

Günter Ullrich  
Thomas Albrecht

# Fahrerlose Transportsysteme

Die FTS-Fibel  
zur Welt der FTS/AMR – zur Technik –  
mit Praxisanwendungen – für die Planung –  
mit der Geschichte

*4. Auflage*

 Springer Vieweg



# Fahrerlose Transportsysteme

---

Günter Ullrich • Thomas Albrecht

# Fahrerlose Transportsysteme

Die FTS-Fibel – zur Welt der FTS/AMR – zur  
Technik – mit Praxisanwendungen – für die  
Planung – mit der Geschichte

4. Auflage

Günter Ullrich  
Forum-FTS  
Voerde, Deutschland

Thomas Albrecht  
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und  
Logistik (IML)  
Dortmund, Deutschland

ISBN 978-3-658-38737-2      ISBN 978-3-658-38738-9 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-38738-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2011, 2014, 2019, 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Eric Blaschke

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

## Vorwort

Die Welt der mobilen Robotik boomt. Die vierte Auflage der FTS-Fibel wurde notwendig, weil sich der Anbietermarkt extrem verändert. Es gibt so viele neue Unternehmen in den FTS-Märkten wie nie zuvor. Es werden neue Techniken eingesetzt, neue Anwendungen gesucht und neue Projektstrukturen ausprobiert. Man setzt auf standardisierte Datenschnittstellen, um einen beliebigen Flottenmanager mit heterogenen Fahrzeugflotten zu kombinieren, die von verschiedenen Herstellern kommen. Neu sind auch die Ansätze, über die bekannten Automatikfunktionen hinaus auch zusätzliche autonome Funktionen einzusetzen, um mehr Flexibilität und Bedienerfreundlichkeit zu erreichen.

Neben dem Fahrerlosen Transportfahrzeug (FTF, im englischen: Automated Guided Vehicle, AGV) werden neue Begriffe verwendet wie Mobiler Roboter (MR), Autonomer Mobiler Roboter (AMR), Industrial Mobile Robot (IMR) oder schlicht „Robot“. Mit den sozialen Netzwerken wächst die Bedeutung des Marketings. Aus dem Marketing kommen dann auch – diesen Eindruck hat man – viele der neuen Begriffe und das Versprechen, dass es eine neue Welt der mobilen Robotik gibt, die vielfach innovativer und besser ist als die alte. Wir versuchen eine objektive Darstellung der alten und neuen FTS-Welt.

Wir beschäftigen uns in der neuen Auflage selbstverständlich mit Innovationen, allerdings verfallen wir dabei nicht in eine euphorische Stimmung, sondern hinterfragen die Sinnhaftigkeit und die Wirtschaftlichkeit der neuen Entwicklungen. So beschäftigen wir uns mit den Konsequenzen, die sich aus der Nutzung einer standardisierten Datenschnittstelle auf die FTS-Projekte ergeben. Wir klären über die Autonomie bei mobilen Robotern auf: Wir zeigen, was autonome Funktionen sein können, wie man sie bewertet, welche Vor- und Nachteile sie haben und wie die Konsequenzen solcher Funktionen für die Sicherheit einer Anlage aussehen können.

Zu den Innovationen zählen wir weiterhin neue technische Lösungen im Bereich der Sensorik, Aktorik oder der Lokalisierung. Wir haben uns mit der Be- und Entladung von LKWs beschäftigt und mit neuen Anwendungen in öffentlich zugänglichen Bereichen.

Aber: Innovationen sind zwar wichtig, aber nicht Alles und vor allem kein Selbstzweck. Denn wir erleben auch, dass es in FTS-Projekten immer wieder grundsätzliche Herausforderungen gibt, die sich oftmals ähneln. Leidtragende sind dabei häufig die Anwender, für die die neue Welt nicht einfacher geworden ist: Der Anbietermarkt ist nicht mehr zu

überblicken, der Planungsprozess und die Erstellung eines aussagekräftigen Lastenheftes sind anspruchsvoll und geeignete FTS-Anbieter sind nur schwer zu finden und zu motivieren anzubieten.

Und dann ist da noch die Sache mit der FTS-Kompetenz. Wer bringt sie mit ins Projekt? Der Software-Lieferant oder einer der Fahrzeuglieferanten? Wer übernimmt die fachgerechte Inbetriebnahme, versteht die Schnittstellen, steht für die Anlagen-Sicherheit ein und garantiert letztendlich die Leistung und Verfügbarkeit der eingekauften Anlage, auch wenn der Mischbetrieb mit manuell betriebenen Staplern oder Routenzügen unerwartet (?) Störungen verursacht?

Wir – also das Autoren-Duo – wagen den Spagat zwischen der Innovation und erfolgreichen Projekten. Wir zeigen die Möglichkeiten neuer Techniken und Wege auf, hinterfragen sie aber auch hinsichtlich der Use Cases. Für den Einsatz des FTS in der Intralogistik ist es von fundamentaler Bedeutung zu verstehen, dass das FTS ein Organisationsmittel ist. Diese Fibel stellt dar, wie vielfältig die Anwendungen sind und welche technologischen Standards zur Verfügung stehen. Darüber hinaus dokumentieren wir die neuen Entwicklungen, die innovative Einsatzszenarien ermöglichen und zusätzliche attraktive Märkte erschließen.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die ganzheitliche Planung solcher Systeme, die ausführlich mit allen Planungsschritten beschrieben wird. Hier findet der Leser nicht nur einen Fahrplan durch den Planungsprozess, sondern auch zahlreiche wertvolle Hinweise.

Seit über 35 Jahren begleitet der VDI-Fachausschuss „Fahrerlose Transportsysteme“ die Branche. Er vereint heute ca. 40 Mitgliedsfirmen – aus diesem starken Netzwerk heraus entstand die europäische FTS-Community *Forum-FTS*, die engagierte Öffentlichkeitsarbeit und seit einigen Jahren mit einem kompetenten Team auch FTS-Planung und -Beratung betreibt. Allen Mitgliedern des Forum-FTS sei an dieser Stelle Dank gesagt, denn sie haben mit ihren Beiträgen diese Fibel erst möglich gemacht. Außerdem gilt unser Dank dem Lehrstuhl Maschinenbau des Springer Vieweg-Verlags für die nette und verständnisvolle Betreuung.

Die FTS-Fibel richtet sich an Fachleute und Praktiker der Intralogistik, die sich mit der Optimierung von Materialflüssen beschäftigen. Sie sind in nahezu allen Branchen der Industrie, in einigen Dienstleistungsunternehmen oder in Forschung und Lehre an Universitäten und Fachhochschulen tätig. Aus unserer Arbeit als Planer und Berater wissen wir, dass es in der Praxis und in der Lehre Bedarf für eine ganzheitlichen Darstellung unseres Themas gibt. Wir haben uns um eine objektive Sichtweise, eine moderate fachliche Tiefe sowie eine klare und verständliche Sprache bemüht.

Die vorliegende vierte Auflage wurde komplett überarbeitet, umstrukturiert, um wichtige Themen erweitert und trägt den rasanten Entwicklungen in der Technik und den Märkten Rechnung. Möge die überarbeitete Fibel ihren Beitrag dazu leisten, dass Fahrerlose Transportsysteme entsprechend ihren Möglichkeiten eingesetzt und erfolgreich projektiert und realisiert werden. Der Leistungsfähigkeit und den Einsatzmöglichkeiten der mobilen Robotik sind keine Grenzen gesetzt! (Abb. 1).



**Abb. 1** Die Buch-Autoren: Thomas Albrecht und Günter Ullrich

Hinweis:

Zur besseren Lesbarkeit wird im nachfolgenden Text auf gendergerechte Formulierungen/Schreibweisen verzichtet. Bei allen Bezeichnungen wie Betreiber, Projektleiter, Lieferant, Planer etc. wird das generische Maskulinum unabhängig vom tatsächlichen Geschlecht der Bezeichneten verwendet.

Voerde, Deutschland  
Dortmund, Deutschland  
Juni 2022

Günter Ullrich  
Thomas Albrecht



**6 m**  
Hubhöhe

**Flexibler  
Einsatz**

## **Effizienz in Bewegung. Automatisierung mit dem smarten Allrounder.**

Vielseitig einsetzbar, nachhaltig im Betrieb, problemlos in der Integration: Optimieren Sie Ihre Logistikprozesse mit unserem neuen EKS 215a – dem Fahrerlosen Transportfahrzeug für den automatisierten Hochhub Einsatz.

Mehr erfahren auf [www.jungheinrich.de/fts](http://www.jungheinrich.de/fts)

**Effizienz in Bewegung.  
Automatisierung mit Jungheinrich.**

**JUNGHEINRICH**

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Die Welt des FTS</b> .....	1
1.1 Wording .....	1
1.2 Motivation für das FTS .....	2
1.2.1 Das FTS in Produktion und Dienstleistung .....	4
1.2.2 FTS als Organisationsmittel .....	6
1.2.3 Argumente für den FTS-Einsatz .....	7
1.3 Die Sache mit der Verantwortung .....	9
1.3.1 Aktuelle Relevanz .....	9
1.3.2 Rechtlicher Rahmen .....	10
1.3.3 Verantwortung des Betreibers .....	12
1.3.4 Technische Sicherheitsaspekte .....	13
1.4 Buzzword Autonomie – Eine berechenbare Größe .....	15
1.4.1 Begriffswelt der Autonomie .....	16
1.4.2 Abgrenzung von automatischen und autonomen Funktionen .....	18
1.4.3 Bestimmung von Autonomie-Index und Anforderungserfüllungs- Index .....	27
1.4.4 Zusammenfassung und Fazit .....	30
<b>2 Technologische Standards</b> .....	33
2.1 Navigation und Sicherheit als zentrale Systemfunktionen .....	34
2.1.1 Navigation .....	34
2.1.2 Sicherheit .....	51
2.2 Systemarchitektur des FTS .....	62
2.2.1 FTS-Leitsteuerung .....	64
2.2.2 Exkurs: Standardisierte FTS-Leitsteuerung .....	74
2.2.3 Fahrzeugsteuerung .....	80
2.2.4 Mechanische Bewegungskomponenten .....	84
2.2.5 Energieversorgung der FTF .....	88
2.3 Das Fahrerlose Transportfahrzeug .....	98
2.3.1 FTF-Kategorien .....	98

# *Driven by future, built by experience.*

Die DS AUTOMOTION GmbH ist ein weltweit führender Anbieter fahrerloser Transportsysteme und autonomer mobiler Robotik. Seit 1984 sind wir auf die Entwicklung und Produktion von Automatisierungslösungen für unterschiedlichste Anwendungen und Branchen spezialisiert.



# Überall sicher.

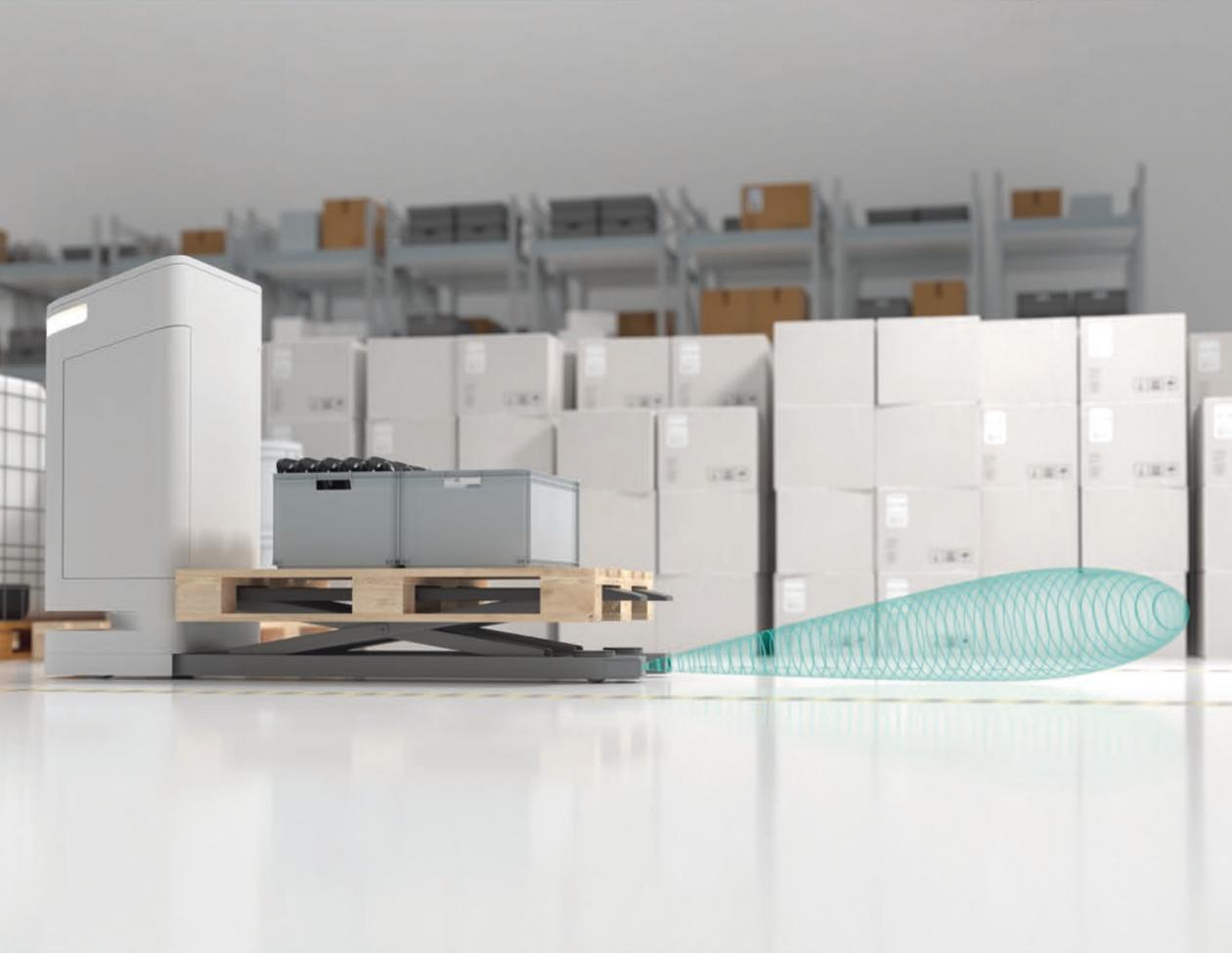
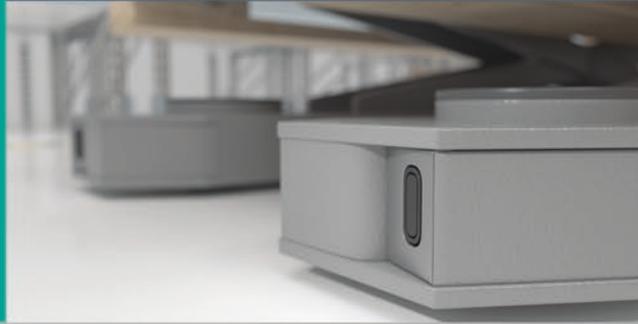
USi®-safety

Sicheres Ultraschallsensorsystem  
nach Kategorie 3 PL d



Mehr Informationen unter  
[pepperl-fuchs.com/pr-usi-safety](https://pepperl-fuchs.com/pr-usi-safety)

Mit einzigartiger Technologie durch  
widrigste Umgebungsbedingungen  
zu maximaler Sicherheit.



Your automation, our passion.

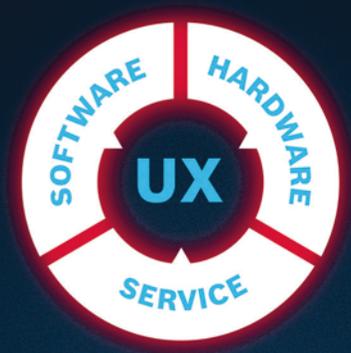
 **PEPPERL+FUCHS**



# SmartFork<sup>®</sup> AGV ready!

## Hightech-Gabelzinken im automatisierten Intralogistik-Prozess

- ▶ Eingebaute Sensoren in der Gabelzinke
  - zur sicheren Ladungserkennung und aufnahme
  - zur Steuerung und Überwachung des AGV
- ▶ Optional mit integrierter Lastüberwachung
- ▶ Individuelle Entwicklung für Ihren Anwendungsfall



# Level Up Your Mobile Robots.

## **ROKIT – The Robotics Kit by Bosch Rexroth**

Mit dem Robotics Kit ROKIT eröffnet Bosch Rexroth neue Möglichkeiten im Bereich der Mobil- und Service-robotik. Der modulare Baukasten aus einzelnen, aufeinander abgestimmten und erprobten Soft- sowie Hardware-Komponenten gibt Ihnen das höchste Maß an Freiheit, das Sie im Zuge der Automatisierung von Prozessen benötigen.

Die Komponenten – ROKIT aXessor, ROKIT Locator, ROKIT Navigator und ROKIT Motor – bieten Ihnen eine grafische Benutzeroberfläche und übernehmen für Sie Positionsbestimmung, Navigation und Bewegungsausführung. Unterstützende produktspezifische Services runden das nutzerorientierte Leistungsportfolio ab.



Bosch Rexroth AG  
[boschrexroth.de/rokit](https://www.boschrexroth.de/rokit)

**rexroth**  
A Bosch Company



# ÜBER 50 JAHRE FTS ERFAHRUNG

Die MLR System GmbH ist der Experte für Fahrerlose Transportsysteme. Wo immer es gilt, den Transport von Waren & Gütern von A nach B effizient zu planen und umzusetzen, sind wir der kompetente Partner. Wir handeln ganzheitlich und verantwortlich, sind vertraut mit den Anforderungen in unseren Kernbranchen und entwickeln auf Wunsch auch Sondertransportlösungen, die exakt auf den Kundenbedarf und das Transportgut angepasst sind. Im Verbund mit unseren Partnern der ROFA Group stehen wir für den perfekten Workflow und eine Maximierung der Produktivität bei hoch effizientem Ressourceneinsatz.



Als Pionier im Bereich der Fahrerlosen Transportsysteme stellen wir unser über Jahrzehnte gewachsenes Knowhow für die Planung, Entwicklung und Umsetzung Ihrer innerbetrieblichen Transport- bzw. Materialflussaufgabe zur Verfügung. Wir kennen die neuesten Technologien, die spezifischen Anforderungen einzelner Branchen und Kunden, und kümmern uns um die Schnittstelle zur Software. Als Generalunternehmer begleiten wir Sie von A bis Z: Wir erstellen Planungs- und Ausschreibungsunterlagen, beauftragen und beaufsichtigen Lieferanten, übernehmen das Projektmanagement während der Realisierung und übergeben Ihnen nach Fertigstellung eine schlüsselfertige Anlage. Sie profitieren dabei nicht nur von unserer Projekterfahrung, sondern auch von unseren langfristigen Beziehungen zu Lieferanten, Planern und Baupartnern.



**MLR System GmbH**  
Voithstraße 15 | 71640 Ludwigsburg  
Deutschland

Tel: +49 7141 9748 0  
Fax: +49 7141 9748 113  
info@mlr.de

2.4	Umfeld des FTS	116
2.4.1	Einsatzumgebung	118
2.4.2	Systemspezifische Schnittstellen	119
2.4.3	Periphere Schnittstellen	122
2.4.4	Mensch und FTF	125
<b>3</b>	<b>Anwendungsgebiete</b>	<b>129</b>
3.1	Aufgabenbezogene Aspekte des FTS-Einsatzes	130
3.1.1	Das FTS in Produktion und Dienstleistung	130
3.1.2	FTS als Organisationsmittel	134
3.1.3	Argumente für den FTS-Einsatz	135
3.1.4	Mischbetrieb von mannbedienten FFZ und FTF	137
3.1.5	FTS im Taxibetrieb	140
3.1.6	Fließlinienbetrieb und der Fokus auf die Serienmontage	141
3.1.7	Lagern und Kommissionieren	141
3.2	Branchenbezogene Aspekte und Beispiele	144
3.2.1	Automobil- und Zulieferindustrie	145
3.2.2	Papierherzeugung und -verarbeitung	162
3.2.3	Elektroindustrie	165
3.2.4	Getränke-/Lebensmittelindustrie	167
3.2.5	Baustoffe	180
3.2.6	Stahlindustrie	182
3.2.7	FTS zur Rohmaterialversorgung in der Kunststoffspritzgießfertigung	188
3.2.8	Innerbetriebliche Transporte von Glas- und Keramikprodukten mittels FTS	191
3.2.9	Kliniklogistik	193
3.2.10	Luftfahrt- und Zulieferindustrie	202
3.2.11	Anlagenbau	206
3.2.12	Lager- und Transportlogistik	207
3.3	Außeneinsatz (Outdoor-FTF)	214
3.3.1	Sicherheit im Außenbereich	217
3.3.2	Navigation im Außenbereich	225
3.3.3	Zusammenfassung	227
3.4	Automatische Be- und Entladung von Lkw mit FTF	228
3.5	Automatischer Routenzug	232
<b>4</b>	<b>Die ganzheitliche FTS-Planung</b>	<b>243</b>
4.1	Die Bedeutung der Planung in FTS-Projekten	244
4.1.1	FTS-Unternehmensstrategie	247
4.1.2	Ressourcen-bestimmende Kriterien	250
4.1.3	Rollen und Akteure für erfolgreiche FTS-Projekte	251
4.2	Planungsschritte	255

4.2.1	Systemfindung . . . . .	256
4.2.2	System-Ausplanung . . . . .	262
4.2.3	Beschaffung . . . . .	270
4.2.4	Betriebsplanung . . . . .	275
4.2.5	Änderungsplanung . . . . .	276
4.2.6	Außerbetriebsetzung . . . . .	277
4.3	Unterstützung bei der Planung . . . . .	277
4.4	Zehn Schlüsselfaktoren für erfolgreiche FTS-Projekte . . . . .	284
4.4.1	Ganzheitliches Verständnis für das Projekt und Konzeption mit Weitblick . . . . .	284
4.4.2	Technische Auslegung versus technischer Anspruch . . . . .	285
4.4.3	Starkes Lastenheft als technische Grundlage des Projekts . . . . .	285
4.4.4	Projektmanager mit Sachverstand hoffentlich auf beiden Seiten . . . . .	285
4.4.5	Realistischer Zeitplan mit Meilensteinen . . . . .	286
4.4.6	Integration des FTS in die Peripherie vs. Anpassung der Peripherie an das FTS . . . . .	287
4.4.7	Frühe Integration von AS, IT und Produktion . . . . .	287
4.4.8	Besprechungskultur . . . . .	288
4.4.9	Vereinbarte AbnahmeprozEDUREN . . . . .	289
4.4.10	Fairer Umgang miteinander . . . . .	289
<b>5</b>	<b>Geschichte der Fahrerlosen Transportsysteme . . . . .</b>	<b>291</b>
5.1	Die erste FTS-Epoche – Idee und Umsetzung . . . . .	292
5.1.1	Die ersten europäischen Unternehmen . . . . .	295
5.1.2	Frühe Technik und Aufgabenstellungen . . . . .	295
5.2	Die zweite Epoche – Automatisierungseuphorie . . . . .	298
5.2.1	Fortschritte in der Technologie . . . . .	298
5.2.2	Große Projekte in der Automobilindustrie . . . . .	299
5.2.3	Der große Knall . . . . .	300
5.3	Die dritte Epoche – Gestandene Technik für die Intralogistik . . . . .	303
5.4	Die vierte Epoche – Das FTS erweitert den Wirkungskreis . . . . .	311
5.4.1	Neue Märkte . . . . .	312
5.4.2	Neue Funktionen und Technologien . . . . .	318
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>321</b>

# Partner für die **Produktion der Zukunft**



## **FTF für den PKW Transport in der Endmontage**

Eine wandelbare PKW Endmontage mit autonomen Fahrerlosen Transportsystemen setzt technologische Maßstäbe in Bezug auf omnidirektionaler Antriebstechnik, patentiertem Energiekonzept mit Boostcaps und einer äußerst flachen Bauweise mit integriertem Hubtisch.



## **FTF für die Cockpitvormontage**

Vormontageprozesse wie z.B. für Cockpit oder Frontend lassen sich durch unsere FTS-Lösungen sehr einfach, flexibel und wandlungsfähig realisieren. Sie sind beliebig erweiterbar und lassen sich problemlos in bestehende oder dynamische Produktionsstrukturen integrieren.



## **FTF für die Motorenmontage**

Wir bieten individuelle FTS Lösungen mit standardisierten Fahrzeugen für die Produktionslogistik kombiniert mit Montageprozessen, die auf dem FTF im Takt- oder Fließbetrieb durchgeführt werden können. Ein integriertes 4-Achs-Handling-system sorgt dafür, dass sich der Motor immer in der ergonomisch optimalen Montageposition befindet.



---

## Über die Autoren

**Dr.-Ing. Günter Ullrich** Günter Ullrich wurde 1959 in Oberhausen geboren und studierte allgemeinen Maschinenbau an der Universität Duisburg. Dort arbeitete er zunächst als Student, dann als wissenschaftlicher Assistent am Fachgebiet Fertigungstechnik von Prof. Dr.-Ing. Dietrich Elbracht, der mit seiner Berufung das Thema FTS und Robotik von seinem früheren Arbeitgeber, der Jungheinrich AG mitbrachte.<sup>1</sup> Dr. Ullrich beschäftigte sich in seiner Universitätszeit wissenschaftlich mit dem FTS und mobilen Robotern. 1986 gründete Prof. Elbracht den VDI-Fachausschuss FTS, Dr. Ullrich war Gründungsmitglied und leitet den Kreis seit 1996.

Dr. Ullrich war nach seiner Zeit an der Universität Geschäftsführer bei zwei Unternehmen, die weltweit FTS und fördertechnische Anlagen plant und vertrieben.

Seit 2002 ist Dr. Ullrich selbstständiger FTS-Planer und -Berater in der Intralogistik. Er leitet den VDI-Fachausschuss FTS und hat 2006 das Forum-FTS gegründet. Heute ist das Forum-FTS als eine feste Größe in der FTS-Welt bekannt und setzt sich als Interessensgemeinschaft der FTS-Branche für ein ehrliches Image des FTS und erfolgreiche FTS-Projekte ein. Mit einem fachkompetenten Team arbeitet das Forum-FTS sehr erfolgreich planend und beratend in erster Linie für FTS-Anwender, aber auch für Unternehmen, die in der FTS-Branche als Anbieter für Systeme, Komponenten oder Dienstleistungen auftreten (wollen).

Dr. Ullrich schrieb ca. 150 Fachbeiträge zum Thema FTS/mobile Robotik.

**Dipl.-Ing. Thomas Albrecht** Thomas Albrecht wurde 1964 in Soest geboren und studierte an der TU Dortmund Elektrotechnik mit der Vertiefungsrichtung Nachrichtentechnik. Bereits während des Studiums arbeitete er als studentische Hilfskraft am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (das damals noch Fraunhofer-Institut für Transporttechnik und Warendistribution ITW hieß) an Aufgabenstellungen aus der Automatisierungstechnik und an Robotersteuerungen. Nach dem Abschluss des Studiums

---

<sup>1</sup>Die Jungheinrich AG gehörte in Europa zu den ersten FTS-Herstellern, außerdem waren sie Anbieter von Industrierobotern.

wurde er 1990 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fraunhofer IML und beschäftigt sich seit dieser Zeit mit allen Aspekten der Fahrerlosen Transportsysteme: zunächst in der Softwareentwicklung für Fahrzeugsteuerung und Tools zur Fahrkursprogrammierung, dann in der Entwicklung von Navigationssystemen für FTF, später als Projektleiter in zahlreichen FTF-Entwicklungsprojekten, als Planer und Berater in FTS-Projekten im In- und Ausland, als Referent auf Fachtagungen und Messen, als langjähriges aktives Mitglied im VDI-Fachausschuss FTS und nicht zuletzt als Organisator der FTS-Fachtagung, die seit 2012 in Dortmund am Fraunhofer IML stattfindet.

Thomas Albrecht ist Autor zahlreicher Fachveröffentlichungen und Mit-Inhaber mehrerer Patente zu Navigationsverfahren und weiteren innovativen Lösungen im Umfeld von FTS.



## 1.1 Wording

Der Begriff „Fahrerloses Transportsystem“ (FTS, engl. AGV System) wird seit mehr als sechzig Jahren verwendet und beschreibt ein Logistiksystem, beispielsweise eine klassische Intralogistik-Anwendung (Taxibetrieb), Montagelinien für Serienprodukte (Fließlinien- oder Taktbetrieb) oder eine Aufgabenstellung im Lager, bei der Materialtransporte mittels einer Flotte automatischer Flurförderzeuge erledigt werden. So ein FTS versteht sich als Organisationsmittel und Garant für einen zuverlässigen, sicheren Materialtransport mit definierter Leistung, Verfügbarkeit und Qualität. Die Peripherie und alle parallelen Prozesse der Produktionslogistik sind sorgfältig aufeinander abgestimmt.

Ein typischer Anwendungsbereich ist eine durchgeplante, i. d. R. komplexe Produktionslogistik in Unternehmen, in denen mittels Serien-/Massenfertigung produziert sowie hohe Leistung und Effizienz in Lager und Kommissionierung gefordert wird.

Typische Beispiele sind: Logistikzentren, Automobilfertigung, Automobilzulieferbetriebe, Serienfertiger der weißen und braunen Ware, Lebensmittelindustrie, Warenströme (Essen, Müll, Apotheke, Magazin) in Krankenhäusern (abseits der Bettenstationen).

Die Fahrzeuge, die in solchen Systemen zum Einsatz kommen, werden üblicherweise „Fahrerloses Transportfahrzeug“ (FTF, engl. AGV für Automated Guided Vehicle) genannt und können sich technologisch hinsichtlich ihrer Funktionalitäten (mechanisch, mechatronisch, elektrisch), aber auch hinsichtlich ihrer „Intelligenz“ (Sensorik, Steuerungsfunktionen, Autonomie) sehr unterscheiden.

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

Im Vordergrund steht also der mobile Roboter (MR), der „einfach“ in eine bestehende Industrieumgebung integriert werden und nach kurzer Inbetriebnahmezeit einfache Dienstleistungen (wie Transportieren, Handhaben, Reinigen, Informieren) übernehmen kann. Es ist möglich, dass einige wenige solcher Roboter miteinander kommunizieren und sich die Aufgaben teilen. Auch werden von solchen Fahrzeugen verschiedenste physische und datentechnische Schnittstellen bedient. Diese Fahrzeuge sind vielfältig einsetzbar, benötigen wenig Planung, kaum Vorbereitungen der Einsatzumgebung und kurze Inbetriebnahmezeiten. Sie können ggf. ohne eine stationäre FTS-Leitsteuerung funktionieren, wenn sie selbst in Abstimmung mit den anderen MRs ihre Aufgaben finden, verteilen und ausführen.

In der neuen Richtlinie VDI 2510 findet man die Definition des Begriffs, den wir hier auch anwenden wollen:

*Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind flurgebundene Systeme, die innerbetrieblich innerhalb und/oder außerhalb von Gebäuden eingesetzt werden. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem oder mehreren automatisch gesteuerten, berührungslos geführten Fahrzeugen mit eigenem Fahrtrieb und bei Bedarf aus*

- *einer Leitsteuerung,*
- *Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lagerfassung,*
- *Einrichtungen zur Datenübertragung sowie*
- *Infrastruktur und peripheren Einrichtungen.*

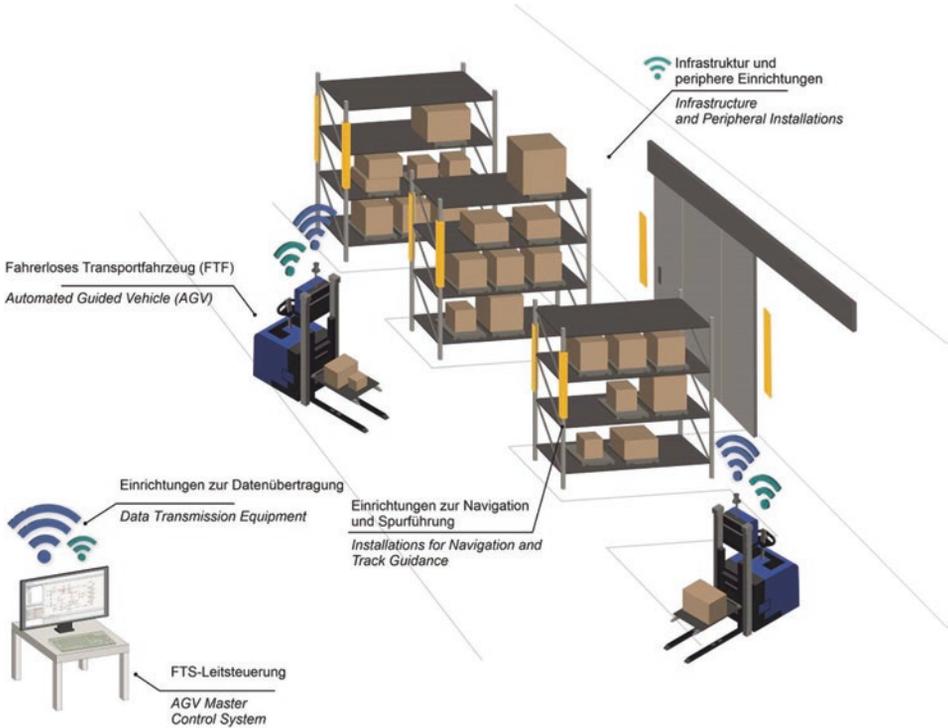
*Die wesentliche Aufgabe eines FTS ist der automatisierte Materialtransport. Im weiteren Sinne zählen zu FTS auch solche Systeme, die für Dienstleistungsaufgaben, wie z. B. Handhabung, Überwachung, Reinigung, Ausgenommen hiervon sind Geräte, die als Verbraucherprodukte gemäß ProdSG auf dem Markt bereitgestellt werden (Abb. 1.1).*

Unter einem Fahrerlosen Transportfahrzeug (FTF, englisch: Automated Guided Vehicle, AGV) versteht man ein flurgebundenes Fördermittel mit eigenem Fahrtrieb, das automatisch gesteuert und berührungslos geführt wird. Fahrerlose Transportfahrzeuge dienen dem Materialtransport, und zwar zum Ziehen oder Tragen von Fördergut mit aktiven oder passiven Lastaufnahmemitteln.

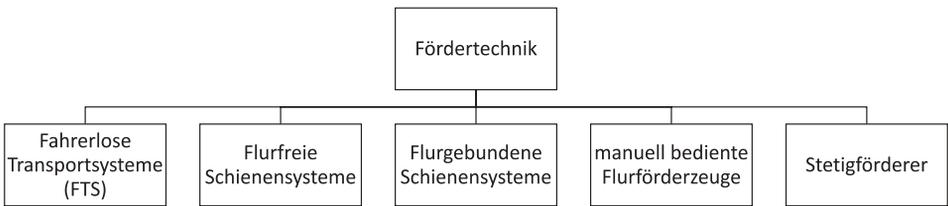
---

## 1.2 Motivation für das FTS

Die Bedeutung des innerbetrieblichen Materialflusses als integratives Element im Unternehmen steigt ständig, zunächst seit mehreren Jahrzehnten aufgrund der Forderung nach kürzeren Durchlaufzeiten, geringeren Beständen und höchster Flexibilität. Im Umfeld von Industrie 4.0 und im Zuge der Digitalisierung wächst nun der Anspruch an die Intralogistik, nicht nur das Material, sondern auch Informationen und Daten fließen zu lassen.



**Abb. 1.1** Die Teilsysteme eines Fahrerlosen Transportsystems nach VDI 2510



**Abb. 1.2** Systematik der Fördertechnik. (Quelle: VDI 2510)

Das FTS erfüllt wie keine andere innerbetriebliche Fördertechnik die an moderne Intralogistik-Lösungen gestellten Anforderungen. Konventionelle manuell geführte Gabelstapler sind zwar extrem flexibel, sind aber teuer und erfüllen oft nicht die Erwartungen an eine sichere und nachvollziehbare Logistik. Stationäre Fördertechnik wie Band- oder Rollenförderer sind starr und dadurch unflexibel und stören durch ihre Festeinbauten. Gegenüber allen Arten von flurfreien Fördersystemen (z. B. Einschienenhängebahn) hat das FTS wirtschaftliche Vorteile und ist änderungsflexibler.

Abb. 1.2 zeigt die Einordnung des FTS und seine Wettbewerber in der Intralogistik

## 1.2.1 Das FTS in Produktion und Dienstleistung

Die Haupteinsatzgebiete des FTS liegen in der Intralogistik, also der Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Waren- und Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlags in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen (Definition gemäß VDMA).<sup>1</sup>

Einige Einschränkungen sind damit verbunden: So betrachten wir nicht die sogenannten People Mover, also die automatischen Fahrzeuge für den Personentransport. Das ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt auch noch schwierig: Zum einen gibt es nur sehr wenige Applikationen und zum anderen fehlen verbindliche Regelungen und Gesetze weitgehend.

Viele Sonderanwendungen<sup>2</sup> bleiben ebenfalls unberücksichtigt: Anwendungen in der Raumfahrt, im oder unter Wasser, in der Militärtechnik, Fassaden- und Fußbodenreinigung, mobile Auskunft- und Infosysteme für Besucher von Museen, Ausstellungen, Einkaufszentren etc. sowie Geh- oder Klettermaschinen.

Zu Beginn wollen wir uns etwas näher mit den Aufgaben der Intralogistik beschäftigen, denn in diesem Umfeld bewegt sich das klassische FTS.

Die Bewegung von Gütern (Stückgut, Flüssigkeiten, Ware, Material, Versorgungsmaterial etc.) erfolgt in unterschiedlichen Bereichen innerhalb eines Betriebes bzw. eines Betriebsgeländes, zwischen örtlich differenzierten Unternehmen oder Betriebsteilen, zwischen Unternehmen und Verbraucher.

Die Organisation, Durchführung und Optimierung dieser Güter-, Waren- und Materialflüsse innerhalb eines Unternehmens der Industrie, des Handels oder einer öffentlichen Einrichtung werden dabei als Intralogistik bezeichnet. Wesentliche Aspekte dieses umfassenden Themengebiets sind

- die Prozesse der Handhabung von Gütern und Material, im Besonderen im Wareneingang und -ausgang, in der Lagerhaltung und Kommissionierung, beim Transport sowie bei der Übergabe und Bereitstellung derselben;
- die Informationsströme, also die Kommunikation von Bestands- und Bewegungsübersichten, der Auftragssituation, den Durchlaufzeiten und Verfügbarkeitsprognosen, die Darstellung von Daten zur Unterstützung der Verfolgung, Überwachung und ggf. Entscheidung von Maßnahmen, sowie auch die Auswahl und der Einsatz von Mitteln zur Datenkommunikation;
- die Verwendung von Transportmitteln (Hebezeuge, Stetigförderer, Flurförderzeuge usw.) sowie von Überwachungs- und Steuerungselementen (Sensorik/Aktorik);

---

<sup>1</sup>VDMA = Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau.

<sup>2</sup>Ein erstes automatisches Pkw-Parksystem mit FTF wurde 2013 von Serva Transport Systems und dem Fraunhofer IML, Dortmund, am Flughafen Düsseldorf realisiert. Quelle: Hebezeuge Fördermittel, Berlin, Heft 53 (2013), S. 6.

- und schließlich der Einsatz von Techniken für die aktive/passive Sicherheit, das Datenmanagement, die Güter-, Waren- und Materialerkennung/-identifikation, die Bildverarbeitung, den Warenumschlag (also das Bereitstellen, Sortieren, Kommissionieren, Palettieren, Verpacken).

In den allermeisten Fällen sind Transportprozesse nicht wertschöpfend, verursachen aber einen unter Umständen erheblichen Aufwand. Da Transporte andererseits aber für die innerbetrieblichen Abläufe notwendig sind, besteht sowohl die Herausforderung als auch die Chance zu ihrer Optimierung! Im Wirkungsverbund der Produktionsmittel beeinflusst die Auswahl und Gestaltung der Transportsysteme die Effizienz des Produktionsprozesses und damit dessen Ertragspotenzial.

Den **Produktionsbereich** charakterisiert die Prozesskette vom Wareneingang bis zum Versand. Beeinflusst durch die Auftragsituation gestalten Einkauf, Disposition, Fertigungsleitung und Verwaltung kontinuierlich verschiedene Elemente dieser Prozesskette, also im Wesentlichen

- den Auf- und Abbau der Lagerbestände und den dazu notwendigen Güter-, Waren-, Materialumschlag (Warenein- und -ausgang, Materiallager),
- die Rüstzeiten und Durchlaufzeiten unter Berücksichtigung des Ausgleichs von Über- und Unterkapazitäten sowie den Lieferzielvorgaben der Leistungsempfänger,
- die Festlegung respektive Änderung von Auftragsprioritäten und
- die Optimierung von Losgrößen.

Diese Aufgaben erfordern permanente Steuerung, Überwachung, Kontrolle und zumeist Anpassung an die sich stetig verändernde Lage. Um einen möglichst großen Gestaltungsspielraum für eine effiziente Wahrnehmung dieser Aufgaben zu erreichen, ist daher neben der arbeitsschrittorientierten Fertigungsplanung eine sorgsame Planung (ggf. Simulation) und ein ausgewogener Einsatz geeigneter Transportmittel unerlässlich.

Gleiches gilt für Anwendungen im **Dienstleistungssektor**. Wenn wir dort den „Produktionsbereich“ als den Bereich verstehen, der seine Leistungen dem Empfänger zur Verfügung stellt, dann sehen wir vergleichbare Aufgabenstellungen in der Prozesskette, auch wenn Verantwortliche eventuell andere Funktionsbezeichnungen tragen.

Im betriebswirtschaftlichen Unternehmensbereich hat die Auswahl der Produktionsmittel hauptsächlich Auswirkungen auf

- die finanztechnische Mittelplanung und -verwendung und
- die Kapazitäts- und Auslastungsanalysen und -planungen, was sowohl die technischen Mittel als auch vor allem die personellen Ressourcen betrifft.

Die technische und betriebswirtschaftliche Unternehmensleitung ist darum bemüht, im Spannungsfeld der betrieblich notwendigen Leistungserfordernisse und den dazu benötigten Mitteln die verfügbaren finanziellen und personellen Ressourcen ständig zu optimie-

ren. Dazu werden geeignet definierte und erfasste Betriebsdaten und Kennzahlen, wie z. B. Lagerumschlagszeiten, Durchlaufzeiten mit Standzeiten, Produktionsmittelauslastung und dergleichen mehr, benötigt.

Das soll an dieser Stelle zur Einordnung des FTS in die Intralogistik genügen, um im Folgenden konkreter auf die Rolle des FTS und seine Vorzüge eingehen zu können.

## 1.2.2 FTS als Organisationsmittel

Häufig werden Fahrerlose Fahrzeuge (FTF) mit dem FTS gleichgesetzt. Schnell ist die Diskussion bei den unterschiedlichen Fahrzeugtypen oder anderen konkreten Themen:

- Welcher FTF-Typ, z. B. Gabelfahrzeug oder Unterfahr-FTF, ist vorzuziehen?
- Welches ist das zu präferierende Navigationsverfahren (z. B. Lasertriangulation oder Magnetnavigation)?
- Welches Konzept für den Personenschutz soll eingesetzt werden?

Natürlich sind die automatischen Fahrzeuge wichtige Komponenten eines FTS, aber eben nur Komponenten. Wenn wir korrekt sein wollen, müssen wir das Gesamtsystem FTS betrachten, das gemäß VDI 2510<sup>3</sup> aus den Fahrzeugen, der Leitsteuerung und der Bodenanlage besteht. In dieser Richtlinie sind wesentliche globale Eigenschaften des FTS aufgeführt (Abb. 1.3).

**Hier muss betont werden, dass ein FTS als Organisationsmittel eine weitreichende und nachhaltige Wirkung auf die Intralogistik hat. Anfangs scheint die Ordnung, die**



**Abb. 1.3** Ein FTS verknüpft verschiedene Prozesse beim Papierrollenhandling. (schematische Darstellung; Quelle: Mitsubishi Logisnext Europe Oy (früher Rocla))

<sup>3</sup>VDI 2510 „Fahrerlose Transportsysteme (FTS)“, VDI 10/2005, Beuth-Verlag, Berlin.

**als Voraussetzung für den FTS-Betrieb erforderlich ist, lästig. Dann aber wird klar, dass diese Ordnung eben auch die Folge eines FTS ist, sodass hier eine Chance liegt, im Sinne einer ständigen Verbesserung, die Abläufe immer weiter zu optimieren.**

Wenn es zum Beispiel darum geht, einen typischen „Gabelstaplerbetrieb“, also eine Intralogistik mit manuell bedienten Flurförderzeugen, mittels FTS zu automatisieren, mag der Betreiber zunächst den vermeintlichen Vorteilen des Gabelstaplers nachtrauern: die kurzfristig abrufbare hohe Systemleistung und hohe Flexibilität bezüglich der Aufgabenstellung. Schaut er dann aber genauer hin, stellt er fest, dass ein FTS ebenfalls eine hohe Systemleistung hat, nämlich genau die, die während der Planung „eingestellt“ wurde; und zwar ganz selbstverständlich als Dauerleistung mit einer extrem hohen Verfügbarkeit.

Die hohe Flexibilität der Stapler wird nur dann benötigt, wenn die Aufgabenstellung nicht optimal strukturiert wurde (Aufgabe der Planung) oder aber in seltenen Fällen nicht strukturierbar ist. Meist bergen die Prozesse aber genügend Optimierungspotenzial, sodass die Abläufe derart organisiert werden können, dass ein FTS eingesetzt werden kann. Der immer wieder unterschätzte Vorteil des FTS liegt dann darin, dass die geschaffene Ordnung auf Dauer eingehalten wird, weil sie eingehalten werden muss! Beispiele hierfür sind die klare Definition von Fahrwegen und Stellplätzen.

Bis vor wenigen Jahren (ca. 2015) konnten Fahrerlose Fahrzeuge nicht um Hindernisse, die sich auf/im Fahrweg befinden, herumfahren, d. h. sie blieben dann davor stehen; Hindernisse wie eine Gruppe Mitarbeiter beim Gespräch oder aber eine durch Mitarbeiter „mal eben“ abgestellte Palette. Das ist auch durchaus akzeptabel, weil in einem durchorganisierten, automatisierten Betrieb weder Mitarbeiterbesprechungen noch vereinzelt falsch platzierte Paletten auf den Wegen stören sollten!

Neue Navigationsverfahren in Verbindung mit Sensorik + komplexer Software auf den Fahrzeugen ermöglichen es heute, dass ein FTF auf solch eine Störung reagiert, indem es – sofern ausreichend Platz zur Verfügung steht – selbstständig, aber vorsichtig und langsam, um ein Hindernis herumfährt. Im Einzelfall wird dies häufig als positive Eigenschaft angesehen, wenn aber das Hindernis-Umfahren zum Dauerzustand wird, sinkt die Transportleistung des FTS signifikant. Wir werden uns mit diesem Aspekt der Autonomie ausführlich in Abschn. 1.4 beschäftigen.

Durch Beobachtung des Ist-Zustandes und durch die Adaption einfacher Regeln in der FTS-Leitsteuerung gelingt es dann, positive Veränderungen beizubehalten bzw. negative rückgängig zu machen. Den laufenden Veränderungen in den Abläufen/im Produktspektrum/bei den Stückzahlen usw. kann so mit einer angepassten Intralogistik unmittelbar Rechnung getragen werden. So kann ein FTS mit einfachen Regeln Logistikabläufe optimieren und mit den Anforderungen wachsen.

### **1.2.3 Argumente für den FTS-Einsatz**

An dieser Stelle wollen wir die Vorteile des FTS zusammenfassen. Sie tauchen vereinzelt oder in abgewandelter Form sicher an anderen Stellen dieser Fibel wieder auf, hier wollen wir die Argumente gebündelt darstellen. Dabei geht es nicht um die Betrachtung der Wirt-

schaftlichkeit, die ja in jedem Fall gegeben sein muss, sondern um die technischen und organisatorischen Argumente:

- Organisierter Material- und Informationsfluss; dadurch produktivitätssteigernde Transparenz innerbetrieblicher Logistikabläufe
- Jederzeit pünktliche und kalkulierbare Transportvorgänge
- Minimierung von Angstvorräten und Wartebeständen im Produktionsbereich
- Verringerung der Personalbindung im Transport und dadurch Senkung der Personalkosten (insbesondere beim Mehrschichtbetrieb)
- Minimierung von Transportschäden und Fehllieferungen; dadurch Vermeidung von Folgekosten
- Hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit
- Verbesserung der Arbeitsumgebung; sichere und angenehmere Arbeitsbedingungen durch geordnete Abläufe, saubere und leise Transportvorgänge
- Positive Innenwirkung auf die Belegschaft
- Positive Außenwirkung innerhalb des Konzernverbundes (Standortsicherung)
- Positive Außenwirkung gegenüber den Kunden
- Hohe Präzision bei automatischer Lastübergabe
- Geringfügige Infrastrukturmaßnahmen erforderlich
- Leichte Realisierung von Kreuzungen und Verzweigungspunkten
- Mehrfachbenutzung der Förderebene möglich
- Einsatzmöglichkeit eines Ersatzfördermittels (Gabelstapler)
- Eignung sowohl für geringe als auch für große Raumhöhen
- Hohe Transparenz des Fördergeschehens
- In der Regel kein zusätzlicher Verkehrsflächenbedarf
- Benutzung vorhandener Fahrwege
- Innen- und Außeneinsatz möglich
- Vielfältige Zusatzfunktionen realisierbar:
- Ordnen/sortieren, entscheiden, Daten erheben, Daten weiterleiten, Transportgut wiegen, Abläufe organisieren, Lager verwalten, Stellplätze verwalten, Lasten erkennen, verschiedene Layouts beherrschen, Paletten finden, Lkw beladen, intelligente Sicherheit, sich intelligent und situationsbedingt verhalten (Feuerwehr-Schaltung, verschiedene Einsatz-Modi), zusätzliche Aktivitäten in betriebsarmen Zeiten (z. B. nächtliches Umlagern), intelligente Batterieladestrategien, mobiler Roboter, Kommissionier-Funktionen usw.

Äußerst zeitgemäß ist dabei die Nachverfolgbarkeit der logistischen Prozesse. Alle Produktbewegungen werden zuverlässig erledigt und protokolliert. Dadurch entsteht eine lückenlose Prozesshistorie, die für interne Prüfungen, aber auch im Sinne der Produkthaftung sinnvoll und erforderlich ist. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass ein FTS ein mächtiges Werkzeug zur Abwicklung und vor allem Optimierung intralogistischer Abläufe darstellt. Die aufgeführten Eigenschaften und Vorteile gelten dabei branchenunabhängig und branchenübergreifend! Die im Abschn. 3.2 beispielhaft vorgestellten Anwendungsfälle zeigen

zwar u. U. branchenspezifische Fahrzeug-Lösungen, diese sind aber im Wesentlichen dem Transportgut bzw. dem branchentypischen Ladehilfsmittel geschuldet.

---

## 1.3 Die Sache mit der Verantwortung

Das FTS boomt. Die Vorzüge liegen auf der Hand, und die Euphorie bezüglich der scheinbar grenzenlosen Einsatzmöglichkeiten ist groß. Trotzdem: Hersteller und Betreiber tragen Verantwortung für das Wohl der Mitarbeiter, die mit dem FTS direkten Kontakt haben. Der VDI-Fachausschuss FTS bearbeitet das Thema Sicherheit. Das ist besonders wichtig, weil mitunter tonnenschwere fahrerlose Transportfahrzeuge im Zusammenspiel mit Mitarbeitern prinzipiell ein Sicherheitsrisiko mit sich bringen. Dabei trägt zunächst der Hersteller, dann aber auch der Betreiber eine große Verantwortung.

### 1.3.1 Aktuelle Relevanz

Dies ist ein Aufruf an alle FTS-/AMR-Anbieter, Ihre Verantwortung ernst zu nehmen und an alle Betreiber, im Zweifel von einer neutralen Stelle einen Safety-Check Ihrer neu installierten Anlage durchführen zu lassen. Auf den sozialen Netzwerken findet man Videos von realisierten FTS-/AMR-Anlagen, die sicherheitstechnisch fragwürdig sind. Gezeigt werden beispielsweise

- Fahrzeuge, die einen mehr als zwei Meter hohen Leerpalettenstapel von 15 Europaletten mit 2 m/s Geschwindigkeit transportieren – ungesichert wohlgermt. Wir wissen, dass eine Leerpalette ca. 22 kg wiegt, was sie bei einer Notbremsung zu einer echten Gefahr werden lässt;
- Fahrzeuge, die scheinbar völlig unmotiviert und unberechenbar die gesamte zur Verfügung stehende Fläche beanspruchen und abrupt die Richtung ändern (siehe Abschn. 1.4);
- Fahrzeuge, die mit unverminderter Geschwindigkeit ohne Einhaltung von Sicherheitsabständen an Säulen und anderen festen Einbauten vorbeifahren;
- Lastaufnahme-Situationen mit Quetschgefahren für Mitarbeiter ohne Maßnahmen zur Risikominderung, die also keiner Risikobeurteilung standhalten.

Vor Ort beim Betreiber sieht man „moderne“ Anlagen,

- mit Konformitätserklärungen der Fahrzeuge ohne Nennung der 3691-4,
- die ein Blocklager im direkten Mischbetrieb mit manuellen Staplern bedienen,
- bei denen ein überforderter „Integrator“ während der Inbetriebnahme die Konformitätserklärung erteilt hat, weil der Hersteller sich dazu nicht in der Lage sieht und deshalb die Fahrzeuge einfach als unvollständige Maschinen ausliefert;

- deren Fahrzeuge auf Basis einer 2D-Sensorik „autonom“ einem Hindernis ausweichen, indem sie plötzlich und rücksichtslos auf die Gegenspur fahren, ohne das Schutzfeld auf die doppelte Geschwindigkeit anzupassen;
- mit Fahrzeugen mit unsicherer Umschaltung von Schutzfeldern (geschaltet durch Software oder Transponder)

Warum tun Hersteller so etwas? Wissen sie es nicht besser, oder kalkulieren sie das Risiko ein, dass etwas passiert und es zu Reklamationen oder sogar gerichtlichen Schritten kommt?

In jedem Fall ist der Betreiber der Leidtragende, denn er trägt letztendlich die Verantwortung für den sicheren Betrieb der Anlage! Eigentlich muss er die genannten Punkte in seiner regelmäßig durchzuführenden Gefährdungsbeurteilung behandeln – kann er das? Vom Lieferanten bekommt er diesbezüglich sicher keine Unterstützung oder Hinweise, denn der hat ihm die Probleme ja geliefert bzw. eingebaut.

Zur Einordnung: Dies ist keine Verallgemeinerung! Es gibt genügend viele und seriöse FTS-/AMR-Anbieter, die sich dem Kunden gegenüber kompetent und verantwortungsvoll verhalten!

Es gibt also genügend Gründe und Anlässe, sich etwas intensiver mit dem Thema FTS-Sicherheit zu beschäftigen. Das tut in vorbildlicher Weise der VDI-Fachausschuss FTS, indem er VDI-Richtlinien, VDI-Statusreports und Leitfäden erarbeitet, die Hersteller, Integratoren und vor allem die Betreiber unterstützen sollen. Insbesondere soll auf die VDI 2510-2 und die beiden Dokumente „Sicherheit von mobilen Robotern – Leitfaden für Betreiber“ und „Sicherheit von mobilen Robotern – Leitfaden für Planer“ verwiesen werden. Während die VDI-Richtlinien in den jeweils aktuellen Fassungen beim Beuth-Verlag zu beziehen sind, gibt es die Statusreports und die Leitfäden kostenlos als Download.<sup>4</sup>

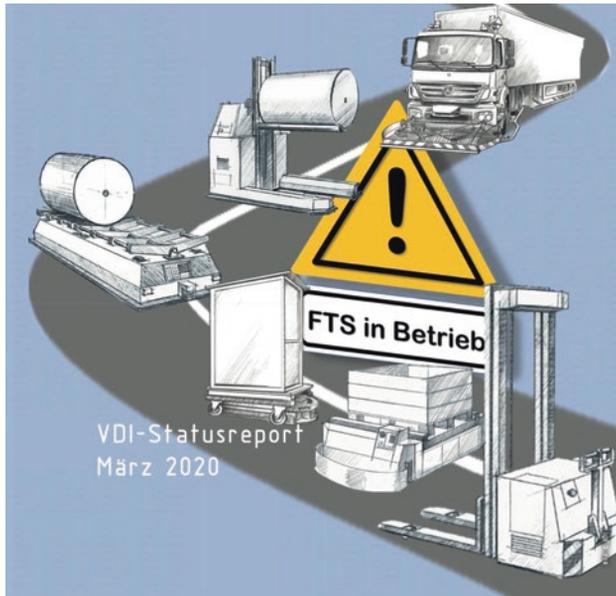
Die beiden Sicherheits-Leitfäden (Abb. 1.4) beschreiben die Anforderungen für den sicheren Betrieb von FTS innerhalb der Europäischen Union. Hersteller von fahrerlosen Fahrzeugen bestätigen mit der Erklärung der Konformität, dass die Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen aller relevanten Europäischen Richtlinien zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens eingehalten sind.

Mit der Abnahme der Anlage übernimmt dann der Betreiber die volle Verantwortung und ist verpflichtet, die Anforderungen aus der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie umzusetzen und die Sicherheit der Mitarbeiter über den gesamten Lebenszyklus der Anlage zu gewährleisten. Der Leitfaden „FTS-Sicherheit für Betreiber“ gibt dem Betreiber Hinweise für die Inbetriebnahme, den laufenden Betrieb sowie die Wartung und Instandhaltung.

### 1.3.2 Rechtlicher Rahmen

In Abb. 1.5 sind die Richtlinien beschrieben, die in der EU zum Schutz der Gesundheit ihrer Bürger erlassen wurden. Dazu gehören in den Bereichen Maschinensicherheit und Arbeitsschutz vor allem die Maschinenrichtlinien (für Hersteller) und die Arbeitsmittelbe-

<sup>4</sup>Auf den Seiten des Forum-FTS, [www.forum-fts.com](http://www.forum-fts.com).



**Abb. 1.4** Der Statusreport „FTS-Sicherheit“ (Aus Aktualitätsgründen wurde der hier abgebildete Statusreport kurz vor Erscheinen dieses Buchs zurückgezogen und durch die beiden Sicherheits-Leitfäden für Pllaner und Betreiber ersetzt.)



**Abb. 1.5** In der EU geltende Vorschriften und Richtlinien zum Gesundheitsschutz

nutzungsrichtlinie (für Betreiber) sowie zusätzliche Richtlinien wie die Niederspannungsrichtlinie oder die EMV-Richtlinie.

Diese müssen von den Mitgliedsstaaten in nationale Gesetze umgesetzt werden. Das geschieht z. B. in Normen: