeuge brauchen ggf. mehr Platz und mehr Zeit 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 der Schutzfelder aufgrund der Klassifizierung unterschiedlicher Ladeeinheiten mit dem entsprechenden Sicherheitsniveau umzusetzen.

6. Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb

Dynamische Routenplanung für die gesamte FTF-/AMR-Flotte im Mischbetrieb, das heißt 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 (Dynamic Routing)“ vorhanden ist.

Hinweis: Die Wirksamkeit der Funktion ist abhängig von der Qualität der Daten, insbesondere der Ortungsinformationen über die anderen Verkehrsteilnehmer/Objekte sowie die voraussichtliche Zeitdauer der Verkehrsstörung.

Werden diese Informationen auf Fahrzeugebene ausgetauscht, wird ein leistungsfähiges Kommunikationssystem vorausgesetzt.

Positiv: Bei einer Behinderung durch andere Verkehrsteilnehmer kommt es nicht zu einer Störung im Ablauf. Durch die Umplanung der Route kann der Zielpunkt ggf. dennoch erreicht werden.

Negativ: Der Zeitzuschlag für die Alternativroute kann ggf. größer sein als die durch die Behinderung verursachte längere Fahrzeit auf der ursprünglichen Strecke.

Eine genaue Planbarkeit der Transportaufträge hinsichtlich der Durchführungszeit pro Auftrag ist nicht mehr möglich, Abläufe mit dem Ziel einer exakten bedarfsgerechten Anlieferung werden erschwert.

Es besteht das Risiko, dass die Funktion von den Mitarbeitern inflationär benutzt wird, indem sie z. B. Hindernisse im Fahrweg zur Regel machen und/oder nicht zeitnah beseitigen.

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

7. Autonomes Reagieren auf Verkehrssituationen im Mischbetrieb

Verhalten der Fahrzeuge, welches nicht nur die eigene FTF-/AMR-Flotte berücksichtigt, sondern auch den Mischverkehr aus Flurförderzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern.

Es erfordert das selbständige Erkennen von Zeichen (Verkehrsschilder, Ampeln) und Situationen (Personen, Personengruppen, Hindernisse, Verkehrsaufkommen, Baustellen, Fahrwegverengungen usw.). Dies ermöglicht eine adäquate, der Situation angepasste Reaktion.

Hinweis: Die Wirksamkeit der Funktion ist abhängig von der Qualität der Daten, insbesondere der Ortungsinformationen über die anderen Verkehrsteilnehmer sowie die Erkennung von Objekten.

Positiv: Es kann flexibel auf komplexe Verkehrssituationen reagiert und dadurch unter Umständen 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: Kritische Situationen können eventuell entschärft werden, es können aber auch neue kritische Situationen entstehen. Die Risiko- und Gefährdungsbeurteilung werden deutlich komplexer.

8. 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. Das kann z. B. bedeuten, im Layout definierte Stellen wie Wartungsplätze, Ausweichbuchten, Parkplätze usw. anzufahren. Die Fahrt dorthin kann je nach Systemauslegung als autonome Fahrt oder mit Unterstützung durch eine Leitsteuerung erfolgen.

Unabhängig davon, ob das Fahrzeug in der Lage ist, sich aus dem Verkehr zu nehmen oder nicht, sollte es eine Meldung an eine Leitsteuerung oder einen Leitstand abgeben.

Positiv: Für die verbliebenen Fahrzeuge entstehen weniger Behinderungen und Blockaden.

Negativ: Die Funktion erfordert eine sensorgestützte, anspruchsvolle Auswertung im Fahrzeug, die ggfs. mit höheren Kosten verbunden ist.

Sicherheit: Für diese Funktion gelten keine besonderen Sicherheitsanforderungen. Für die sich ggf. anschließende Fahrt gelten die zuvor beschriebenen Anforderungen.

9. 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 dezentrale Verhandlungsstrategien zum Einsatz kommen. Zwingende Voraussetzung für derartige dezentrale

Entscheidungsaufgaben ist ein flächendeckend vorhandenes leistungsfähiges (breitbandiges, schnelles, latenzarmes) und hochverfügbares Funkkommunikationssystem.

Ein weiteres Beispiel 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 eigenständig agierende Fahrzeuge selbständig und gemeinsam – 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.

Das selbstständige Zusammenfinden der Fahrzeuge zu einem Verbund ohne eine zentrale Leitsteuerung bildet eine Autonomiefunktion, das gemeinsame Ausführen des Transportes hingegen wird als Automatikfunktion betrachtet.

Positiv: Durch die Verteilung der Funktionen auf mehrere Rechner wird eine höhere Resilienz und Systemverfügbarkeit erreicht.

Negativ: Jedes Fahrzeug benötigt einen leistungsfähigen Rechner und es ist ein leistungsfähiges Funkkommunikationssystem im Einsatzbereich der Fahrzeuge erforderlich. Beides führt ggf. zu höheren Kosten.

Sicherheit: Es ist zu prüfen, ob durch den Zusammenschluss mehrerer Fahrzeuge ein sogenannter „sicherheitstechnischer Zusammenhang“ entsteht. Trifft dies zu, dann ergibt sich die Notwendigkeit einer CE-Zertifizierung nicht nur für die einzelnen Fahrzeuge, sondern auch für den Fahrzeugverbund (s. VDI Statusreport Technik – FTS-Leitfaden Sicherheit für Planer).

10. Planung und Ausführung komplexer Handlungsabläufe

Hierunter zu verstehen ist die Fähigkeit eines mobilen Roboters, allein oder in einer Gruppe ohne vorherige explizite und aufwändige Programmierung komplexe Aufgaben – z. B. „belade den Lkw an Dock 3 mit den Paletten aus Bereitstellzone 5“, „entlade den Lkw an Dock 4 und stelle die Paletten in Bereitstellzone 2“, „sortiere die Paletten in Bereitstellzone 7 nach vier Zustandsklassen und bringe sie in die Zonen 1 bis 4“, „reinige den Boden in Terminal 2, Abflugebene“ – selbstständig auszuführen. Dies setzt das Vorhandensein (fast) aller zuvor beschriebenen neun Autonomiefunktionen voraus und erfordert zudem die Fähigkeit, die gestellte Aufgabe eigenständig in eine sinnvolle Sequenz von nacheinander abzuarbeitenden Arbeitsschritten zu zerlegen (welche derzeit üblicherweise durch eine Leitsteuerung vorgegeben werden).

Diese zehnte, gewissermaßen visionäre Autonomie-Funktion steht bewusst an letzter Stelle der Auflistung, da sie ein Maximum an Fähigkeiten und damit an Sensoren, Signalverarbeitung und Softwarefunktionalität erfordert und Fahrzeuge mit dieser Funktionalität derzeit (April 2026) in der betrieblichen Praxis noch nicht zu finden sind. Sie existieren aber bereits in Laboren von Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, befinden sich also an der Schwelle zum Praxiseinsatz.

Positiv: Die Funktion ermöglicht dem Betreiber einen flexiblen Einsatz der Fahrzeuge mit der Möglichkeit von wechselnden Aufgabenstellungen und Einsatzfeldern, ohne dass er dazu die Unterstützung (Programmierung) durch den Fahrzeughersteller benötigt.

Negativ: Jedes Fahrzeug benötigt umfangreiche Sensorausstattung, einen leistungsfähigen Rechner sowie anspruchsvolle Software (mit sehr großer Wahrscheinlichkeit KI-basiert). Dies führt zu höheren Kosten.

Sicherheit: Für diese Funktion gelten die zuvor beschriebenen Anforderungen.

4 Bestimmung von Autonomie- und Anforderungserfüllungs-Index

Nachdem im vorigen Kapitel sowohl typische Automatikfunktionen als auch eine Reihe von derzeit möglichen bzw. üblichen autonomen Funktionen von mobilen Robotern beschrieben wurden, soll nun mittels eines EXCEL-Arbeitsblatts erfasst werden,

- 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 also

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

Der Alx errechnet sich aus der Summe der vorhandenen, bezogen auf alle zehn in Abschnitt 3.2 beschriebenen Autonomiefunktionen.

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

**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 größtmöglichen Durchsatz des Transportsystems ausgelegten Produktion ist sie aber möglicherweise nicht zielführend.

Screenshot des Excel-Tools „vdi-fa-fts-amr-autonomie_April2026-V2.xlsx“³

Bezeichnung der Autonomie-Funktion	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)
	vorhanden	nicht vorhanden	erwünscht	egal (nicht relevant)	unerwünscht		
Umfahren von Hindernissen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	0	
Selbstständige, dynamische Aktualisierung der Modellierung der Einsatzumgebung im laufenden Betrieb	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	
Fahren auf freigegebenen Flächen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	
Fahren und Reagieren auf Basis von Objekterkennung und -klassifizierung	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	
Lasthandling auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	0	
Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	
Autonomes Reagieren auf Verkehrssituationen im Mischbetrieb	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	
Selbstständiges Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugzustandsdaten ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebs	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	
Verlagern von Leitsteuerungsfunktionen in die Fahrzeuge	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	0	
Autonome Planung und Ausführung komplexer Handlungen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	
Autonomie-Funktionen	5 (von 10)		2	5	3	2 (von 5)	
	50,0%					40,0%	
Autonomie-Index AIX	Bemerkung: AIX ist bezogen auf alle Autonomiefunktionen, AEIX ist bezogen auf die relevanten Autonomiefunktionen					Anforderungs-Erfüllungs-Index AEIX	

Die Wirkungsweise des Verfahrens und die Benutzung des Tabellenblatts sollen an zwei Praxisbeispielen des FTS-/AMR-Lieferanten DS Automotion (Linz, A) vorgestellt werden. Das erste Beispiel beschreibt eine innerbetriebliche Anwendung, nämlich eine Montagelinie für Akkumulatoren für E-Autos. Das zweite Beispiel ist eine Anwendung in öffentlich zugänglichen Bereichen, nämlich Kurierfahrten in einem Krankenhaus. Anhand dieser völlig verschiedenen Use Cases wird deutlich, wie unterschiedlich die Anforderungen und die zum Einsatz kommenden Lösungen sein können.

4.1 Beispiel 1: FTF in der Batteriemontage

Bei der Deutschen Akkumotive in Kamenz werden Akkus (Hochvoltspeicher) für E-Autos produziert. Die Montageanlage ist mit Fahrerlosen Transportfahrzeugen ausgerüstet, auf denen die Hochvolt-Akkus transportiert und montiert werden. Eine Flotte von 50 frei-fahrenden FTF übernimmt die Logistik-Prozesse im Taxibetrieb in den verschiedenen Bereichen des gesamten Werkes. Eine weitere Flotte von ca. 100 Fahrzeugen der gleichen Bauart unterstützt die Montage-Prozesse im Linienbetrieb (Abb. 1.6).

Tab. 1.1 zeigt, wie der 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.

³ Das EXCEL-Tool hat den Dateinamen „vdi-fa-fts-amr-autonomie_April-2026_v2.xlsx“. Die Datei steht zur kostenlosen Nutzung zur Verfügung, die Rechte liegen beim VDI-Fachausschuss FA 309; eigenmächtige Änderungen sind nicht gestattet.

Tab. 1.1 Autonomie-Index und Anforderungserfüllungs-Index für das Montage-FTF

Pos.	Bezeichnung der Autonomie-Funktion	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)
		vorhanden	nicht vorhanden	erwünscht	egal (nicht relevant)	unerwünscht		
1	Umfahren von Hindernissen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	1	Im Montageumfeld kritisch!
2	Selbstständige, dynamische Aktualisierung der Modellierung der Einsatzumgebung im laufenden Betrieb	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	Für stabile Navigation wichtig!
3	Fahren auf freigegebenen Flächen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	1	Im Montageumfeld kritisch!
4	Fahren und Reagieren auf Basis von Objekterkennung und -klassifizierung	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	Wäre wünschenswert, FTF kann aber auf Grund vorgegebener Fahrwege nur bedingt reagieren!
5	Lasthandling auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	Last ist klar definiert, somit kein Vorteil!
6	Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1	Sofern Alternativrouten möglich sind, wünschenswert!
7	Autonomes Reagieren auf Verkehrssituationen im Mischbetrieb	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	Im Montageumfeld durchaus von Vorteil!
8	Selbstständiges Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugzustandsdaten ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebs	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	Wäre wünschenswert, FTF kann aber auf Grund vorgegebener Abläufe nur bedingt reagieren!
9	Verlagern von Leitsteuerungsfunktionen in die Fahrzeuge	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	0	Neutral
10	Autonome Planung und Ausführung komplexer Handlungen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	1	Im Montageumfeld nicht sinnvoll, da klare Prozesse vorhanden sind!
Autonomie-Funktionen		3 (von 10)		3	4	3	5 (von 6)	
		30,0%					83,3%	
Autonomie-Index Aix		Bemerkung: Aix ist bezogen auf alle Autonomiefunktionen, AEIx ist bezogen auf die relevanten Autonomiefunktionen			Anforderungs-Erfüllungs-Index AEIx			

4.2 Beispiel 2: AMR für Kurierfahrten im Krankenhaus

Im Uniklinikum Köln werden mobile Roboter für Kurierfahrten zwischen der zentralen Apotheke und verschiedenen Stationen eingesetzt. Die Be- und Entladung der Roboter mit Medikamenten erfolgt durch zugriffsberechtigtes Apotheken-/Stationspersonal. Die Fahrt führt durch öffentliche Bereiche mit Patienten, Besuchern und Stationspersonal (Abb. 1.7).

Diese Anwendung erfordert deutlich mehr Autonomiefunktionen als die im ersten Beispiel. So weist Tab. 1.2 einen Autonomie-Index der mobilen Roboter von 50 % 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!

Tab. 1.2 Autonomie-Index und Anforderungserfüllungs-Index für den Kurier AMR

Bezeichnung der Autonomie-Funktion	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)
	vorhanden	nicht vorhanden	erwünscht	egal (nicht relevant)	unerwünscht		
Umfahren von Hindernissen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	1	Im Krankenhaus unverzichtbar!
Selbstständige, dynamische Aktualisierung der Modellierung der Einsatzumgebung im laufenden Betrieb	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	1	Im Krankenhaus unverzichtbar!
Fahren auf freigegebenen Flächen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	1	Im Krankenhaus unverzichtbar!
Fahren und Reagieren auf Basis von Objekterkennung und -klassifizierung	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	0	Wäre sehr wünschenswert!
Lasthandling auf Basis von Objekterkennung und Klassifizierung	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/>	1	Für Kurier, der von Hand be- und entladen wird, nicht relevant!
Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 2	0	Neutral
Autonomes Reagieren auf Verkehrssituationen im Mischbetrieb	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 2	0	Neutral, da kein hohes Verkehrsaufkommen an Kurieren und anderen Fahrzeugen zu erwarten ist!
Selbstständiges Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugzustandsdaten ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebs	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	0	Wäre wünschenswert!
Verlagern von Leitsteuerungsfunktionen in die Fahrzeuge	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 2	0	Neutral
Autonome Planung und Ausführung komplexer Handlungen	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/>	1	Für Kurierfahrten nicht gewünscht, da Ziele exakt bekannt sind und vom Personal vorgegeben werden
Autonomie-Funktionen	5 (von 10)		5	3	2	5 (von 7)	
	50,0%					71,4%	
Autonomie-Index Alx	Bemerkung: Alx ist bezogen auf alle Autonomiefunktionen, AEIx ist bezogen auf die relevanten Autonomiefunktionen					Anforderungs-Erfüllungs-Index AEIx	

Dieser Kurier-Roboter verfügt über fünf 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 AMR gehören. So zeigt die Tabelle, dass die Funktionen 4 und 8 aus Kundensicht durchaus wünschenswert wären, allerdings (noch) nicht im Funktionsumfang der Roboter verfügbar sind.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verwendung des Begriffs Autonomie im Zusammenhang mit mobilen Robotern ist weder durch ein Gesetz noch durch Verordnungen, Richtlinien o. ä. reglementiert – es darf also jeder Hersteller sein Produkt als autonom bezeichnen, ohne Probleme oder Nachteile befürchten zu müssen. Eine klare, prägnante Definition des Begriffs *Autonomie* von technischen Systemen fällt den Fachleuten, die sich mit dem Thema seit Jahren beschäftigen, schwer und wurde letztlich bei unseren Recherchen nicht gefunden.

Mit der Erstellung dieses Leitfadens wurde im Rahmen einer fachlichen Auseinandersetzung mit dem Thema

- eine Abgrenzung der Begriffe *automatisch* und *autonom* vorgenommen,
- aktuell bekannte und in der Praxis eingesetzte Automatik- und Autonomiefunktionen vorgestellt,
- die Autonomiefunktionen hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihres Nutzens für den Anwender bewertet und dabei auch auf Sicherheitsaspekte hingewiesen sowie
- ein einfach zu bedienendes, neutrales, praktikables und aussagekräftiges Analyse- und Bewertungstool erstellt.

Für die Begriffe bedeutet das: Ein Fahrerloses Transportsystem (FTS, engl. AGV System) besteht aus einer Leitsteuerung und einem FTF oder einer Flotte von mehreren FTF (engl: AGV) und/oder AMR. Wenn ein FTF über mindestens eine autonome Funktion der zuvor beschriebenen Art verfügt, kann es berechtigterweise als AMR (Autonomous Mobile Robot) bezeichnet werden.“

Damit ist einerseits die Basis für eine versachlichte Diskussion des Themas geschaffen als auch andererseits die Möglichkeit für den Anwender, die Angebote verschiedener Hersteller zu vergleichen und hinsichtlich der Eignung für seine aktuelle Applikation zu prüfen. Die Veröffentlichung ist auch als Aufruf an die Akteure der Branche zu verstehen, sich kritisch mit der Thematik auseinanderzusetzen und die Verwendung des Begriffs *autonom* wieder auf ein angemessenes und fachlich begründetes Maß zurückzuführen.

Die hier vorliegende zweite Version des Leitfadens wurde insbesondere im Abschnitt 3.2 umfassend überarbeitet, an aktuelle Entwicklungen und Erkenntnisse angepasst und im Vergleich zur Vorgängerversion besser strukturiert und übersichtlicher gestaltet. Weiter werden zwei aus der Praxis stammende Applikationen von mobilen Robotern als Beispiele genutzt, um die Anwendung des EXCEL-Tools zur Bestimmung des Autonomie-Indexes und des Autonomieerfüllungs-Indexes zu zeigen, und die damit erzielten Ergebnisse werden erläutert.

Die letzten Jahre haben gezeigt, dass sich die Themen Autonomie und KI-Anwendungen in der Mobilrobotik ständig und sprunghaft weiterentwickeln. Daher wird dieser Leitfaden zur gegebenen Zeit zukünftige Entwicklungen aufnehmen.

6 Abkürzungen und Begriffe

aAGV	autonomous AGV
AGV	Automated Guided Vehicle
AGVS	Automated Guided Vehicle System
AMR	Autonomous Mobile Robot, oder auch deutsch: autonomer mobiler Roboter
Durchsatz	Transportleistung x Verfügbarkeit
FF	Forum-FTS (www.forum-fts.com)
FFZ	Flurförderzeug
FTF	Fahrerloses Transportfahrzeug
FTS	Fahrerloses Transportsystem
IGV	Intelligent Guided Vehicle
MR	Mobile Robot / Mobiler Roboter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure (www.vdi.de)
VDI FA 309	Fachausschuss „Mobile Robotik“ unter der Leitung von Dr. Günter Ullrich und Peter Stoiber; der FA hieß von Anfang 1987 bis September 2025 „Fahrerlose Transportsysteme (FTS)“.