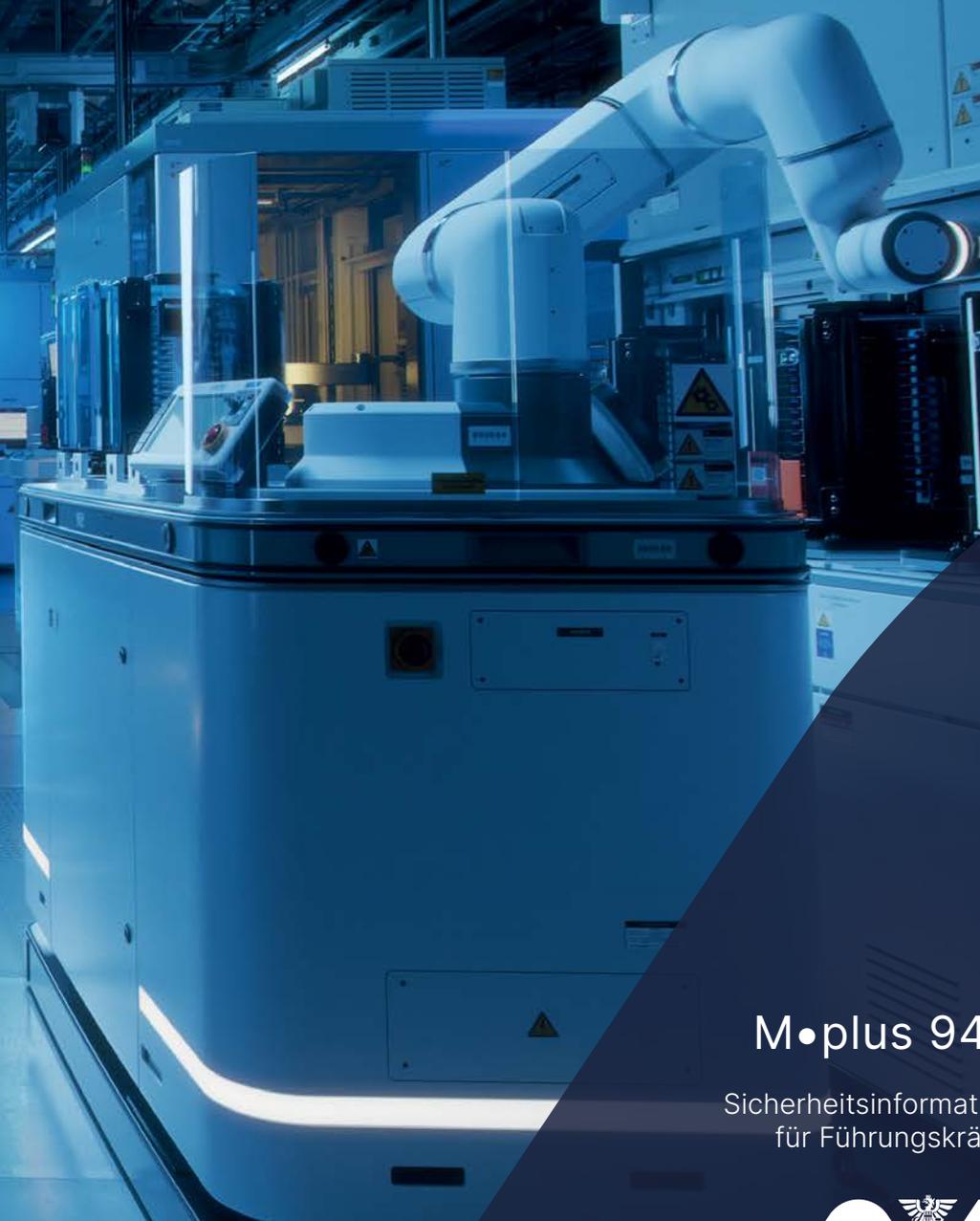


Fahrerlose Transportsysteme und mobile Roboter



M•plus 942

Sicherheitsinformation
für Führungskräfte

Das Merkblatt wurde auf Basis des White Papers "Fahrerlose Transportsysteme und mobile Roboter" erstellt. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der AUVA Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, DS Automotion GmbH, Knapp AG, Syn2tec e.U. und TÜV SÜD Product Service GmbH durchgeführt.

Wien, März 2023

Inhalt

Vorwort	4
1 Einführung	5
Autonome mobile Roboter (AMR)	6
Einsatz von FTS in verschiedenen Branchen	6
2 Grundlagen des fahrerlosen Transportsystems	7
2.1 Systemaufbau	7
2.1.1 Leitsteuerung	7
2.1.2 Visualisierung	7
2.1.3 Lastübergabe-Station.....	8
2.1.4 Batterieladestationen	8
2.1.5 Fahrzeuge.....	8
2.1.5.1 Lastaufnahme und Sicherung	8
2.1.5.2 Fahrwerk	9
2.1.5.3 Steuerung und Sicherheitssteuerung.....	10
2.1.5.4 Not-Halt	10
2.1.5.5 Bremssystem.....	10
2.1.5.6 Energieversorgung.....	10
2.1.5.7 Datenübertragung	10
2.1.5.8 Historische Daten	11
2.1.6 Navigationssystem (Spurführungssysteme)	11
2.1.6.1 Odometrie.....	11
2.1.6.2 Magnetische Führung (Magnetband oder Magnetpunkte).....	11
2.1.6.3 Induktive Führung (Leitdraht).....	11
2.1.6.4 Optische Linien-Führung	12
2.1.6.5 Optische Raster (Punkte-Code).....	12
2.1.6.6 Laserstrahlführung.....	12
2.1.6.7 Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)	13
2.1.7 Integration in die Infrastruktur	13
2.1.7.1 Schnellauftore	13
2.1.7.2 Brandschutztore.....	13
2.1.7.3 Verkehrsregelungen.....	13
2.2 Fahrwege und deren Planung	14
3 Planung eines Systems	15
3.1 Automatisierte Prozesse	15
3.2 Allgemeine Charakteristik	17
3.3 Erweiterung des bestehenden Systems	17
4 Gesetzliche und normative Regelungen	18
4.1 Manuelles Führen von Fahrzeugen	18
4.2 Safety & Security	19
4.2.1 Systemsicherheit	19
4.2.2 Fahrzeugsicherheit	19
4.3 Cybersicherheit	20
4.4 Aspekte der KI	21
5 Service und Wartung von FTS	22
5.1 Einsatzprüfungen	22
5.2 Fernzugriff, Ferndiagnose, Fernwartung	23
6 Verzeichnisse	24
6.1 Tabellenverzeichnis	24
6.2 Abbildungsverzeichnis	24
6.3 Literatur	24
6.4 Auswahl an Normen	25

Vorwort

Der Automatisierungsgrad in den produzierenden Unternehmen steigt ständig an. Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter (MR) sind Bestandteil der neuen Smart Factories – also durchgehend vernetzter, wandlungsfähiger und skalierbarer Produktionen. Dieses Merkblatt beschreibt die Grundlagen sowie verschiedene Varianten einer sicheren technischen Umsetzung der Systeme mit den Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) und Autonomen mobilen Robotern (AMR) im industriellen Umfeld. Anhand von Praxisbeispielen in verschiedenen Produktionen wird der sichere Aufbau von verschiedenen Systemvarianten dargestellt. Darüber hinaus werden nicht nur Vorteile beschrieben, sondern auch Nachteile und mögliche Gefahren aufgezeigt. Außerdem wird die Integration der Fernwartung, die Durchführung von Updates und der Einsatz künstlicher Intelligenz beschrieben.

Der Hauptunterschied zwischen FTS und mobilen Robotern besteht darin, dass FTS speziell für den Transport von Gütern und Materialien, meist auf einer festgelegten Route, ausgelegt sind, während mobile

Roboter neben dem Transport ein breiteres Spektrum von Funktionen haben können, wie z. B. Inspektion, Montage, Handhabung von Objekten usw. Mobile Roboter können je nach Anwendung mit verschiedenen Aufsätzen und Sensoren ausgestattet, komplexe Aufgaben ausführen und in verschiedenen Umgebungen eingesetzt werden.

Folgende Begriffe im generischen Maskulinum sind dem ADR entnommen: Betreiber, Systemorganisator, Positionsgeber, Hersteller, Anwender, Dienstleister. Sie bezeichnen Unternehmen und keine Personen und werden in diesem Merkblatt daher ausnahmsweise nicht gegendert, sondern in unveränderter Form wiedergegeben, um rechtlichen Missverständnissen vorzubeugen.

Das Merkblatt basiert auf dem Whitepaper „Fahrerlose Transportsysteme und mobile Roboter“, das gemeinsam mit Maschinenherstellern, Systemintegratoren und Zertifizierungsstellen erarbeitet wurde.

1 Einführung

Fahrerlose Transportsysteme (FTS), auch AGVS (engl. Automated Guided Vehicles Systems) genannt, werden seit den 1950er-Jahren hauptsächlich in der Industrie zur Zu- und Abführung von Werkstücken, Werkzeugen und / oder zum Warentransport eingesetzt. Sie bestehen in der Regel aus einem oder mehreren fahrerlosen Fahrzeugen, der Anlageninfrastruktur, den peripheren Einrichtungen und meist einer übergeordneten Leitsteuerung. Im folgenden Text wird nur noch von einem „System“ oder „FTS“ gesprochen.

Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF), auch genannt Fahrerlose Flurförderzeuge (FFZ) bzw. AGV (engl. Automated Guided Vehicle), mobiler Roboter (MR) oder Autonomer mobiler Roboter (AMR), sind im Prinzip alles selbstfahrende und flurgebundene Fahrzeuge. Im folgenden Text wird nur noch von einem „Fahrzeug“ gesprochen.

Ein Fahrzeug im Kontext der folgenden Ausführungen ist somit ein flurgebundenes Fördermittel mit eigenem Fahrtrieb, das automatisch gesteuert und berührungslos geführt wird. Solche Fahrzeuge werden zum Materialtransport eingesetzt, nämlich zum Ziehen, Schieben oder Tragen von Fördergut mit aktiven oder passiven Lastaufnahmemitteln. Typische Anwendungen und Parameter der Fahrzeuge sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Abbildung 1 zeigt ein Fahrzeug, welches einen Knickarmroboter mitführt. Damit können Werkzeug-

maschinen automatisch beschickt werden. Dieses Funktionsprinzip ist besonders für langzyklische Fertigungsprozesse geeignet.

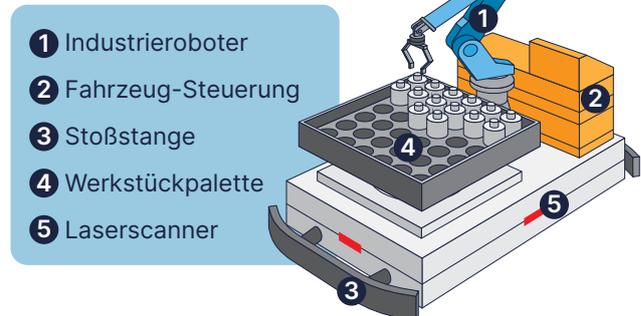


Abb. 1: Fahrzeug mit Handhabungsroboter und Werkstückmagazin, basierend auf [2]

Vor allem durch hochautomatisierte Industrien wie Automobilproduktionen getrieben, haben sich Fahrzeuge kontinuierlich in eine breite Produktpalette von der Zugmaschine über automatische Gabelstapler zu selbstfahrenden Arbeitsmitteln entwickelt. Gerade die 2010er-Jahre mit der Tendenz zur kundenspezifischen Einzelfertigung haben dem FTS auch bedingt durch die zunehmende Digitalisierung einen sehr starken Auftrieb verschafft. Dies hat sich auch auf die Logistik ausgewirkt, wo FTS zu einer Alternative zu Förderbändern geworden sind, die den Vorteil der Wandlungsfähigkeit und einfachen Skalierbarkeit bieten.

Tab. 1: Überblick Eigenschaften von FTS

Merkmale	Spezifische Daten
Applikationen	in allen Branchen, meistens integriert in die Intralogistik, hauptsächlich für den Transport von Rohmaterial bis Fertigprodukte
Bezeichnungen und Typen von Fahrzeugen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) ■ Fahrerloses Flurförderzeug (FFZ) ■ Automated Guided Vehicle (AGV) ■ Mobiler Roboter (MR) ■ Autonomer mobiler Roboter (AMR)
Anzahl der Fahrzeuge	ein bis mehrere hundert
Traglast eines Fahrzeuges	wenige Gramm bis hunderte Tonnen
Geschwindigkeit der Fahrzeuge	ca. 0,1 m/s bis weit über 2,0 m/s, Maximalgeschwindigkeit entsprechend dem System und der Risikobeurteilung (Werkstück, Lastendiagramm, Bremsweg, Sicherheitselemente, Eigenschaften des Fahrbereichs)
Anzahl der Andockstationen	ist nicht begrenzt, hängt vom Prozess ab
Steuerung	manuell bis vollautomatisch, eigenständig oder integriert in die Smart Factory
Lade-/Entlade-Lastaufnahmemittel	passive (nicht angetriebene, z. B. glatte, schräge Fläche, Rollenbahn) oder aktive Systeme (z. B. angetriebene Rollenbahn, Gurtförderer, Hubtisch, Hubgabel, Manipulator)
Fahrwerk	3-Rad, 4-Rad mit Differenzial-Antrieb oder Lenkung, omnidirektionale Räder
Antrieb	meistens elektrisch

Autonome mobile Roboter (AMR)

Mobilrobotik ist im Gegensatz zur Industrierobotik ein sehr junges Teilgebiet der Robotertechnik, welches sich mit ortsungebundenen Robotern beschäftigt. Die Vereinigung unterschiedlicher technischwissenschaftlicher Disziplinen zu einem für Menschen brauchbaren Dienstleistungsgerät bringt einige neue Aufgaben mit sich. Mobilroboter sind nicht wie Industrieroboterarme ortsgebunden, sondern können sich – je nach ihrem Aufbau – spurfrei bewegen. Dies erlaubt die Entwicklung von neuartigen Fertigungssystemen und bietet außerdem die Möglichkeit, neue Techniken an die Dienstleistungsgesellschaft anzupassen.

Mobile Roboter sind bewegliche Roboter, die sich durch unterschiedliche Fortbewegungsarten, mit oder ohne Einschränkungen im Freiheitsgrad, im Raum bewegen können. Sie können zu Land, zu Wasser und in der Luft bzw. im Weltraum ihren Einsatzort verändern.

Autonome mobile Roboter (AMR) unterscheiden sich in den Betriebsbedingungen von fahrerlosen Transportsystemen durch folgende Eigenschaften:

- Es gibt keine vordefinierten Netze aus Fahrstrecken, sondern Flächen, auf denen sich die Fahrzeuge bewegen.
- Die Umwelt passt sich nicht dem Roboter an, sondern Sensoren des Fahrzeuges müssen die Umwelt erkennen. Die Roboter entscheiden auf Basis der Sensorwerte selbstständig und passen sich Gegebenheiten an.
- Komplexe Aufgaben müssen vom Roboter selbst gelöst werden, beispielsweise das Kartographieren einer Umgebung oder die Planung der Routen.
- Die Interaktion mit der Umgebung besteht nicht mehr aus reinem Sicherheitsverhalten, sondern aus Interaktion, unter anderem auch mit Menschen.

Einsatz von FTS in verschiedenen Branchen

Unterschiedliche Herausforderungen bedürfen unterschiedlicher Lösungen. Dies zeigt sich auch in der Vielzahl verschiedener Fahrzeuge, welche von diversen Herstellern bezogen werden können. FTS / AMRS gibt es für unterschiedlichste Anwendungsfälle, Ladehilfsmittelgrößen und Nutzlasten sowie mit unterschiedlichsten Aufbauten.

Sowohl der Anwendungszweck als auch die Bauform des Fahrzeuges haben Auswirkungen auf die Anforderungen an die Sicherheitstechnik. Es ist empfohlen, die jeweiligen Hersteller nach den eingehaltenen Normen und Richtlinien zu fragen.



Krankenhaus-Kurier für medizinischen Bedarf



Unterfahrfahrzeug zum Transport von Behältern



Transport von Behältern und Verwendung von Aufzügen

Abb. 2: Beispiele FTF / AMR in der Industrie, Fotos DS AUTOMOTION GmbH

2 Grundlagen des fahrerlosen Transportsystems

2.1 Systemaufbau

Der typische Aufbau eines Systems ist in der Abbildung 3 dargestellt. Es besteht aus einer Fahrzeug-Flotte, den Andock- und Ladestationen sowie

einem zentralen Leitreechner samt Visualisierungs- und Bediensystem.

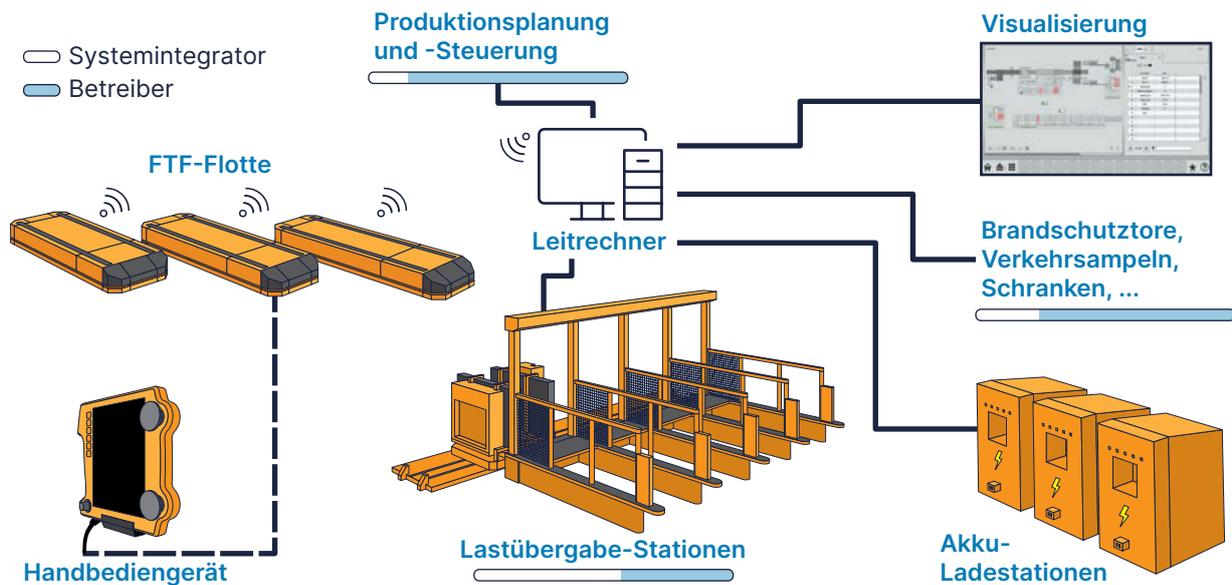


Abb. 3: Schematische Darstellung eines FTS inklusive Schnittstelle zum Betreiber

2.1.1 Leitsteuerung

Eine FTS-Leitsteuerung übernimmt die automatisierte Koordination mehrerer Fahrzeuge und / oder dient der Integration des FTS in die innerbetrieblichen Abläufe [7]. Das Herzstück der Anlage ist hierbei der Leitreechner, welcher gekoppelt an das Produktionsplanungs- und Steuerungssystem Auftragsinformationen erhält und die Flotte der Fahrzeuge so steuert, dass der Transport zwischen den Stationen möglichst schnell und reibungslos abläuft. Dazu weiß das Leitsystem jederzeit, wo und in welchem Zustand sich Fahrzeuge befinden und regelt idealerweise den Verkehrsfluss

bereits vorausschauend. Im Falle von kreuzenden Fahrzeugen sind im System analog zum Straßenverkehr Vorfahrtsregeln vorgesehen.

Durch die Kommunikation mit den Lastübergabe-Stationen erhält der Leitreechner Freigaben für die Ein- und Ausfahrt von Fahrzeugen. Zusätzlich koordiniert der Leitreechner zusätzliche Sicherheitseinrichtungen, Ampeln und Schranken sowie das Zusammenspiel von Fahrzeugen mit Türen, Brandschutz-toren – bis hin zu Aufzügen.

2.1.2 Visualisierung

Über eine Visualisierung werden die aktuellen Informationen wie Ort, Beladung und Zustand der Fahrzeuge für das Bedienpersonal angezeigt. Über diese Visualisierung ist das Bedienpersonal auch in der Lage, aktiv in die Abarbeitung der Aufträge einzugreifen. Dies ist

allerdings in der Regel nur bei Störungen notwendig. Je detaillierter die Informationen über die Aufträge und Fahrzeuge zur Verfügung stehen, umso leichter ist es im Betrieb die Störung manuell zu beheben oder präventiv zu agieren.

Visualisierungssysteme bieten in der Regel auch statistische Auswertungen über gefahrene Kilometer der Fahrzeuge, durchschnittliche Beladung und Transferzeiten sowie typische Stauorte an. Zur Optimierung

2.1.3 Lastübergabe-Station

Der Begriff „Lastübergabe-Station“ ist in der Norm EN ISO 3491-4 definiert als „Ort, an dem eine Last vom Flurförderzeug aufgenommen oder abgegeben werden kann“. Übergabestationen sind jene Orte, an welchen die Fahrzeuge be- oder entladen werden. Solche Orte können bei einfachen Transporten (beispielsweise einfacher Palettentransport) ohne weitere Sensorik auskommen. Anders verhält es sich bei der direkten Anbindung an Verarbeitungsprozesse. Egal ob danach ein Förderbandtransport oder eine automatisierte Ent-

ladung erfolgt: Hier sind Sensorik und eine Anbindung an das Leitsystem sinnvoll. Damit wird dem Leitsystem automatisch signalisiert, ob

■ eine Lastübergabe-Station für die Übernahme bereit ist (oder auf eine konkrete Lieferung wartet),

- die Lastübergabe-Station gerade belegt ist,
- sich Aufträge zur Abholung in einer Lastübergabe-Station befinden,
- oder eine Störung auf der Lastübergabe-Station vorliegt.

2.1.4 Batterieladestationen

Batterieladestationen dienen der elektrischen Aufladung der Fahrzeugbatterie. Bei modernen Systemen ist eine Vollladung der Fahrzeuge innerhalb von weniger als eine Stunde möglich. Die Ladestationen können in Lastübergabe-Stationen verbaut sein (paralleles Laden) oder als separate Stationen an strategischen Orten im Systembereich angeordnet werden. Wesentlich ist, dass der Zustand der Ladestation (bereit, defekt, laden) sowie der Ladestatus der Fahrzeuge an das Leitsystem übermittelt werden. Damit kann

dieses die einzelnen Fahrzeuge gezielt zum Nachladen senden und somit Störungen im Ablauf, die durch zu geringe Ladung bzw. das „Warten der Fahrzeuge auf Laden“ bedingt sind, vermeiden. Moderne Ladestationen sind entweder kontaktlos (induktive Ladung) oder mit Kontakten (bei hohen Strömen) ausgeführt. Mehr Informationen über Batterieladestationen sehen Sie in dem AUVA-Merkblatt M.plus 842 „Sicherer Umgang mit Batterieladestationen für Flurförderzeuge“

2.1.5 Fahrzeuge

Die Fahrzeuge bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Lastaufnahme und Lastsicherung
- Fahrwerk
- Steuereinheit
- Not-Halt
- Bremssystem
- Energieversorgung
- Datenübertragung
- Sicherheitskomponenten (Laserscanner, Sicherheits-Bumper, Sicherheits-Schaltleisten usw.)
- Navigationssystem

2.1.5.1 Lastaufnahme und Sicherung

Aktive Lastaufnahmemittel werden angetrieben und können eine Last selbstständig aufnehmen, wie z. B. Hubgabel, Hebevorrichtung, Rollenförderer, Transportband.

Passive Lastaufnahmemittel verfügen selbst über keinen Antrieb und sind daher auch nicht in der Lage, die transportierte Last selbstständig aufzunehmen bzw. abzugeben. Lastaufnahme erfolgt in Form von Führungsschrägen oder auch einfach nur als glatte Fläche, auf der die Last abgestellt wird.

Im Regelfall dient das Fahrzeug zum Transport von Lasten, welche entweder direkt auf dem Gerät oder über den Lastenträger (z. B. Box, Gestell) auf dem Fahrzeug abgestellt werden. Für die Aufnahme der Last wird das Fahrzeug so gestaltet, dass ein Abkippen der Last oder ein Umkippen des Fahrzeuges durch Lastaufnahme und Fahrwerk auch in Extremfällen verhindert wird. Hierfür werden Lastendiagramme, wie in Abbildung 4 gezeigt, erstellt.

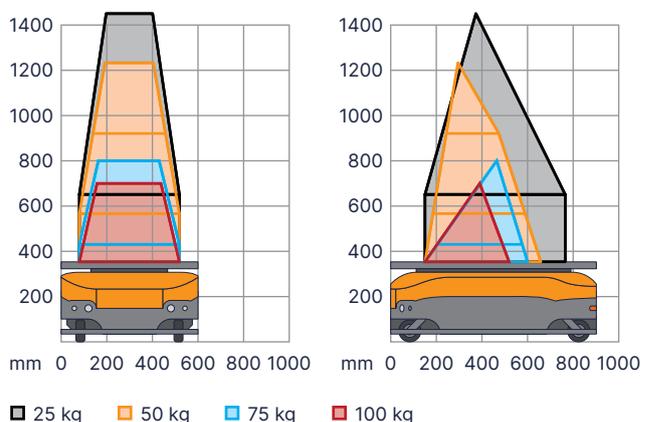


Abb. 4: Beispiel für ein Lastendiagramm, basierend auf [5]

Die zweite wesentliche Aufgabe der Lastaufnahme ist die Zentrierung, sprich korrekte Ausrichtung der Last. Dies ist vor allem für automatische Übergabeprozesse erforderlich. Als Zentrierung und Fixierung gegen Verutschen eignen sich beispielsweise Kegelaufnahmen.

2.1.5.2 Fahrwerk

Das Fahrwerk des Fahrzeuges definiert

- die Beweglichkeit, also der Platzbedarf für Richtungswechsel sowie
- die Stabilität der zu transportierenden Last.

Hierzu wird das Fahrwerk jeweils so ausgelegt, dass es sich idealerweise innerhalb des verfügbaren Platzes bewegen kann und auch die Last im Extremfall (d.h. bei maximaler Beschleunigung und Querkraft) sicher hält, kurz: ein Umkippen mitsamt der Last verhindert wird. Unterschieden wird generell in Linienbeweglichkeit (analog zu Auto und Lkw) und Flächenbeweglichkeit.

Linienbeweglichkeit bedingt meist einen höheren Platzbedarf (durch Kurvenfahrten), gleichzeitig werden damit jedoch meist höhere Geschwindigkeiten erzielt.

Flächenbeweglichkeit erlaubt einen minimalen Platzbedarf im Betrieb ist aber zumeist kostenintensiver und – aufgrund der laut Risikobeurteilung notwendigen Absicherung – auf eine niedrigere Geschwindigkeit begrenzt.

Wichtig ist auch, dass das Fahrwerk mit entsprechenden Feststellbremsen ausgeführt wird, welche unbeabsichtigte Bewegung des stillgesetzten Fahrzeuges mit und ohne Last verhindern.

In der Abbildung 5 sind gängige Fahrwerkstypen dargestellt. Da das Fahrwerk maßgeblich den Platzbedarf, aber auch die Geschwindigkeit des Fahrzeuges bei der Bewegung definiert, ist zu empfehlen, den verfügbaren Platzbedarf für flüssige Bewegungen mit den Bewegungsmöglichkeiten des Lieferanten im Vorfeld abzustimmen.

Das Fahrwerk (siehe Abb. 5), die Räder (siehe Abb. 6) und die Lenkung sind entscheidend für die Mobilität und Stabilität der Fahrzeuge. Die Räder können angetrieben oder freilaufend, fest oder schwenkbar sein. Mecanum-Räder, Kugelräder und schwenkbare Räder können sich auf dem Boden in jede Richtung bewegen, was auch als omnidirektionale Bewegung bezeichnet wird.

Das Fahrwerk des Fahrzeuges bestimmt die Beweglichkeit, also den Platzbedarf für den Richtungswechsel und die Stabilität der zu transportierenden Last. Hierzu wird das Fahrwerk jeweils so ausgelegt, dass es sich innerhalb des verfügbaren Platzes bewegen kann und auch die Last im Extremfall (maximale Beschleunigung und Querkraft) sicher hält und somit ein Umkippen der Last oder des Fahrzeugs verhindert.

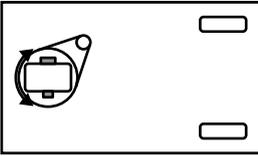
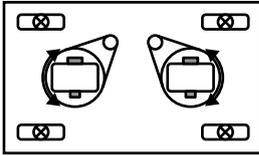
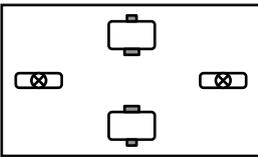
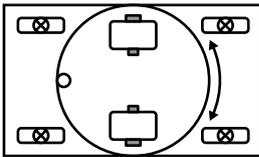
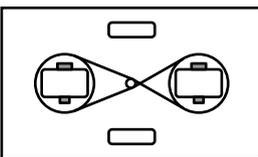
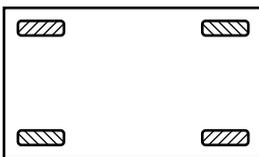
Fahrwerk	mögliche Fahrbewegung	Fahrwerk	mögliche Fahrbewegung
 <p>Dreirad</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ linienbeweglich ▪ Geradeausfahrt und Drehen um Hinterachse ▪ Vorzugsfahrtrichtung vorwärts, Rückwärtsfahrt möglich 	 <p>mehrere unabhängige Fahr- / Lenkeinheiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ flächenbeweglich
 <p>Differentialantrieb</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ linienbeweglich ▪ Geradeaus- und Rückwärtsfahrt ▪ Drehen um Mittelachse möglich 	 <p>Differentialantrieb mit Drehachse</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ flächenbeweglich
 <p>gegenseitig gekoppelter Lenkantrieb</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ linienbeweglich ▪ Geradeaus- und Rückwärtsfahrt ▪ Drehen um Mittelachse möglich 	 <p>Mecanum-Antrieb</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ flächenbeweglich
<p>Symbole</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fahrtrieb</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Stützrolle</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>drehbare Stützrolle</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Lenkantrieb</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Mecanum-Rad</p> </div> </div>			

Abb. 5: Unterschiedliche Fahrwerkstypen, basierend auf VDI 2519

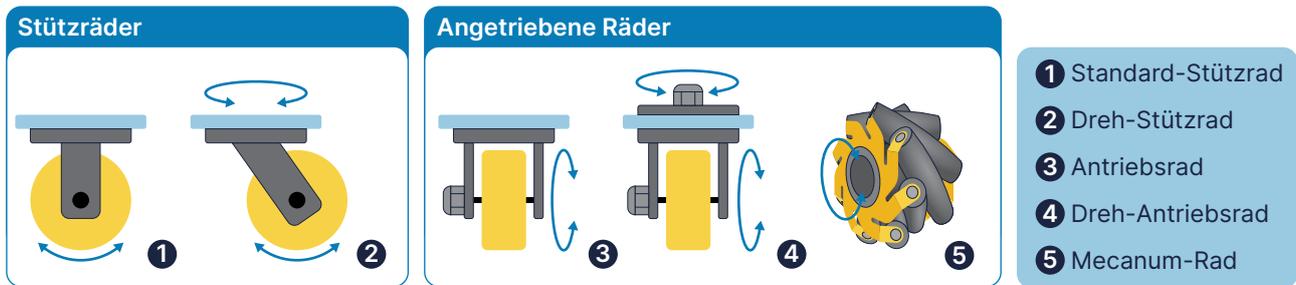


Abb. 6: Typen von Fahrzeigrädern

Fahrzeuge mit größerer Bewegungsfreiheit können Hindernissen leichter ausweichen und durch schmale Wege manövrieren – das bringt Vorteile in engen Räumen und auf kurvenreichen Strecken. Im Falle eines Stromausfalles oder einer Störung muss das Fahrzeug noch geschoben oder gezogen werden können, z. B. um Fluchtwege freizumachen. Um neue Gefahrensituationen zu vermeiden, darf sich aber das Fahrzeug jedoch nicht unkontrolliert selbstständig in Bewegung setzen (z. B. auf unebenem Gelände, bei etwaiger Ladungsverschiebung usw.), daher ist eine Feststellbremse erforderlich.

2.1.5.3 Steuerung und Sicherheitssteuerung

Jedes Fahrzeug ist mit einer eigenen Fahrzeugsteuerung sowie einer Sicherheitssteuerung ausgestattet. Zusammen bilden diese beiden Einheiten die Intelligenz des Fahrzeuges ab.

Fahrbefehle werden vom Leitreechner an die Steuerung des einzelnen Fahrzeuges gesendet. Basierend auf der Navigation ermittelt die Steuerung daraus die notwendigen Drehzahlen der einzelnen Fahrtriebe um Vor-, Rück- und Kurvenfahrten zu ermöglichen. Die Steuerung der Lastenverriegelung erlaubt in Übergabestationen die kontrollierte Lastenaufnahme bzw. Lastenabgabe, wenn erforderlich können hierzu Sensoren abgeschaltet werden.

Wesentlicher Teil jedes Fahrzeuges, welches in den Bereichen mit Personenverkehr betrieben wird, ist die Sicherheitssteuerung. Diese spezielle Steuerung überwacht die Bewegungen des Systems und den Fahrbereich des Fahrzeuges. Nähert sich das Fahrzeug einem Hindernis, oder tritt eine Person in den Fahrweg, löst die Sicherheitssteuerung den sicheren Halt des Systems aus. Zur Signalisierung werden durch die Steuerungen auch entsprechende Warnlampen, welche die Fahrtrichtung anzeigen, angesteuert.

Im Falle von Produktionsstörungen können die Fahrzeuge aus dem üblichen Automatikmodus in einen Handbetrieb geschaltet werden. Damit ist es möglich, über eine meist kabelgebundene Fernbedienung die Fahrzeuge zu bewegen. Dies kann erforderlich sein, wenn ein Fahrzeug beispielsweise seine WLAN-Verbindung verliert oder von einer verunreinigten Fahrbahn entfernt werden muss.

2.1.5.4 Not-Halt

Gemäß der Norm ISO 3681.4 Absatz 4.8.1 müssen Fahrzeuge mit einer Not-Halt-Funktion ausgestattet sein, die der Norm ISO 13850:2015 entspricht. Wenn die Not-Halt-Einrichtung betätigt wird, müssen alle Bewegungen des Fahrzeuges stoppen.

Die Not-Halt-Einrichtungen müssen rund um das Fahrzeug gut erkennbar und zugänglich sein. Wenn das Fahrzeug über einen festgelegten Platz für Fahrer:innen mit Bedienelementen für den manuellen Betrieb verfügt, muss in der Nähe dieser Bedienelemente eine Not-Halt-Einrichtung angebracht werden.

2.1.5.5 Bremssystem

Fahrzeuge müssen gemäß Norm ISO 3491-4 Absatz 4.2 mit einem Bremssystem ausgerüstet sein, das bei Unterbrechung der Energiezufuhr automatisch aktiviert wird, sobald die Steuerung von Lenkung oder Geschwindigkeit ausfällt. Das Bremssystem muss das Fahrzeug mit maximal zulässiger Beladung und zugelassener Neigung im Stillstand halten.

2.1.5.6 Energieversorgung

In modernen Fahrzeugen werden je nach Einsatz und Anwendung meist unterschiedliche Batterien / Akkus zur Energieversorgung verbaut. Die verwendeten Betriebsspannungen der Batterien reichen von 12 V bis 400 V je nach Leistung der Antriebe. Derzeit übliche Lithium-Ionen-Batterien müssen mit Batteriemanagementsystemen ausgestattet sein, welche die Ladung und Entladung der Batterie und der darin enthaltenen Zellen so steuern, dass es zu einer möglichst gleichmäßigen Ladung und Entladung der einzelnen Zellstränge kommt. Das Batteriemanagementsystem sollte an die Steuerung des Fahrzeuges gekoppelt werden, um

- Freischaltungen für Laden der Batterien zu steuern,
- Abschaltungen zu ermöglichen und
- die Störungen des Batteriesystems an die Steuerung und den Leitreechner weiterzugeben.

2.1.5.7 Datenübertragung

Die Datenübertragung zwischen Fahrzeug und Leitsystem funktioniert üblicherweise über WLAN und die Fahrzeuge benötigen eine kontinuierliche Kommunikation.

Das heißt, ist die WLAN-Dämpfung zu stark oder ver- rauscht, so bleibt das Fahrzeug stehen. Daher wird empfohlen am Beginn der Inbetriebnahme die Funkab- deckung zu messen und die Definition der WLAN-Ka- näle mit der IT zu koordinieren.

2.1.5.8 Historische Daten

Bei dynamischen Systemen und insbesondere auto- nomen Fahrzeugen ist es wichtig, die Daten zu spei- chern, um eventuelle Beinahe-Unfälle bzw. Unfälle

analysieren zu können. Es wird daher empfohlen, ein detailliertes Datentracking sowohl auf den einzelnen Fahrzeugen als auch am Leitreechner zu integrieren und dieses mindestens sieben Tage lang zu spei- chern. Daten wie Zeitangabe, Aufträge, sicherheits- relevante Events der einzelnen Fahrzeuge sowie die Kommunikation mit dem Leitreechner sollen es ermög- lichen, notwendige Erkenntnisse über das Systemver- halten zu gewinnen, die Systeme zu optimieren sowie mögliche Vorfälle untersuchen und rekonstruieren zu können.

2.1.6 Navigationssystem (Spurführungssysteme)

Es stehen verschiedene Navigationssysteme zur Füh- rung von Fahrzeugen zur Verfügung, wie etwa:

- Odometrie
- magnetische Führung
- induktive Führung
- optische Führung
- Laserstrahlführung
- externe Positionsgeber
- Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

2.1.6.1 Odometrie

Odometrie ist eine Methode zur Schätzung der Bewe- gung eines Fahrzeuges basierend auf den Messwerten seiner eigenen Bewegungssensoren. Diese Sensoren können beispielsweise Wheel Encoders, Inertial Mea- surement Units (IMUs) oder Gyroskope sein.

Odometrie nutzt die Messwerte dieser Sensoren, um die Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung des Roboters zu berechnen und eine Schätzung seiner aktuellen Position zu erstellen. Da die Messwerte der Sensoren ungenau sein können, kann sich die Schät- zung der Position mit der Zeit verzerren. Odometrie wird häufig als schnelle und einfache Methode zur Positionsbestimmung verwendet und ist besonders nützlich in Umgebungen, in denen keine hohe Genau- igkeit erforderlich ist oder andere Ortungssysteme nicht zur Verfügung stehen.

Schätzungen durch Odometrie können im Vergleich zu anderen Ortungssystemen wie GPS, externen Positio- nierern oder optischen Markern weniger genau sein. Daher sollte die Odometrie in Kombination mit anderen Systemen verwendet werden, um eine genaue Positio- nierung zu erreichen.

2.1.6.2 Magnetische Führung (Magnetband oder Magnetpunkte)

Diese Führungen nutzen das magnetische Prinzip eines Magnetbandes, welches entlang der gewünschten Bahn verlegt wird oder von Magnetpunkten, welche in definierten Abständen entlang der gewünschten Bahn

im Boden eingelassen werden. Das Fahrzeug verfügt je nach Ausführung über zwei Sensoren, welche die Magnetfelder beispielsweise mit Hall-Sensoren erken- nen. Die Abweichung der Messwerte zueinander wird verwendet, um das Fahrzeug durch Nachregeln auf der geplanten Spur „mittig“ zu halten.

Die magnetischen Führungen sind fix im Boden ver- ankert und somit unflexibel, was das nachträgliche Ein- fügen von neuen Zielstellen oder Bahnen betrifft. Diese müssen, ähnlich wie bei den mechanischen Führungen, neu errichtet werden.

Die magnetische Führung bietet eine einfache und kosteneffiziente Möglichkeit, Fahrzeuge entlang einer vorgegebenen Route zu lenken. Dies kann insbeson- dere bei Anwendungen nützlich sein, bei denen eine hochpräzise Navigation erforderlich ist, z. B. in engen Gängen oder für die genaue Positionierung zur Last- übergabe-Station.

2.1.6.3 Induktive Führung (Leitdraht)

Induktive Führungen funktionieren nach demselben Prinzip wie magnetische Führungen. Im Boden werden Leiterkabel verlegt, welche von Strom durchflossen werden und somit ein elektromagnetisches Feld ab- strahlen. Am Boden des Fahrzeuges sind zwei aus Spulen bestehende Antennen montiert. Diese registrie- ren das elektromagnetische Feld und können so Aus- kunft über den Verlauf des darunterliegenden Leiters geben. Eine Abweichung des Fahrzeuges von der vorgegebenen Spur bewirkt eine Änderung der indu- zierten Spannung in beiden Antennen. Diese Änderung wird in der eingebauten Regelung verwendet, um das Fahrzeug auf Kurs zu halten. Die eingebauten Leiter können auch zur Kommunikation mit dem Leitreechner verwendet werden und erlangen damit eine Doppel- funktion.

Induktive Führung kann auch in feuchten oder staubi- gen Umgebungen eingesetzt werden, in denen andere Technologien, wie Kameras oder Lasersensoren, be- einträchtigt werden können.

2.1.6.4 Optische Linien-Führung

Optische Führungen funktionieren mithilfe von optischen Signalgebern, welche im Boden eingebaut oder aufgeklebt sind. Diese Signalgeber sind durchgehende Leitlinien, welche von oben betrachtet einen hohen Kontrast im Vergleich zum normalen Untergrund bieten. Dieser Kontrast wird von zwei optischen Sensoren aufgenommen und wie in den vorher beschriebenen Führungen zur Bahnregelung genutzt. Beispielsweise kann die an beiden Sensoren gemessene Lichtintensität bestimmt werden. Oder es wird die aktuelle Lage der Leitlinie optischvisuell unter dem Fahrzeug mithilfe eines CCD-Sensors erfasst.

Ein Nachteil optischer Führungen ist die Sichtbarkeit der Linien-Markierungen, Empfindlichkeit gegenüber Schatten und Verschmutzung der Leitlinien und der Sensoren an Fahrzeugen. Die Sensoren kann man durch das Anbringen von Bürsten bei der Durchfahrt eines Zielpunktes reinigen, die Reinigung der Leitlinie ist jedoch aufwendiger.

2.1.6.5 Optische Raster (Punkte-Code)

Optisches Raster (Punkte-Code) ist ein Navigationssystem, das auf der Verfolgung von visuellen Markierungen basiert. Diese Markierungen werden in Form von Punkten auf dem Boden oder auf einer Ebene angebracht und bilden ein Raster (QR-Code oder Ähnliches). Ein Fahrzeug, das mit einer Kamera ausgestattet ist, scannt den Boden nach den Punkte-Markierungen und verwendet sie als Referenzpunkte, um seine Position und Bewegung zu bestimmen. Anhand der relativen Position und Anzahl der gescannten Punkte kann der Roboter seine Position innerhalb des Rasters berechnen und seine Bewegung planen. Optisches Raster

eignet sich besonders für statische Umgebungen, in denen die Sichtbarkeit und Helligkeit der Markierungen konstant bleiben.

2.1.6.6 Laserstrahlführung

Diese Art der Führung basiert auf einer Triangulationsmessung von ausgesendetem Licht, welches von passiven Reflektoren in der Umgebung parallel zum ausgesendeten Lichtstrahl reflektiert wird (siehe Abb. 7). Hierzu besitzt das Fahrzeug einen Laserscanner, welcher in einem definierten, vertikalen Winkel über den gesamten Bereich von 360° alle Wände scannt.

An vertikal montierten Reflektoren (Reflektorstreifen, -winkeln oder -zylindern) wird das Laserlicht stark reflektiert. Die Reflektorpunkte müssen vermessen werden und die Karte mit den Reflektorpunkten wird dem Fahrzeug mitgegeben. Dadurch kann es sich im Raum orientieren. [3]

Bei dieser Art der Orientierung ist es wichtig, dass das Fahrzeug idealerweise vier oder mehr Reflektoren in jeder Fahrposition sehen kann, um eine genaue Navigation sicherzustellen. Laserstrahlführung ist besonders geeignet für Einsätze in rauen Umgebungen, da sie eine hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit bietet.

Alle bisher genannten Führungssysteme sind für den Gebrauch in Gebäuden konzipiert. Fahrzeuge, welche im Freien verwendet werden, können zusätzlich durch Lokalisationssysteme wie GPS oder dem noch genaueren, differenziellen GPS unterstützt werden. Diese Systeme funktionieren heute bis auf wenige Zentimeter genau und können den AGV eine absolute Position bereitstellen.

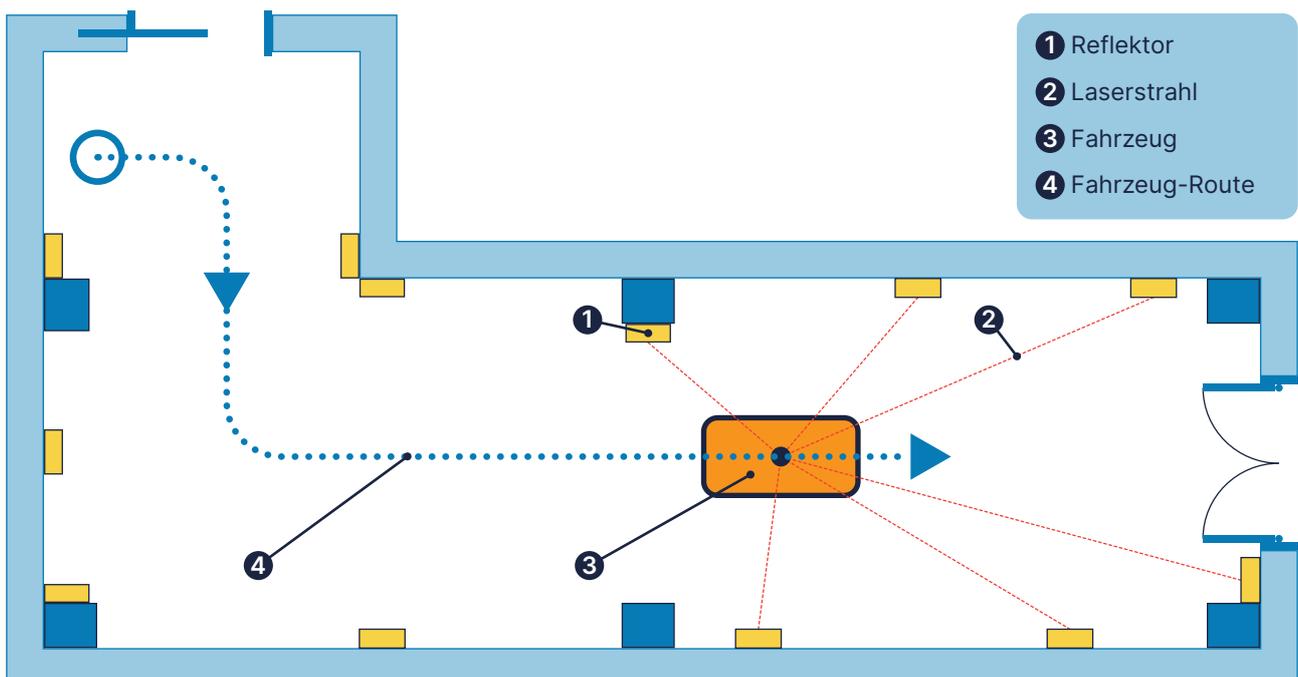


Abb. 7: Externe Positionsgeber

2.1.6.7 Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

SLAM ist eine Technologie, die in vielen mobilen Roboteranwendungen eingesetzt werden kann, um die Navigation und Kartierung in unbekanntem Umgebungen zu ermöglichen. Sie ermöglicht es einem mobilen Roboter, sich in einer Umgebung zu bewegen und gleichzeitig eine Karte dieser Umgebung zu erstellen. Dazu werden Daten von Sensoren wie Laserscannern verwendet. Laserscanner erfassen die Umgebung zyklisch und vergleichen neue Daten mit den Daten in der Karte. Im Gegensatz zur Laserstrahlführung sind jedoch keine Reflektoren erforderlich, um das Fahrzeug zu lokalisieren.

2.1.7 Integration in die Infrastruktur

2.1.7.1 Schnellauf-tore

Im FTS-Fahrkurs kann es automatische Schnellauf-tore / Rolltore geben. Der Normalzustand der Tore ist „Tor geschlossen“. Um diese korrekt zu steuern, ist der Fahrkurs mit logischen Markierungen wie dem Kontrollpunkt „Tor öffnen“ und „Tor offen“, welche sich in sicherem Abstand vor dem Tor befinden, sowie dem Fahrwegsbereich „Fahrzeug in Torbereich“ innerhalb des Torbereiches versehen.

Am Kontrollpunkt „Tor öffnen“ sendet das Fahrzeug über die FTS-Leitsteuerung die Anforderung an die Torsteuerung, das Tor zu öffnen. Spätestens am Kontrollpunkt „Tor offen“ erwartet das FTF die Durchfahrts-freigabe von der Torsteuerung. Diese Freigabe ist unwiderruflich. Die Torsteuerung muss gewährleisten, dass das Tor geöffnet bleibt, solange sich das Fahrzeug im Torbereich befindet.

2.1.7.2 Brandschutz-tore

Auf einer Fahrzeugroute kann es Brandschutz-tore geben. Der Normalzustand der Tore ist „Tor offen“. Bevor ein Fahrzeug in den Bereich eines Brandschutz-tores einfährt, überprüft die FTS-Leitsteuerung das Signal „Tor offen“. Wenn „Tor offen“ gesetzt ist, durchfährt das Fahrzeug das Tor, andernfalls bleibt das Fahrzeug stehen und wartet auf das Signal. Das Tor muss zeitverzögert zum Brandalarm geschlossen werden, um einem eventuell gerade noch eingefahrenen Fahrzeug die Gelegenheit zur Durchfahrt zu geben (ein üblicher Wert sind ca. 20 Sekunden). Nach Ablauf dieser Zeit muss das Tor ohne Rücksicht auf eventuelle Hindernisse schließen. Die FTS-Leitsteuerung darf ein Fahrzeug während der Tordurchfahrt nicht stoppen.

Bei der SLAM-Methode nutzt das Fahrzeug zur Lokalisierung die existierenden Konturen von Wänden, Säulen, Maschinen usw. und errechnet auf Basis der erkannten Konturen der Umgebung und der zuvor auf-gezeichneten Karte, welche im System vorhanden ist, die aktuelle Position. Dabei wird ein Abgleich zwischen den erkannten Konturen und den vorab aufgenom-menen Merkmalen der Umgebung durchgeführt. Bei der SLAM-Methode ist es wichtig, in den Karten un-verrückbare Elemente klar zu kennzeichnen, um das Fahrzeug in jeder Position die korrekte Orientierung zu erlauben.

2.1.7.3 Verkehrsregelungen

In den Hallen, in denen sich automatisch oder auto-nom gesteuerte Fahrzeugsysteme, Personenwege und manuell gesteuerte Flurförderzeuge kreuzen, müssen Verkehrsregeln vereinbart und eingehalten werden. Die Verkehrsregeln müssen in das Leitsystem integriert und in die Schulung von Beschäftigten und Arbeits-platzunterweisung einbezogen werden.

Bei Fahrzeugen, die ihre Routen selbst festlegen und ganze Bereiche befahren, werden bestimmte Bereiche – siehe Abbildung 8 – vom ersten Fahrzeug (in der Ab-bildung mit 1 gekennzeichnet) für das zweite Fahrzeug (in der Abbildung mit 2 gekennzeichnet) gesperrt, um Kollisionen zu vermeiden und ein reibungsloses Vorbei-fahren zu ermöglichen. Solche Sperrflächen werden an Kreuzungen mit anderen Teilnehmenden zur Steuerung von Ampeln oder Schranken verwendet.

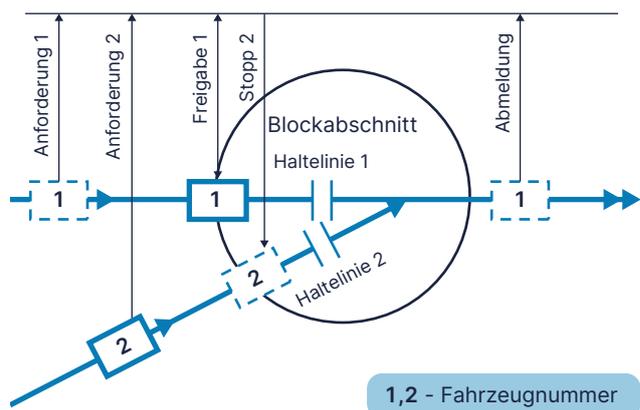


Abb. 8: Prinzip der Blockierungsbereichsteuerung, basierend auf [6]

2.2 Fahrwege und deren Planung

Die Fahrwege der Fahrzeuge werden während der Konzeption des Systems festgelegt. Der Platzbedarf der Fahrzeuge während der Fahrt ist abhängig von der Dimension der Fahrzeuge, ihrer Beweglichkeit (Linienfahrwerk versus Flächenfahrwerk) sowie der Fahrgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Sicherheitsfelder. Der Platzbedarf für ein Fahrzeug mit Linienfahrwerk für das Fahrzeug mit Last selbst (siehe Abb. 9, Pos. 3, blau) und inklusive der notwendigen Sicherheitsfelder (siehe Abb. 9, Pos. 2, violett) ist in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 10 zeigt einen Scan eines mobilen Roboters. Das Scanbild wird für die Fahrzeugnavigation und die Routenplanung verwendet. Mobile Roboter können über die virtuell geräumten Flächen fahren, Hindernissen ausweichen und einen vordefinierten Abstand zu den Kanten der gescannten Objekte einhalten, wie in Position 3 der Abbildung gezeigt. Die gescannten Punkte (siehe Abb. 10, Position 1) werden kontinuierlich mit dem Raumplan verglichen, um die Position und den weiteren Weg des Fahrzeuges zu bestimmen. Darüber hinaus werden die Bereiche, die nicht befahren werden dürfen, wie in Position 2 der Abbildung gezeigt, im Leitrechner virtuell gesperrt.

Gemäß ISO 3691-4 Anhang A werden Abstände des Fahrzeuges zu den Gehwegen, Maschinen und Arbeitsplätzen, Gegenständen und anderen Fahrzeugen definiert.

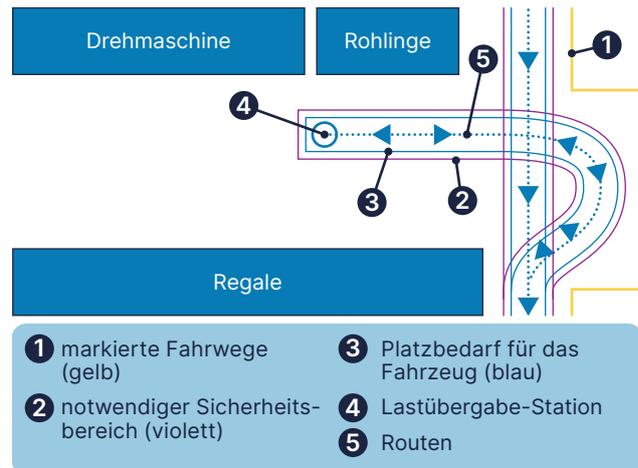


Abb. 9: Auszug aus der Wegplanung eines FTS, basierend auf Vorlage von syn2tec e.U.

Zur Absicherung des Fahrzeuges werden üblicherweise unterschiedliche Sensoren eingesetzt. In bestimmten Situationen, wie zum Beispiel an Übergabepunkten, Toren oder beim Einfahren in schmale Regalgänge, müssen diese Sicherheitseinrichtungen kurzfristig sicher abgeschaltet werden, da sie sonst das Fahrzeug in einen sicheren Zustand versetzen. Die Normen ISO 3691-4:2020 und ISO 13849-1 fordern in solchen Fällen, dass die Position des Fahrzeuges an dieser Stelle mit PLd (PL Performance Level Gruppe d nach ISO 13849-1) abgesichert werden muss. Die Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde bei PLd beträgt $\geq 10^{-7}$ und $< 10^{-6}$.

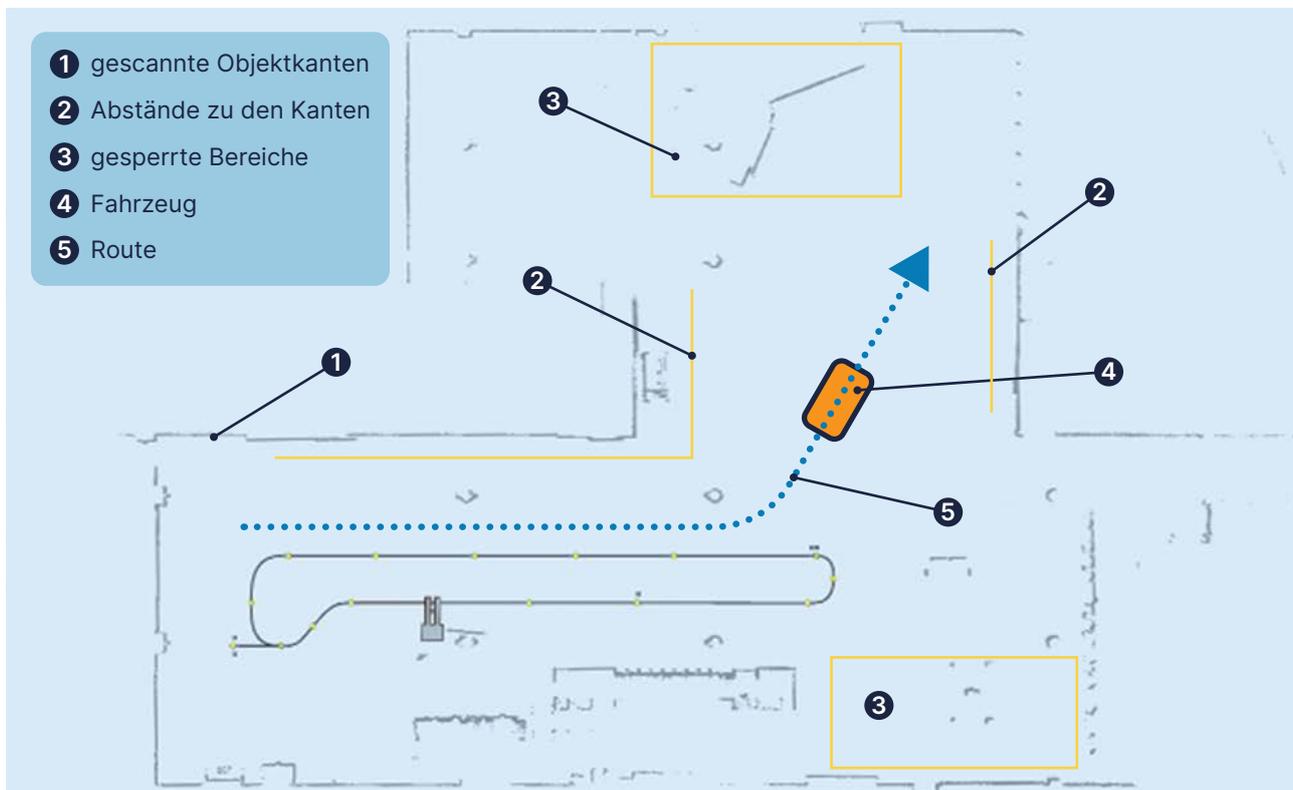


Abb. 10: Auszug aus der Flächenbewegung eines mobilen Roboters

3 Planung eines Systems

In Bezug auf konventionelle Fördertechnik durch Rollen-tische, Förderbänder und automatische Regalsysteme verfügen fahrerlose Transportsysteme über Vorteile

- der Flexibilität und Skalierbarkeit sowie
- der besseren Zugänglichkeit der Produktionsfläche.

Flexibilität und Skalierbarkeit

Die Flexibilität bedeutet zum einen, dass im Betrieb das Fahrzeug entlang der Bahnführung flexible Positionen anfahren kann und dadurch eine flexible Produktion ermöglicht und unterstützt; zum anderen ist es mit dem System auch möglich, die Produktion abhängig von den Anforderungen beliebig zu verändern, etwa zu vergrößern, zu verkleinern oder Maschinen neu zu positionieren.

Abhängig von der verwendeten Technologie ist dafür nur die Änderung der Bahnführung sowie die Installation zusätzlicher Wegmarken (Reflektoren) und WLAN-Router erforderlich. Überdies ist es jederzeit möglich, der Flotte zusätzliche Fahrzeuge hinzuzufügen und dadurch die Leistung des Systems anlassbezogen zu skalieren.

Bessere Zugänglichkeit

Die bessere Zugänglichkeit ist dadurch gegeben, dass sich die Fahrzeuge auf Freiflächen bewegen, welche – abhängig von der Sicherheitsausrüstung der Fahrzeuge – auch mit anderen Produktionsmitteln geteilt werden können. Somit ergibt sich im Gegensatz zum Einsatz von starren Transportbändern, welche in der Produktion Flächen dauerhaft belegen, der wesentliche Vorteil der einfachen Zugänglichkeit von Maschinen. Dies ist vor allem für Nebenprozesse wie Zubringen von Kleinteilen oder Entfernen von Abfällen von erheblicher Bedeutung.

Dennoch hat auch ein FTS seine Anforderungen an die verfügbare Fläche und vor allem an die Organisation, um einen effizienten Betrieb zu gewähren. Um ein FTS zu planen, geben die Literatur und Richtlinien wie die VDI 2510 oder die VDI 2710 zur ganzheitlichen Planung von FTS sowie auch zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wichtige Hinweise. Gerade die VDI 2710 mit ihren zahlreichen Blättern ist für die Planung eines Systems durch Anwender sehr empfehlenswert.

Als Einführungsliteratur wird empfohlen, weitere auf Planung und Sicherheit von Anlagen bezogene Leitfä-

den zu konsultieren. Diese gelten sowohl für klassische FTS als auch für MR oder AMR, beispielsweise:

- „Fahrerlose Transportsysteme Leitfaden, Phasen, Rollen und Akteure – VDI nachrichten (vdi-nachrichten.com)“
- „Leitfaden FTS-Sicherheit für den Betreiber“
- „Leitfaden FTS-Sicherheit für den Planer“

Fragestellungen zum sinnvollen Einsatz von FTS können lauten:

- Welche manuellen (Versorgungs-)Prozesse erfordern viel Aufwand und beeinträchtigen meine Produktivität und Produktqualität?
- Welche verketteten (Versorgungs-)Prozesse sind störungsanfällig und / oder erschweren Nebenprozesse, die wiederum Kosten oder Produktivitätsverluste nach sich ziehen?
- Welche Transportprozesse führen aufgrund von mangelnder Ordnung zu Produktionsstörungen (z. B. Suchen / Nicht-Finden von Halbzeugen, Beschädigung durch unsachgemäßen manuellen Transport und/oder unsachgemäße Zwischenlagerung)?
- Welchen Platz sind Sie bereit, Ihrem FTS zur Verfügung zu stellen?

3.1 Automatisierte Prozesse

Vollautomatisierte Prozesse mit einer fix definierten Folge von Abläufen, welche sich auch langfristig nicht ändern, werden meist durch eine direkte Verkettung mittels Förderstrecken gelöst.

Der Einsatz von FTS ist sinnvoll, wenn Prozesse und Prozessfolgen nicht vollständig standardisiert sind und

sich beispielsweise marktabhängig ändern. Automatisierte Fahrzeuge sind besonders geeignet, wenn eines oder mehrere der folgenden Merkmale auf den Warenfluss in der Produktion zutreffen:

- Variierende Taktzeit in den Arbeitsstationen. Fixe Fördersysteme würden dadurch blockiert aber ein Fahrzeug kann warten.

- Folgearbeitsschritte und Arbeitsstationen sollen variabel sein. Hier müssen für fixe Fördersysteme viele Routen gebaut werden, während ein Fahrzeug beliebige Stationen anfahren kann.
- Prozesse, welche aufgrund von Nachfrage bzw. Produktänderungen starken Schwankungen unterliegen und daher die verwendeten Arbeitsstationen sowie die Warenströme durch die Produktion situativ angepasst werden müssen. Bei fixen Fördersystemen ist eine Umstellung der Produktionssequenz mit hohen Kosten verbunden. Für die Fahrzeuge reicht ein Rerouting, egal ob bei Änderung der Abläufe oder bei Erweiterung der Produktion.

Das Beispiel des Kommissionierungsprozesses für Kleinteile zeigt, wie Prozesse disruptiv gestaltet werden können. Der konventionelle Zugang ist, dass sich die Teile an fixen Orten befinden und die Lagerarbeiter:innen die Waren entweder manuell zusammensuchen (Typ Einkaufstour) oder aus einem Hochregallager holen.

Die Alternative mit dem FTS sieht wie folgt aus: Alle Kleinteile befinden sich auf mobilen Stellagen, welche, wie in der Abbildung 11 dargestellt, auf kleinen Fahrzeugen transportiert werden. Anstatt Kommissionierer:innen durch die Gänge laufen zu lassen, stehen diese fix an der zugewiesenen Position und die notwendigen Regale mitsamt den Artikeln kommen in der erforderlichen Sequenz zur Position.

Als angenehmer Nebeneffekt des Systems ist die einfache Skalierbarkeit zu werten. Abhängig vom Kommissionierungsvolumen können die Lager und damit Manövrierflächen flexibel vergrößert und verkleinert werden. Alternativ dazu kann auch die Andienung von Quellartikeln oder Zielbehältern an eine Kommissionierstation auf Basis von Behältern durch ein FTS erfolgen.



Abb. 11: Fahrerlose Transportfahrzeuge für Transport von Papierrollen, Fotos Mediaprint

3.2 Allgemeine Charakteristik

FTS müssen bei Personenverkehr immer sicher unterwegs sein. Dabei gilt es zu beachten:

- Auf ausreichend Platz für das Manövrieren achten! Wo ein Stapler ganz knapp an die Wand fahren kann, muss ein FTS noch immer Platz für Personen und vor allem einen potenziellen Bremsweg lassen.
- FTS sind langsamer als Staplerfahrer:innen. Dies liegt daran, dass der Bremsweg mit dem Quadrat der Geschwindigkeit steigt und damit übliche FTS bis etwa 2,0 m/s mit geringen Bremsrampen im Bereich von 0,5 m/s² unterwegs sind.
- Die Wege des FTS müssen klar gekennzeichnet sein. Der Aufenthalt auf Flächen mit Verkehr bedarf Sicherheitsunterweisungen. Sind die Fahrzeuge nicht mit Personensicherheit ausgestattet, sind diese Bereiche abzusichern bzw. einzuzäunen.
- Bei starkem Personen- oder begleitendem Staplerverkehr kann es zu Verzögerungen kommen.

FTS haben meist starre Routen. Beachte:

- Die Flexibilität und Vorausschau von Staplerfahrer:innen ist meist nicht gleichermaßen in den FTS verankert. Zwar gibt es die Möglichkeit von Ausweichrouten und begrenzter freier Bewegung, um z. B. Blockaden zu umfahren, jedoch sind diese mit

den Fähigkeiten menschlicher Staplerfahrer:innen allerdings noch nicht vergleichbar.

Mehr Fahrzeuge bedeutet nicht gleich mehr Produktivität. Mit zunehmender Fahrzeuganzahl erhöht sich das Verkehrsaufkommen im System. Wie im Straßenverkehr kommt es beispielsweise durch notwendige Manöver wie Einfahren in Übergabestation zu Wartezeiten von nachfolgenden Fahrzeugen. Sind viele Fahrzeuge im Einsatz, kommt es entsprechend zu Staus, welche wieder aufgelöst werden müssen. Damit ist es analog zum Stadtverkehr nicht unbedingt günstig, immer mehr Fahrzeuge auf einen Kurs zu senden. Die ideale Besetzung mit Fahrzeugen und der mögliche Durchsatz kann mit Simulationen sehr gut bestimmt werden. Bei der Konzeption der Anlage empfiehlt es sich, typische, kritische Produktionsszenarien zu definieren und diese als Vorgabe für die Simulationen zu verwenden.

Um eine Planung von fahrerlosen Transportsystemen durchführen zu können, wird empfohlen, der VDI 2710 „Ganzheitliche Planung von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS)“ zu folgen. Ein Beispiel, wie die Wegplanung ausschauen kann, sieht man in der Abbildung 9 (siehe Kapitel 2.2).

3.3 Erweiterung des bestehenden Systems

Sehr oft müssen bestehende FTS / AMRS erweitert werden. Wenn man beim gleichen Systemanbieter bleibt und dort die entsprechende Erweiterung im Angebot steht, ist eine Nachrüstung einfach durchzuführen. Ansonsten kann die Nachrüstung bis zu einem gewissen Grad komplex werden. Dann stellt sich die Frage, wie z. B. die Nutzung der gleichen Strecken sowie die Überschneidung von Strecken zwischen verschiedenen Systemen so koordiniert werden können, dass keine unüberwindbaren Verkehrssituationen entstehen.

Eine mögliche Lösung bietet die VDA 5050. Konkret geht es darum, die Kommunikation zwischen Steuerungssystemen und FTS zu vereinheitlichen und damit wesentliche Vorteile zu erzielen, wie z. B.:

- höhere Flexibilität der FTS durch Prozessmodule
- Reduzierung der Implementierungsdauer durch zentrale Servicekonzepte (standardisierte Datenübertragung) und damit erhöhte Herstellerunabhängigkeit
- mögliche Kombination bestehender Systeme auf Basis der VDA 5050 mit neuen VDA 5050-Systemen

4 Gesetzliche und normative Regelungen

FTS und mobile Roboter fallen unter die Begriffsbestimmung des § 2 Abs. 8 der AM-VO (Arbeitsmittelverordnung). Sie lautet: „Selbstfahrende Arbeitsmittel sind motorisch angetriebene schienengebundene oder nicht-schienengebundene Fahrzeuge, die entsprechend dem vom Hersteller angegebenen Verwendungszweck für die Durchführung von Arbeitsvorgängen bestimmt sind“.

Demnach hat der Hersteller FTS und MR so zu konstruieren und zu bauen, dass sie ihrer Funktion gerecht werden und unter den vorgesehenen Bedingungen – aber auch unter Berücksichtigung einer vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung des Systems – betrieben und gewartet werden können, ohne dass Personen einer Gefährdung ausgesetzt sind (siehe MSV 2010, Anhang I, 1.1.2, modifiziert von [7]).

Die Bestimmungen des § 23 AM-VO sind anzuwenden, unter anderem dessen Absatz 1, wie folgt: „Durch geeignete Maßnahmen ist für eine sichere Abwicklung des innerbetrieblichen Verkehrs mit selbstfahrenden Arbeitsmitteln zu sorgen. Insbesondere sind geeignete Maßnahmen festzulegen und durchzuführen, um eine Gefährdung der ArbeitnehmerInnen durch Umkippen, Überrollen, Wegrollen oder Anstoßen des Arbeitsmittels oder durch einen Zusammenstoß von Arbeitsmitteln und eine Gefahr bringenden Kontakt von ArbeitnehmerInnen mit dem Arbeitsmittel zu verhindern.“

In den Bereichen in denen sich Fahrzeuge (FTF und MR) und konventionelle Flurförderzeuge bzw. Arbeitnehmer:innen fortbewegen, müssen Verkehrsregeln aufgestellt werden und in der schriftlichen Betriebsanweisung festgehalten werden.

Da fahrerlose Fahrzeuge flexible und komplexe mechatronische Maschinen sind, müssen Unternehmen, die solche Maschinen herstellen, alle Richtlinien und Normen, die für andere Elektrogeräte und Steuerungen, Software und mechanische Aufbauten gelten, anwenden. Je nach Applikation sind zusätzlich spezi-

fische Normen zu berücksichtigen, wie etwa beim Einsatz der Fahrzeuge im Reinraum, für Roboterzellen im Nahrungsmittelbereich oder für Kombinationen mit Laseranwendungen wie Laserschweißen usw.

Vor dem erstmaligen Inverkehrbringen sind FTS und MRS einem Konformitätsbewertungsverfahren gemäß der Maschinensicherheitsverordnung (MSV) zu unterziehen. Im Zuge dieses Verfahrens wird unter anderem geprüft, ob die relevanten Normen und Sicherheitsvorschriften eingehalten werden. Weiters ist die Durchführung einer Risikobeurteilung und Risikominderung gemäß ÖNORM EN ISO 12100 notwendig. Danach muss vom Hersteller bzw. befugten bevollmächtigten Person eine EU-Konformitätserklärung ausgestellt und das Produkt CE gekennzeichnet werden. Das Konformitätsbewertungsverfahren und die Kennzeichnung können von einem Systemintegrator, einer zertifizierten Stelle oder dem betreibenden Unternehmen selbst durchgeführt werden.

Weitere Informationen zu diesem Thema können dem AUVA-Merkblatt M 090 „Die CE-Kennzeichnung“ unter folgendem Link entnommen werden: Merkblatt M 090 „Die CE-Kennzeichnung“ (auva.at)

Für die Durchführung der Risikobeurteilung ist die in der Norm EN ISO 3691-4 angeführte Liste signifikanter Gefährdungen hilfreich. Sie zeigt, welche Gefahren zu berücksichtigen sind und ermöglicht dadurch Rückschlüsse auf die zu treffenden Maßnahmen:

- mechanische Gefährdungen – Beschleunigung, Verzögerung, Bewegung der Maschine, eckige Teile, Annäherung eines sich bewegenden Teils an ein feststehendes Teil, scharfe Kanten, herabfallende Objekte, Schwerkraft (gespeicherte Energie)
- elektrische Gefährdungen
- thermische Gefährdungen
- ergonomische Gefährdungen – Zugang, Sicht, Beleuchtung vor Ort, Gestaltung oder Lage von Indikatoren und optischen Anzeigegeräten, Haltung

4.1 Manuelles Führen von Fahrzeugen

Bei Störungen, Probetrieb, diversen Einstellungen usw. ist es oft notwendig, das Fahrzeug manuell (per Fernsteuerung) zu bedienen. Man geht dann von einem selbstfahrenden Arbeitsmittel (AM) aus. Hierbei müssen folgende gesetzliche Grundlagen erfüllt werden:

- Arbeitnehmer:in muss mindestens 18 Jahre alt sein
- schriftliche Betriebsanweisung gemäß § 23 (2) AM-VO
- innerbetriebliche Fahrbewilligung gemäß § 33 AM-VO
- Unterweisung gemäß § 14 ASchG (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz)

Der Zugriff auf diese Betriebsart muss durch einen Betriebsarten-Wahlschalter mit Schlüssel oder Passwort beschränkt werden. So wird sichergestellt, dass sie nur für fachlich qualifizierte Personen zugänglich ist. Die manuelle Betriebsart muss dem Bautyp „Steuerung mit Zustimmung“ entsprechen. Nur eine absichtliche manuelle Betätigung ist möglich. Die

Systeme zur Erkennung von Personen können dabei deaktiviert werden [8]. Es kann sein, dass zusätzlich zu den genannten Pflichten auch ein Fachkenntnisnachweis („Staplerschein“) notwendig ist. Dies ist gegeben, wenn die Bauart und die dadurch verbundenen Gefahren jenen eines Hubstaplers entsprechen. Dies ist zu evaluieren.

4.2 Safety & Security

Die rechtlichen Rahmenbedingungen gelten für alle hier behandelten Fahrzeugarten und Systeme.

4.2.1 Systemsicherheit

Die Systemsicherheit bezieht sich auf die Sicherheit von FTF / AGV / AMR und MR im Gesamten. Für die betreiberrelevanten Themen gibt es vom deutschen VDI entsprechende Leitfäden.

Herstellerrelevante Themen beschreibt die VDI-Richtlinie 2510 Blatt 2 „Fahrerlose Transportsysteme (FTS) – Sicherheit von FTS im industriellen Umfeld“.

4.2.2 Fahrzeugsicherheit

Sicherheit spielt in der mobilen Robotik eine große Rolle. Mobile Roboter befassen sich nicht nur mit dem eigentlichen Transport von Gütern, sondern kollaborieren auch mit dem Menschen. Das trifft besonders bei Robotern für Reinigungsaufgaben (Bahnhöfe, Kaufhallen) zu und für solche, die sich als Informationsroboter zwischen Menschen bewegen (Museen, Ausstellungen). Gerade die Mensch-Roboter-Interaktion ist in der Servicerobotik ein fester Bestandteil vieler Anwendungen und involviert die physische Interaktion zwischen Menschen und Robotern.

Die Fahrzeugsicherheit bezieht sich auf die Sicherheit der fahrerlosen Fahrzeuge unabhängig von deren Technologie (FTF / AGV / MR / AMR). Die Anforderungen an fahrerlose Fahrzeuge im nicht-öffentlichen Bereich enthält die Norm EN ISO 3691-4 „Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme“.

Moderne Sicherheitssensoren können auch zur Lokalisation mit SLAM eingesetzt werden. Abstandssensoren mit Ultraschalltechnik, Laserscanner oder Infrarotsensoren dienen nicht nur zur Detektion von Wänden, sondern auch zur Erkennung von Hindernissen bzw. Personen im unmittelbaren Gefahrenbereich.

Sicherheitseinrichtungen

Die wesentlichen Sicherheitseinrichtungen in Fahrzeugen, die in einem Bereich mit Personenverkehr betrieben werden, ist die Sicherheitssteuerung. Sie sorgt für eine maschinensichere Steuerungslogik des Fahrzeuges. An die Eingänge werden Sicherheitssensoren angeschlossen, wie beispielsweise Sicherheitsscanner und Not-Halt Schalter. An die Ausgänge der Steuerung werden die Antriebe, Bremsen und die notwendige Signalisierung (Blinker, Bremslicht, Hupe) angeschlossen.

Zusammenfassend ist es notwendig, dass beim Verkehr der Fahrzeuge in Bereichen mit Personenverkehr sicherheitsgerichtete Komponenten zur Gewährleistung der Personensicherheit verwendet werden. Ist in dem Bereich auch mit Staplerverkehr zu rechnen, so ist als Kollisionsschutz auch eine 3D-Hinderniserkennung sinnvoll um Kollisionen mit gehobenen Lasten zu verhindern.

4.3 Cybersicherheit

Cybersicherheit wird auch als IT-Sicherheit (oder IT-Security) bezeichnet und dient der Bekämpfung von Bedrohungen für vernetzte Systeme und Anwendungen, unabhängig davon, ob diese Bedrohungen von innerhalb oder außerhalb einer Organisation ausgehen. [9]

Operative Technologie oder OT (engl. Operational Technology) bezeichnet den Einsatz von Hard- und Software zur Steuerung von Industrieanlagen. OT-Sicherheit überwacht und schützt Industriesysteme zur Automation und Prozessüberwachung vor Angriffen von außen und innen.

Mobile Systeme wie etwa FTS und MR benötigen Kommunikationsschnittstellen zur Vernetzung mit übergeordneten Steuerungen (z. B. Leitrechner) um die Aufträge und Routen zu managen. Durch die Schnitt-

stellen und die Vernetzung mit anderen Systemen wird die OT in bestehende IT-Strukturen integriert und damit anfällig auch für Cyber-Attacks.

Um die Vorteile integrierter Fertigungssysteme voll auszuschöpfen und gleichzeitig die Gefahren durch Cyber-Angriffe zu minimieren, müssen die Anforderungen an die IT- und OT-Sicherheit bereits in der Entwicklungsphase berücksichtigt und in Betrieb laufend evaluiert werden wie z. B. durch einen Penetrationstest.

Cybersicherheit ist die Aufgabe der Hersteller und Integratoren von Systemen, Hersteller von Komponenten sowie Betreiber von diesen Automatisierungssystemen. Die Normenreihe IEC 62443 stellt Anforderungen an die Cybersicherheit von Industriesystemen und richtet sich an alle Beteiligten.

Tab. 2: Aspekte der Cybersicherheit für Maschinenhersteller und Betreiber, basierend auf [1]

Schutzbereich	Maßnahme zur Risikominderung	Hersteller / Integrator	Betreiber
	Physikalische Trennung des sicherheitsrelevanten IT-Systems vom Gesamt-IT-System	X	X
	Ausstattung des IT-Systems mit Maßnahmen zur Risikominderung (z. B. Firewalls, Antiviren-Tools)	X	X
	Aufrechterhaltung der Maßnahmen zur Risikominderung des IT-Systems in einem aktuell sicheren Modus (z. B. Update von Antiviren-Tools)	-	X
	Bereitstellung von Hardwareressourcen, die ein Software-Upgrade ermöglichen	X	-
	Bereitstellung von separaten Authentifizierungs- und Zugangskontrollmechanismen (z. B. Kartenleser, physische Schlösser)	X	-
	Bereitstellung einer Netzwerktopologie mit mehreren und unabhängigen Schichten	X	-
	Beschränkung der IT-System-Benutzungsrechte auf diejenigen Personen, die für die jeweilige Rolle erforderlich sind	-	X
Einschränkung des logischen / physikalischen Zugriffs auf das IT-System (mit möglichem Einfluss auf die Sicherheit)	Deaktivierung aller nicht genutzten Ports und Dienste	-	X
	Verantwortung für einzelne Konten von Benutzer:innen und die Kontenverwaltung (z. B. Aktualisierung von Passwörtern)	X	X
	Ausstattung der Maschine mit Mitteln für eine Berechtigungsprüfung der Personen/Dienste nach jeder Authentifizierung	X	-
	Ausstattung der Maschine mit physikalischen Hardware-Maßnahmen, um sie im Falle eines schweren Sicherheitsangriffs in einen sicheren Zustand zu bringen (z. B. Not-Halt, Abschalttaste)	X	X
	Physikalische Einschränkung des Zugangs oder der Nutzung von IT-Anschlusspunkten (z. B. USB- oder Ethernet-Buchsen)	X	X
	Beachtung der Gebrauchsanweisungen der Herstellungsunternehmen bezüglich deren Angaben im Hinblick auf <ul style="list-style-type: none"> ■ Verwendung von IT-Anschlussstellen, ■ Phase des Lebenszyklus der Maschine, in der der Anschluss erforderlich ist, ■ Dauer der erforderlichen Verbindungen, ■ spezifizierte IT-Schnittstelle (HW/SW), ■ vorgegebene oder empfohlene Zugriffsbeschränkung auf die Anwendungs-Software, ■ Verwendung von (Einschalt-) Passwörtern und Antiviren-Tools, ■ Änderung des anfänglichen Standardpassworts bei der Installation und folgende regelmäßige Änderungen. 	X	X

Schutzbereich	Maßnahme zur Risikominderung	Hersteller / Integrator	Betreiber
Erkennung und Reaktion auf IT-Security-Vorfälle (mit möglichem Einfluss auf die Sicherheit)	Ausstattung der Maschine mit der Fähigkeit, ausgefallene IT-Systemkomponenten oder nicht verfügbare Dienste zu erkennen	X	-
	Ausstattung der Maschine mit Mitteln zur Überwachung von Sicherheitslücken	X	-
	Reaktionsfähigkeit und Reaktion auf Sicherheitslücken	-	X
Im Fall von Fernwartung und Service	Überwachung jeder Fernzugriffssitzung (Begrenzung der Dauer für Fernzugriff)	X	-
	Mittel zur Verwendung von Verschlüsselung	-	X
	Mittel zur Verwendung von Verschlüsselung zur Initiierung einer Fernwartung / Fernbedienung	X	-

4.4 Aspekte der KI

Künstliche Intelligenz (KI) ist einer der großen Trends im Maschinenbau und gewinnt vor allem bei FTS zunehmend an Bedeutung. Im engeren Sinne ist KI eine Software, die auf einer Hardware – also beispielsweise einem Steuergerät, Computer oder Computernetz – läuft, um bestimmte Aufgaben auf Basis der pro-

grammierten Regeln oder Algorithmen zu lösen. Daher kann KI nur im Kontext der jeweiligen Aufgabe und in Verbindung mit der Zielhardware, beispielsweise einer Maschine oder Maschinensteuerung, bewertet werden. Tabelle 3 zeigt einen Vergleich von FTS ohne bzw. mit Einsatz von KI.

Tab. 3: Vergleich FTS ohne KI und FTS mit einer KI, Auszug aus [4]

ISO 12100	FTS ohne KI	FTS mit KI
Grenzwerte verwenden	Fahren auf vorgegebenen Routen	Autonomes Fahren auf variablen Routen mit variablen Geschwindigkeiten in optimierter Weise unter Berücksichtigung von Entfernungen, bekannter Umgebung und Hindernissen auf Basis von KI
Raubegrenzung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bewegungsbereich der Maschine ermittelt ■ Mensch-Maschine-Interaktion ermittelt 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Maschinenbewegung variabel innerhalb eines vorgegebenen Rahmens ■ Mensch-Maschine-Interaktion innerhalb dieser Grenze unbestimmt
Zeitlimits	Abrieb von Verschleißern ermittelt, vorhersehbar (z. B. Bremsen)	Abrieb von Verschleißteilen variabel, teilweise vorhersehbar (z. B. Bremsen)
Andere Grenzwerte (Fahrzeuggrenzen)	Ermittelte Geschwindigkeit	Variable, optimierte Geschwindigkeit innerhalb vorgegebener Grenze
Gefahrererkennung	ISO 12100	
Risikoabschätzung (für Kollision)	Grundrisiko für ein FTS ohne KI basierend auf <ul style="list-style-type: none"> ■ Geschwindigkeit, ■ Beschleunigung, ■ Masse, Form, ■ Last, Bremsfähigkeit, ■ und andere Parameter. 	Zusätzliche Risiken bei dem Einsatz einer KI, z. B. <ul style="list-style-type: none"> ■ erhöhte Geschwindigkeit, ■ erhöhte Beschleunigung, ■ plötzliche Änderungen der Bewegungsrichtung, ■ FTF-Bewegung in Bereichen ohne genügend Freiraum, aufgrund von Auswirkungen der KI auf die FTF-Steuerung.
Risikobewertung	Anwendung von Maßnahmen zur Risikominderung	
Bewertung des Restrisikos nach der Risikominderung, einschließlich der Information über die Verwendung	Angemessene Risikominderung erreicht, Information zur Nutzung komplettiert	

Grundsätzlich gelten für Maschinen mit KI die gleichen rechtlichen Anforderungen für das Inverkehrbringen von Maschinen wie für solche ohne KI, wobei auch die EG-Cybersicherheitsverordnung und ihre nationalen

Umsetzungen in der Datenschutzgrundverordnung sowie der neue Rechtsrahmen für KI zu berücksichtigen sind.

5 Service und Wartung von FTS

5.1 Einsatzprüfungen

Es sind regelmäßige Einsatzprüfungen zum Zustand des Fahrzeuges durchzuführen. Diese umfassen beispielsweise Schäden, Lade- und Füllzustände (z. B. Kühlwasser, Motoröl, Batterie), Beleuchtung, Bremslicht und Warn- einrichtungen. Tabelle 4 bringt eine Übersicht zur Einsatzprüfung.

Tab. 4: Regelmäßige Einsatzprüfung

Teil	Wartungsinhalt	Intervall
Fahrzeugabdeckung	Auf Risse und Beschädigungen prüfen. Sitzt die Abdeckung eben auf dem Fahrzeug und sind die Anschlüsse zugänglich?	Wöchentlich Außenseite des Fahrzeuges mit einem feuchten Tuch reinigen. Monatlich prüfen und bei Bedarf austauschen.
Lenkrollen	Schmutz mit einem feuchten Tuch entfernen und sicherstellen, dass sich nichts an den Rädern aufgewickelt hat.	Wöchentlich prüfen, monatlich Schrauben anziehen und bei Bedarf austauschen.
Antriebsräder	Schmutz mit einem feuchten Tuch entfernen und sicherstellen, dass sich nichts an den Rädern aufgewickelt hat. Laufflächen der Räder auf Verschleiß prüfen.	Wöchentlich reinigen. Alle sechs Monate prüfen und bei Bedarf austauschen. Das Fahrzeug muss nach dem Austausch der Räder neu kalibriert werden!
Not-Halt	Zur Prüfung der Not-Halt-Funktion den roten Taster drücken und prüfen, ob die Rücksetztaste aufleuchtet.	Alle drei bis vier Monate gemäß EN ISO 13850 „Sicherheit von Maschinen – Not-Halt-Funktion“ überprüfen.
Batterie und BMS (Batterie-Management-System)	Prüfung der Leistungskomponenten und Kabel, Anzahl der Ladezyklen	Jährlich
Bremsen, Leuchten, Warn- einrichtungen	Die Funktion der Bremsen, der Beleuchtung und der Warneinrichtungen überprüfen.	Täglich überprüfen.
Laserscanner	Für optimale Leistung die optischen Flächen der Scanner reinigen. Keine aggressiven oder scheuernden Reinigungsmittel verwenden. Auf sichtbare Schäden, z. B. Risse oder Kratzer, prüfen.	Wöchentliche Inspektion und Reinigung, bei Bedarf Austausch. Das Fahrzeug muss nach dem Austausch der Scanne neu kalibriert werden.

Selbstfahrende Arbeitsmittel sind mindestens einmal im Kalenderjahr, längstens im Abstand von 15 Monaten, wiederkehrend zu prüfen (§ 8 (1) AM-VO).

Tab. 5: Wiederkehrende Prüfungen – Auszug

Betriebsmittel	Prüffrist (Höchstwerte)	Einsatzgebiet, Kommentare
Selbstfahrende Arbeitsmittel	12 Monate bis maximal 15 Monate	Prüffristverlängerung bei Fehlerquote <2% möglich
Geräte und Maschinen	12 Monate	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fertigungsstätten ■ Werkstätten ■ ähnliche Bedingungen
bewegliche Leitungen mit Stecker oder Festanschluss	bei normaler Beanspruchung: 6 Monate	<ul style="list-style-type: none"> ■ Elektroinstallation, Ladestation

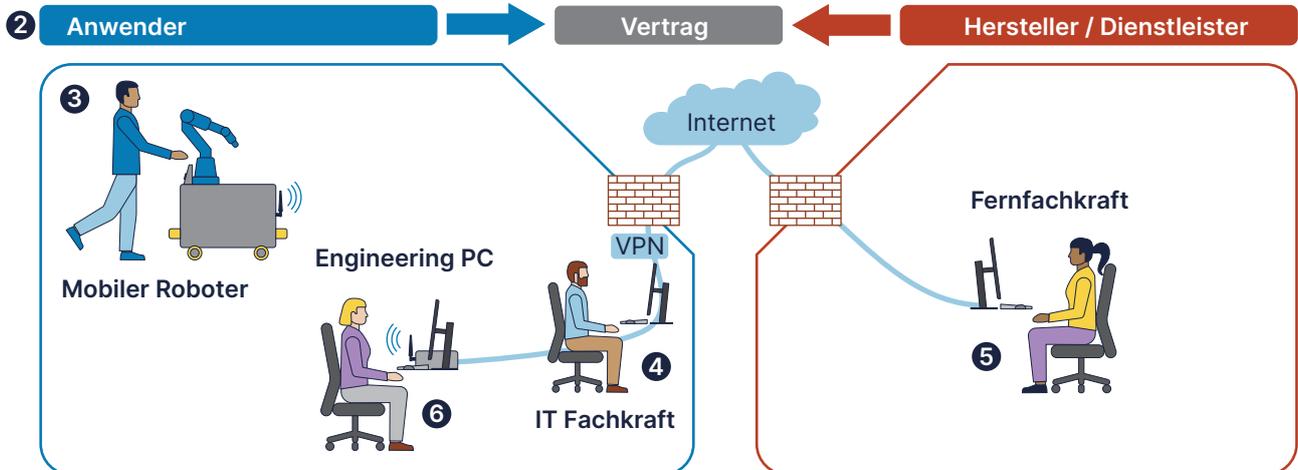
5.2 Fernzugriff, Ferndiagnose, Fernwartung

Die Begriffe Fernzugriff / Ferndiagnose / Fernwartung beziehen sich auf einen Zugriff auf eine Maschine bzw. Industriesystem aus der Ferne über Kommunikationskanäle wie das Internet. Für Unternehmen, die solche Maschinen und Industrieanlagen betreiben, ist beim Einsatz von Fernwartung besonders wichtig, mögliche Angriffe auf die IT-Infrastruktur über Wartungszugriffe zu verhindern. Unternehmen müssen durch entsprechende IT-Sicherheitssysteme gewährleisten, dass die Gesamtsicherheit in Bezug auf Maschinen und Arbeitnehmer:innen erhalten bleibt.

In der Abbildung 12 wird vereinfacht die Vorgehensweise bei einer Fernwartung dargestellt:

1. In der Betriebsanleitung einer Maschine muss auch die Betriebsart „Fernwartung“ integriert und beschrieben werden. Insbesondere muss die Vorbereitung der Maschine für einen Fernzugriff klar erklärt sein.
2. Vertraglich sollte der Fernwartungsvorgang zwischen dem Anwender und Dienstleister / Maschinenhersteller, sowie die Pflichten und Haftungen, ausführlich vereinbart werden.
Hinweis: Die Fernwartung wird gemäß den gesetzlichen Bestimmungen des Ortes und entsprechend den Betriebsanweisungen durchgeführt, an dem die Maschine installiert wurde.
3. Vor dem Start einer Fernwartung muss die Maschine, laut technischer Dokumentation, in den sicheren Zustand gebracht werden. Für ein Fahrzeug wird empfohlen, dieses in einen vereinbarten Raum und abgesperrten Bereich auf eine definierte Position zu stellen.
4. Die IT-Fachkraft des Betreibers bereitet eine VPN-Verbindung für die Fernwartung vor und sendet den Zugangscode der Fernwartungs-Fachkraft. Der Computer der Fernwartungs-Fachkraft wird auf Viren gescannt. Nach erfolgreicher Authentifizierung wird die VPN-Leitung ins Betreiber-IT-Netz integriert und die Kommunikation zum Engineering-PC überwacht.
5. Die Fernwartungsfachkraft des Dienstleisters, Maschinenherstellers oder Systemintegrators in der Vorbereitung für den Einsatz vorbereiten und notwendige Tools starten. Sie wird seitens Betreiber der Maschine über die Aufgabe und das Personal vor Ort informiert und unterwiesen.
6. Der IT-Fachkraft des Betreibers stellt die Verbindung vom Engineering-PC zu der Maschinensteuerung her und startet die Aufzeichnung von der Fernwartung. Der Engineering-PC ist direkt mit der Steuerung des mobilen Roboters verbunden. Nach dem Aufbau der Verbindung zur Maschine prüft der Fernwartungsfachkraft zunächst den Sicherheitszustand der Maschine. Nach Aufforderung der Fernwartungsfachkraft führt das Bedienpersonal notwendige Schritte durch. Während der Fernwartung beobachtet und dokumentiert eine Fachkraft der Wartungsabteilung den Eingriff der Fernwartungsfachkraft.
7. Nach Beendigung der Wartungsarbeiten wird die VPN-Verbindung getrennt und alle Aufzeichnungen und Dokumentation werden beim Betreiber archiviert.

1 Ist die Fernwartung in der Dokumentation der Maschine beschrieben? **Ja**



7 Beim Anwender wird die Durchführung der Fernwartung überwacht, aufgezeichnet (Bild und Ton) und archiviert!

Abb. 12: Empfohlener Prozess für einen Fernzugriff auf einen mobilen Roboter

6 Verzeichnisse

6.1 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Überblick Eigenschaften von FTS	5
Tab. 2: Aspekte der Cybersicherheit für Maschinenhersteller und Betreiber, basierend auf [1]	20
Tab. 3: Vergleich FTS ohne KI und FTS mit einer KI, Auszug aus [4]	21
Tab. 4: Regelmäßige Einsatzprüfung	22
Tab. 5: Wiederkehrende Prüfungen – Auszug	22

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Fahrzeug mit Handhabungsroboter und Werkstückmagazin, basierend auf [2]	5
Abb. 2: Beispiele FTF / AMR in der Industrie, Fotos DS AUTOMOTION GmbH	6
Abb. 3: Schematische Darstellung eines FTS inklusive Schnittstelle zum Betreiber	7
Abb. 4: Beispiel für ein Lastendiagramm, basierend auf [5]	8
Abb. 5: Unterschiedliche Fahrwerkstypen, basierend auf VDI 2519	9
Abb. 6: Typen von Fahrzeugrädern	10
Abb. 7: Externe Positionsgeber	12
Abb. 8: Prinzip der Blockungsbereichsteuerung, basierend auf [6]	13
Abb. 9: Auszug aus der Wegplanung eines FTS, basierend auf Vorlage von syn2tec e.U.	14
Abb. 10: Auszug aus der Flächenbewegung eines mobilen Roboters	14
Abb. 11: Fahrerlose Transportfahrzeuge für Transport von Papierrollen, Fotos Mediaprint	16
Abb. 12: Empfohlener Prozess für einen Fernzugriff auf einen mobilen Roboter	23

6.3 Literatur

- [1] ISO/TR 22100-4:2018 Sicherheit von Maschinen – Zusammenhang mit ISO 12100 – Teil 4: Leitfaden für Maschinenhersteller zur Berücksichtigung der damit zusammenhängenden Aspekte der IT-Sicherheit (Cybersicherheit)
- [2] Hesse, S. und Malisa, V. (Hrsg.), 2016. Taschenbuch Robotik – Montage – Handhabung (2. Ausgabe), Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-44365-5, ISBN (E-Book): 978-3-446-44549-9, München
- [3] Hesse, S., 2016. Grundlagen der Handhabungstechnik (4. Ausgabe), Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-44432-4, ISBN (E-Book): 978-3-446-44855-1, München
- [4] ISO/TR 22100-5:2021 Safety of machinery – Relationship with ISO 12100 – Part 5: Implications of artificial intelligence machine learning
- [5] MiR, 2016. Betriebsanleitung MiR100.
Quelle: manualslib.de/manual/163567/Mir-Mir100-1-5.html#manual, Zugriff am 08.04.2024
- [6] VDI 4451 Blatt 7 / Part 7, 2005. Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) Leitsteuerung für FTS. VDI Verein Deutscher Ingenieure.
- [7] VDI.2022. FTS-Leitfaden Sicherheit von mobilen Robotern, Leitfaden für Planer.
Quelle: forum-fts.com/wp-content/uploads/2021/04/Leitfaden_Sicherheit_fuer_Planer_VDI_2021_03.pdf, Zugriff am 08.04.2024.
- [8] SUVA, 2024. Schutzeinrichtung für fahrerlose Transportsysteme senkt Unfallgefahr.
Quelle: suva.ch/de-ch/praevention/nach-gefahren/gefaehrliche-materialien-strahlungen-und-situationen/sichere-lagerung-und-innerbetrieblicher-verkehr/fahrerlose-transportssysteme/schutzeinrichtung-fuer-fahrerlose-transportssysteme-fts, Zugriff am 08.04.2024
- [9] EU-Verordnung, 2022. „EU-Verordnung über horizontale Cybersicherheitsanforderungen für Produkte mit digitalen Elementen“, Entwurf Nr.2022/0272, vom 15.9.2022

6.4 Auswahl an Normen

Grundnorm (Typ A)

EN ISO 12100:2010 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung

Gruppennorm (Typ B)

EN 60204-1:2006+A1: 2009 Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

EN ISO 13849-1:2015 Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze

EN ISO 13849-2:2012 Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung

EN ISO 13850:2015 Sicherheit von Maschinen – Not-Halt-Funktion – Gestaltungsleitsätze

Produktnorm (Typ C)

EN 1175:2020 Sicherheit von Flurförderzeugen, Elektrische/elektronische Anforderungen (Ersatz für EN 1175-1, -2, -3)

EN ISO 3691-4:2020 Flurförderzeuge – Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung – Teil 4: Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme

EN 12895:2020 Flurförderzeuge – Elektromagnetische Verträglichkeit

EN 16796-1:2016 Energieeffizienz von Flurförderzeugen – Testmethoden – Teil 1: Allgemeines

EN 1034-27:2012 Sicherheit von Maschinen – Sicherheitstechnische Anforderungen an Konstruktion und Bau von Maschinen der Papierherstellung und Ausrüstung – Teil 27: Rollentransportsysteme

EN 1459:2017+ A1:2020 Sicherheit von Flurförderzeugen – Kraftbetriebene Stapler mit veränderlicher Reichweite

EN 1755:2016 Flurförderzeuge – Sicherheitsanforderungen und Verifizierung – Zusätzliche Anforderungen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

EN 13035-5:2006+A1: 2009 Maschinen und Anlagen für die Herstellung, Be- und Verarbeitung von Flachglas – Sicherheitsanforderungen – Teil 5: Maschinen und Einrichtungen zum Stapeln und Ab stapeln

EN 13035-5:2006+ A1:2009 Sicherheit von Flurförderzeugen – Schwingungsmessung

EM 16307-6:2014 Flurförderzeuge – Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung – Teil 6: Zusätzliche Anforderungen für Lasten- und Personentransportfahrzeuge

ISO 9787:2013 Roboter und Robotikgeräte – Koordinatensysteme und Bewegungsnomenklaturen

ISO 19649:2017 Mobile Roboter – Begriffe

ISO 18646-1: 2016 Robotik – Leistungskriterien und entsprechende Prüfverfahren für Serviceroboter – Teil 1: Fortbewegung von radgetriebenen Robotern

ISO 18646-2: 2019 Robotik – Leistungskriterien und entsprechende Prüfverfahren für Serviceroboter – Teil 2: Navigation

ISO 18646-3:2021 Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 3: Manipulation

EN ISO 10218-2:2011 Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration

EN ISO 13842:2014 Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration

ISO/TS 15066:2017 Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter

VDI 2740 Blatt 1 Mechanische Einrichtungen in der Automatisierungstechnik; Greifer für Handhabungsgeräte und Industrieroboter

VDI 2861 Blatt 2 Montage- und Handhabungstechnik; Kenngrößen für Industrieroboter; Einsatzspezifische Kenngrößen

VDI 2861 Blatt 3 Montage- und Handhabungstechnik; Kenngrößen für Industrieroboter; Prüfung der Kenngrößen

VDI 3653 Automatisierte Kransysteme

VDI-EE 4030 Berücksichtigung menschlicher Zuverlässigkeit bei der Gestaltung autonomer Systeme

VDI 2510:2022 VDI-Richtlinien-Datenbank: Fahrerlose Transportsysteme (FTS)
Quelle: <https://www.vdi.de/richtlinien>

VDI 2510 Blatt 1:2009 Infrastruktur und periphere Einrichtungen für Fahrerlose Transportsysteme (FTS)

VDI 2510 Blatt 2:2013 Fahrerlose Transportsysteme (FTS) – Sicherheit von FTS

VDI 2510 Blatt 3:2020 Fahrerlose Transportsysteme (FTS) – Schnittstellen zu Infrastruktur und peripheren Einrichtungen

VDI 2510 Blatt 4:2017 Fahrerlose Transportsysteme (FTS); Energieversorgung und Ladetechnik

VDI 2710 Blatt 3:2014 Einsatzgebiete der Simulation für Fahrerlose Transportsysteme (FTS)

VDI 2710 Blatt 5:2013 Abnahmeregeln für Fahrerlose Transportsysteme (FTS)

VDI 3973:2018 Kraftbetriebene Flurförderzeuge – Schleppzüge mit ungebremsten Anhängern

VDI 4451 Blatt 2:2000 Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) – Energieversorgung und Ladetechnik

VDI 4451 Blatt 4:1998 Kompatibilität von fahrerlosen Transportsystemen (FTS) – Offene Steuerungsstruktur für Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF)

VDI 4451 Blatt 5:2005 Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) – Schnittstelle zwischen Auftraggeber und FTS-Steuerung

VDI 4451 Blatt 6: 2003 Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) – Sensorik für Navigation und Steuerung

VDI 4451 Blatt 7: 2005 Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) Leitsteuerung für FTS

ISO 19649:2017 Mobile Robots – Vocabulary

ISO/TR 23482-1:2020 Robotics – Application of ISO 13482 – Part 1: Safety-related test methods

ISO/TR 23482-2:2019 Robotics – A Application of ISO 13482 – Part 2: Application Guideline

ISO 18646-2:2019 Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 2: Navigation

ISO 18646-4:2021 Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 4: Lower-back support robots

ISO 22166-1:2021 Robotics – Modularity for service robots – Part 1: General requirements



Fahrerlose Transportsysteme und mobile Roboter

Bitte wenden Sie sich in allen Fragen des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit bei der Arbeit an den Unfallverhütungsdienst der für Sie zuständigen AUVA-Landesstelle:

Oberösterreich:

UVD der Landesstelle Linz
Garnisonstraße 5, 4010 Linz
Telefon +43 5 93 93-32701

Salzburg, Tirol und Vorarlberg:

UVD der Landesstelle Salzburg
Dr.-Franz-Rehrl-Platz 5, 5010 Salzburg
Telefon +43 5 93 93-34701

UVD der Außenstelle Innsbruck
Ing.-Etzel-Straße 17, 6020 Innsbruck
Telefon +43 5 93 93-34837

UVD der Außenstelle Dornbirn
Eisengasse 12, 6850 Dornbirn
Telefon +43 5 93 93-34932

Steiermark und Kärnten:

UVD der Landesstelle Graz
Göstinger Straße 26, 8020 Graz
Telefon +43 5 93 93-33701

UVD der Außenstelle Klagenfurt am Wörthersee
Waidmannsdorfer Straße 42,
9020 Klagenfurt am Wörthersee
Telefon +43 5 93 93-33830

Wien, Niederösterreich und Burgenland:

UVD der Landesstelle Wien
Wienerbergstraße 11, 1100 Wien
Telefon +43 5 93 93-31701

UVD der Außenstelle St. Pölten
Kremser Landstraße 8, 3100 St. Pölten
Telefon +43 5 93 93-31828

UVD der Außenstelle Oberwart
Hauptplatz 11, 7400 Oberwart
Telefon +43 5 93 93-31901

Das barrierefreie PDF dieses Dokuments gemäß PDF / UA-Standard ist unter [auva.at/publikationen](https://www.auva.at/publikationen) abrufbar.

Medieninhaber und Hersteller: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Wienerbergstraße 11, 1100 Wien
Verlags- und Herstellungsort: Wien

HUB – M.plus 942 – 02 / 2024 – acd / lh
Titelbild: IM Imagery – stock.adobe.com
Layout: Lukas Hofreiter