

Günter Ullrich  
Thomas Albrecht

# Fahrerlose Transportsysteme

Eine Fibel – mit Praxisanwendungen –  
zur Technik – für die Planung

*3. Auflage*

 Springer Vieweg

---

# Fahrerlose Transportsysteme

Blick ins Buch

# Innovatives Schweizer Engineering

Willkommen bei Niederberger-Engineering AG, dem innovativen Technologiebetrieb für die verschiedensten Projekte.

Die Niederberger-Engineering AG wurde im Jahr 1991 von Anton Niederberger gegründet. Das Unternehmen aus Oberdorf, Schweiz fokussiert sich auf statische Berech-

nungen, Entwicklungen und Konstruktionen als Dienstleister für verschiedenste Firmen auf der ganzen Welt.

Es entstanden aber auch neue Produkte und entsprechend die Firmen dazu.

## Neuheit: FTS und WTS

Die neueste Entwicklung ist ein autonom navigierender Transportroboter, der mit verschiedenen Aufbaumodulen bestückt werden kann.

Die Neuheit an diesem Transportroboter ist, dass er über Form- und Kraftschluss zum Boden oder zur Wand verbunden ist.

Dies erreicht man mit umlaufenden schaltbaren Vakuumsaugern die direkt an Wand und Boden oder mit schaltbaren Magneten auch auf Wand und Boden, aber auf verlegtem Blechuntergrund laufen. Siehe Bild 1 und 2, der Transportroboter läuft auf Boden und Wand.

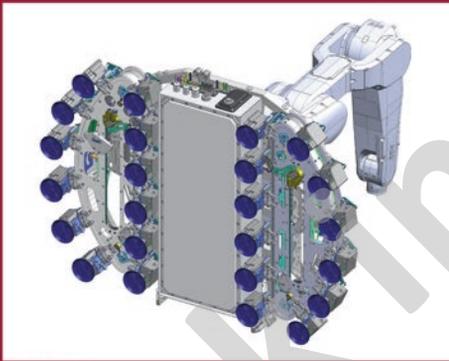


Bild 1: Ansicht von unten

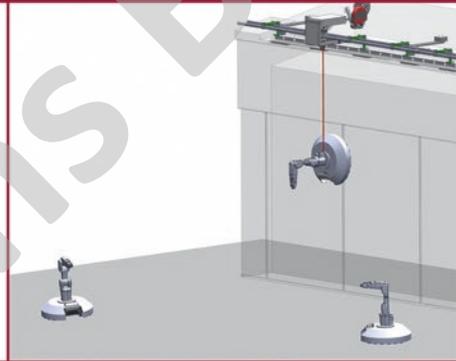


Bild 2: Roboter an der Wand (mit Sicherheitssystem) und am Boden.

## Partnerfirmen der Niederberger-Engineering AG



Serbot AG  
Galgenried 22  
CH 6370 Stans  
Switzerland  
+41 (0)41/6121101  
www.serbot.ch



Imprimere AG  
Schinhaltenstrasse 20a  
CH - 6370 Oberdorf  
Switzerland  
+41 (0)41/6104465  
www.imprimere.ch



Trimed AG  
Schinhaltenstrasse 20a  
CH - 6370 Oberdorf  
Switzerland  
+41 (0)41/6104465  
www.trimed-swiss.ch



**NIEDERBERGER-  
ENGINEERING AG**

Schinhaltenstrasse 20a, CH-6370 Oberdorf, Switzerland  
Phone +41 (0)41/6104465 Fax +41 (0)41/6102709  
niederberger-engineering@bluewin.ch www.niederberger-engineering.ch

---

Günter Ullrich • Thomas Albrecht

# Fahrerlose Transportsysteme

Eine Fibel – mit Praxisanwendungen – zur  
Technik – für die Planung

3., vollständig überarbeitete Auflage



Springer Vieweg

Günter Ullrich  
Voerde, Deutschland

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

ISBN 978-3-658-27471-9      ISBN 978-3-658-27472-6 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-27472-6>

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

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.

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

# 35 Jahre erfolgreiche FTS Installationen

# Rocla



*Automatisieren Sie Ihr  
Schubmast-Lager  
mit unserem neuen*

## **Rocla ART** Automated Reach Truck



### **Rocla AGV Solutions**

Automation intelligence since 1983

Über Rocla:

Mit innovativen Materialhandlinglösungen sorgt Rocla seit vielen Jahren für zufriedene Kunden. Wir entwickeln, fertigen und vertreiben elektrische Lager- und Gegengewichtsstapler sowie Fahrerlose Transportsysteme. Darüber hinaus bieten wir über den gesamten Lebenszyklus hinweg Lösungen und Serviceleistungen. Das Herzstück unserer unternehmerischen Tätigkeit ist einerseits die stete Analyse und das Verständnis der Kundenprozesse und andererseits deren kontinuierliche Weiterentwicklung. Lager- und Gabelstapler der Marken Mitsubishi und Cat®, die ebenfalls bei Rocla entwickelt und gefertigt werden, werden weltweit durch unser flächendeckendes Vertriebsnetzwerk verkauft. Rocla ist Teil der Mitsubishi Logisnext Co., Ltd.

info@fahrerlos.de



[rocла-agv.com](https://www.rocла-agv.com)

LinkedIn [rocла-agv-solutions](#)  
Facebook [@RoclaAGVsolutions](#)  
Twitter [@RoclaAGV](#)  
YouTube [RoclaOy](#)

Visionäre  
gesucht!  
Jetzt bewerben.



## Fahrt aufnehmen für die Smart Factory der Zukunft.

Ob fahrerlose Transportsysteme oder intelligente Software zur algorithmenbasierten Produktionssteuerung – unsere Technologie spart Ihnen Geld, erleichtert Ihren Mitarbeitern die Arbeit und katapultiert Ihr Unternehmen in die Zukunft.

Serva transport systems ist ein junges innovatives Unternehmen mit der Vision Game Changer für die Logistik und Produktion zu sein.

Mit unseren Transportrobotern gehören wir bereits jetzt zu den Technologieführern für gesamtheitliche Lösungen in Industrie und Produktion.

Doch wir sind noch nicht am Ziel: Als Innovator sehen wir uns in einer Vorreiterrolle, um das Internet of Things weiter voranzutreiben und Produktion dank Software intelligenter zu machen.

Wir suchen laufend Visionäre und Querdenker, die mit uns gemeinsam Fahrt aufnehmen!

Alle Infos & aktuelle Stellenangebote unter:  
[www.servats.com/de/karriere/](http://www.servats.com/de/karriere/)

**serva**   
transport systems

---

## Vorwort

In den 1950er-Jahren wurde das Fahrerlose Transportsystem (FTS) erfunden, das sich bis heute zum probaten Organisationsmittel der modernen Intralogistik entwickelt hat. Es gibt praktisch keine Branche, die Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) nicht einsetzt oder zumindest einsetzen könnte. Von kleinen Anlagen mit wenigen oder sogar nur einem einzigen Fahrzeug bis hin zu Systemen mit deutlich über 100 Fahrzeugen ist alles möglich und auch schon realisiert worden. Nach langen Jahren der Zurückhaltung sind heute wieder die Unternehmen der Automobilindustrie die dominante Anwenderbranche, darüber hinaus setzen im Rahmen von Industrie 4.0-Konzepten aber auch viele weitere Firmen das FTS zur Optimierung ihrer Materialflüsse ein. Diese Fibel stellt dar, wie vielfältig die Anwendungen sind und welche technologischen Standards zur Verfügung stehen, ohne den Anspruch zu erheben, vollständig zu sein. Darüber hinaus dokumentieren wir die neuen Entwicklungen, die innovative Einsatzszenarien ermöglichen und zusätzliche attraktive Märkte erschließen. Die Zukunft hat mit der 4. FTS-Epoche längst begonnen ...

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 sicher auch zahlreiche weitere wertvolle Hinweise zum Ablauf eines FTS-Projekts.



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

Seit über 30 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 Danke gesagt, denn sie haben mit ihren Beiträgen diese Fibel erst möglich gemacht. Außerdem gilt der Dank dem Lektorat Maschinenbau des Springer Vieweg-Verlags für die nette und verständnisvolle Betreuung.

Die 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 zusammenfassende Darstellung unseres Themas gibt. Wir haben uns um eine objektive Sichtweise, eine moderate fachliche Tiefe sowie eine klare und verständliche Sprache bemüht.

Die vorliegende 3. Auflage wurde gänzlich überarbeitet, etwas anders strukturiert und trägt den rasanten Entwicklungen in der Technik und den Märkten Rechnung. Erstmals ist Dipl.-Ing. Thomas Albrecht als Co-Autor mit dabei. Er arbeitet seit fast 30 Jahren beim Fraunhofer IML in Dortmund als FTS-Fachmann und ist in der Branche als verlässlicher und neutraler Kompetenzträger bekannt. Möge die überarbeitete Fibel ihren Beitrag dazu leisten, dass Fahrerlose Transportsysteme entsprechend ihren Möglichkeiten eingesetzt und in Zukunft noch leistungsfähiger werden.

Voerde, Juni 2019  
Dortmund, Deutschland

Günter Ullrich  
Thomas Albrecht



## KUKA Mobile Robotik \_Flexibilität in neuer Dimension



### KMP – KUKA Mobile Plattformen

### KMR – KUKA Mobile Roboter



Fertigungsprozesse müssen immer flexibler werden. Wer schnell auf neue Anforderungen reagieren kann, gewinnt im Wettbewerb. KUKA Mobile Plattformen und Roboter eröffnen neue Möglichkeiten, die Wirtschaftlichkeit und Effizienz in der Produktion nachhaltig zu steigern. Erfahren Sie mehr über unser vielfältiges mobiles Robotik-Portfolio:

The logo features a red upward-pointing arrow above the word 'JUNGHEINRICH' in a bold, black, sans-serif font.

**JUNGHEINRICH**

**Mit intelligenten Automatisierungs-  
lösungen zukunftsfähig bleiben.  
Fahrerlose Transportsysteme von  
Jungheinrich**



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Geschichte der Fahrerlosen Transportsysteme</b>	<b>1</b>
1.1	Die erste FTS-Epoche – Idee und Umsetzung	2
1.1.1	Die ersten europäischen Unternehmen	2
1.1.2	Frühe Technik und Aufgabenstellungen	3
1.2	Die zweite Epoche – Automatisierungseuphorie	5
1.2.1	Fortschritte in der Technologie	6
1.2.2	Große Projekte in der Automobilindustrie	7
1.2.3	Der große Knall	8
1.3	Die dritte Epoche – Gestandene Technik für die Intralogistik	11
1.4	Die vierte Epoche – Das FTS erweitert den Wirkungskreis	20
1.4.1	Neue Märkte	22
1.4.2	Neue Funktionen und Technologien	27
<b>2</b>	<b>Technologische Standards</b>	<b>29</b>
2.1	Navigation und Sicherheit als zentrale Systemfunktionen	31
2.1.1	Navigation	32
2.1.2	Sicherheit	50
2.2	FTS-Leitsteuerung	60
2.2.1	Systemarchitektur FTS	61
2.2.2	Benutzer und Auftraggeber	63
2.2.3	Funktionsbausteine einer FTS-Leitsteuerung	63
2.3	Das Fahrerlose Transportfahrzeug	70
2.3.1	FTF-Kategorien	73
2.3.2	Fahrzeugsteuerung	87
2.3.3	Mechanische Bewegungskomponenten	91
2.3.4	Energieversorgung der FTF	99
2.4	Umfeld des FTS	107
2.4.1	Einsatzumgebung	108
2.4.2	Systemspezifische Schnittstellen	109
2.4.3	Periphere Schnittstellen	112
2.4.4	Mensch und FTF	115

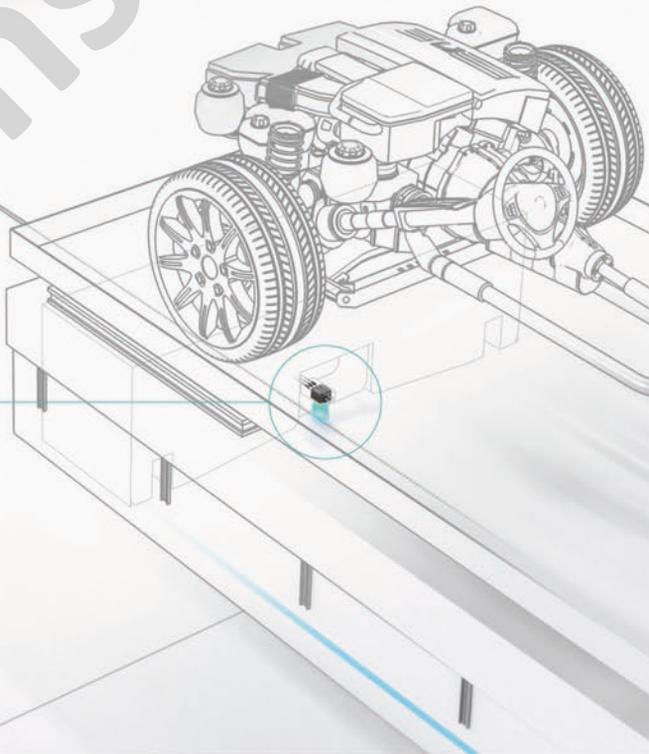
<b>3</b>	<b>Anwendungsgebiete</b>	119
3.1	Aufgabenbezogene Aspekte des FTS-Einsatzes	119
3.1.1	Das FTS in Produktion und Dienstleistung	120
3.1.2	FTS als Organisationsmittel	123
3.1.3	Argumente für den FTS-Einsatz	124
3.1.4	FTS im Taxibetrieb	126
3.1.5	Fließlinienbetrieb und der Fokus auf die Serienmontage	127
3.1.6	Lagern und Kommissionieren	134
3.2	Branchenbezogene Aspekte und Beispiele	137
3.2.1	Automobil- und Zulieferindustrie	138
3.2.2	Papierherzeugung und -verarbeitung	156
3.2.3	Elektroindustrie	159
3.2.4	Getränke-/ Lebensmittelindustrie	162
3.2.5	Baustoffe	173
3.2.6	Stahlindustrie	175
3.2.7	Kliniklogistik	179
3.2.8	Pharma-Industrie	188
3.2.9	Luftfahrt- und Zulieferindustrie	190
3.2.10	Anlagenbau	194
3.2.11	Lager- und Transportlogistik	195
3.3	Außeneinsatz (Outdoor-FTF)	202
3.3.1	Sicherheit im Außenbereich	205
3.3.2	Navigation im Außenbereich	213
3.3.3	Zusammenfassung	215
<b>4</b>	<b>Die Zukunft des FTS</b>	217
4.1	Standardisierung der FTS-Steuerung	220
4.2	Die Welt ist keine Scheibe	225
4.3	Drive Safe – Die Integration von Navigation und Sicherheit	230
4.4	Das autonome FTF – Wieviel Autonomie braucht die Anwendung?	233
4.4.1	Autonome FTF in der Intralogistik	234
4.4.2	Autonomes Miteinander – Intelligentes Agieren	236
<b>5</b>	<b>Die ganzheitliche FTS-Planung</b>	241
5.1	Die Bedeutung der Planung in FTS-Projekten	243
5.1.1	Ressourcen-bestimmende Kriterien	244
5.1.2	Organisation des Projektteams	246
5.2	Planungsschritte	247
5.2.1	Systemfindung	248
5.2.2	System-Ausplanung	254
5.2.3	Beschaffung	262
5.2.4	Betriebsplanung	267
5.2.5	Änderungsplanung	268
5.2.6	Außerbetriebsetzung	269

**Richtung weisen.  
Positionierung neu erfinden.  
Sicherheit revolutionieren.**

**safePGV**  
SIL 3/PL e mit einem einzigen Sensor

- FTS-Navigation mit maximaler Sicherheit
- Höchste Effizienz: direkter Anschluss an die Sicherheitssteuerung – ohne zusätzlichen Funktionsbaustein
- Sichere Navigation durch flexiblen Zugriff auf Navigations- und sichere Positionsdaten

[www.pepperl-fuchs.com/safe-navigation](http://www.pepperl-fuchs.com/safe-navigation)



Your automation, our passion.

**pf** PEPPERL+FUCHS

info@fahrerlos.de

# SMARTFORK® INDIVIDUAL

INTELLIGENTE SENSORGABELZINKEN  
DER NEUESTEN GENERATION

**VETTER**®  
Solutions



Individuell angepasst für Ihre  
fahrerlosen Transportsysteme!

**VETTER INDUSTRIE GMBH**  
Solutions Departement

+49 (0)2736 4961-0 · [info@smartfork.com](mailto:info@smartfork.com) · [WWW.SMARTFORK.COM](http://WWW.SMARTFORK.COM)  
info@fahrerlos.de

5.3	Unterstützung bei der Planung . . . . .	270
5.4	10 Schlüsselfaktoren für erfolgreiche FTS-Projekte . . . . .	275
5.4.1	Ganzheitliches Verständnis für das Projekt und Konzeption mit Weitblick . . . . .	276
5.4.2	Technische Auslegung versus technischer Anspruch . . . . .	277
5.4.3	Starkes Lastenheft als technische Grundlage des Projekts . . . . .	277
5.4.4	Projektmanager mit Sachverstand hoffentlich auf beiden Seiten . . .	277
5.4.5	Realistischer Zeitplan mit Meilensteinen . . . . .	278
5.4.6	Integration des FTS in die Peripherie vs. Anpassung der Peripherie an das FTS . . . . .	279
5.4.7	Frühe Integration von AS, IT und Produktion . . . . .	279
5.4.8	Besprechungskultur . . . . .	280
5.4.9	Vereinbarte AbnahmeprozEDUREN . . . . .	281
5.4.10	Fairer Umgang miteinander . . . . .	281
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>285</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-Handlingssystem sorgt dafür, dass sich der Motor immer in der ergonomisch optimalen Montageposition befindet.



# **BÄR**

---

## 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 2006.

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 vier fachkompetenten Kollegen 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. 140 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 wurde er 1990 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fraunhofer IML und beschäftigt sich

---

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

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.

Blick ins Buch

belastbar  
**1,5 t Tragfähigkeit**  
stark hilfsbereit innovativ  
**autonome Navigation**  
vorausschauend flexibel  
**omnidirektionales  
Antriebskonzept**  
wendig



**mehr über TORsten:**  
[torsten.torwegge.de](http://torsten.torwegge.de)



## Robotik by Pilz – offen und kompatibel.

**PILZ**  
THE SPIRIT OF SAFETY

Stellen Sie sich mit den Service Robotik Modulen Ihre individuelle Roboter-Applikation zusammen – für das industrielle und nicht-industrielle Umfeld! Die Service Robotik Module bestehen aus einem Manipulatoremodul, einem Steuerungsmodul und aus dem Bedienmodul sowie den ROS Modulen. Sie werden ergänzt durch zahlreiche passgenaue Module aus dem Pilz Produktportfolio für Sicherheits- und Automatisierungstechnik.

**Profitieren Sie jetzt von unserer kosteneffizienten und flexiblen Lösung!**



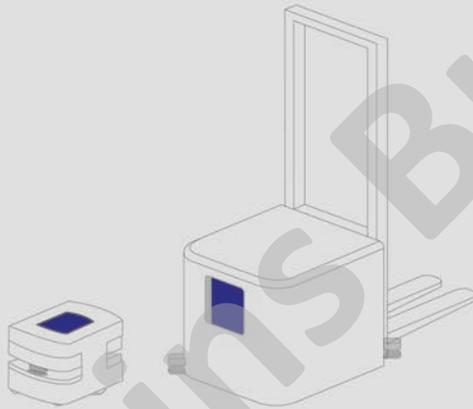
Erleben Sie die  
Pilz Module in einer  
Intralogistik: [pilz.de/robo](http://pilz.de/robo)

# BLUEBOTICS

Mobile Robots at Your Service

[www.bluebotics.com](http://www.bluebotics.com) - Switzerland

Do you need to automate or retrofit your vehicle?  
Go for **ANT<sup>®</sup>**, the industry-proven natural feature navigation.



- ◆ Simple and robust - 1'000+ in operation
- ▣ Industrial - High accuracy & flexibility
- 🔌 Quick to install - Installed within days





# Geschichte der Fahrerlosen Transportsysteme

1

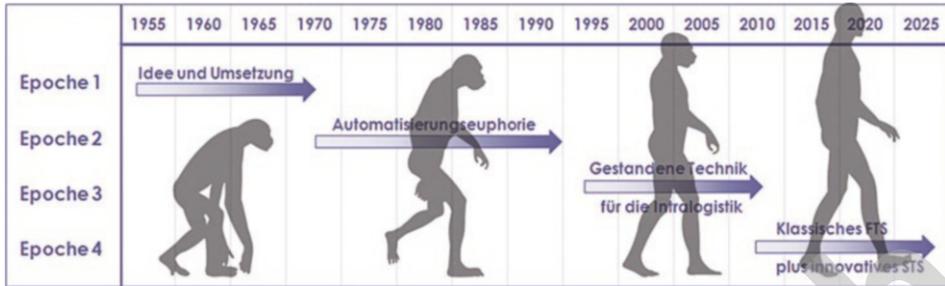
Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind ein wichtiger Bestandteil der Intralogistik. Der technologische Standard und die mittlerweile vorhandene Erfahrung mit dieser Automatisierungstechnik haben dazu geführt, dass FTS Einzug in fast alle Branchen und Produktionsbereiche gehalten haben. Die FTS-Geschichte begann Mitte der 50er-Jahre des letzten Jahrhunderts in den USA.

Als nach dem zweiten Weltkrieg die Produktionen wieder anliefen und die Weltwirtschaft boomte, waren automatisch fahrende Transportfahrzeuge Teil des realisierten Menschheitstraums, die eigene Arbeit durch Automaten verrichten zu lassen. Die rasante Entwicklung der Sensor- und Steuerungstechnik sowie ursprünglich der Mikroelektronik ebnete dem FTS den Weg.

An dieser Stelle wollen wir nur kurz die Erfindung des FTS in Amerika würdigen, uns dann aber ausschließlich auf den europäischen Markt konzentrieren. Bisher gab es wenige erfolgreiche amerikanische Versuche, in den europäischen Markt einzutreten. Der umgekehrte Weg war dagegen erfolgreicher: so gibt es einige europäische FTS-Hersteller, die in Amerika Projekte abwickeln. Der asiatische Markt hatte in der Vergangenheit so gut wie keine Überlappungen mit Europa, weder in die eine noch in die andere Richtung.

Seit etwa fünf Jahren lässt sich in China ein enormer FTS-Boom sowohl auf der Anwender- als auch insbesondere auf der Anbieterseite beobachten: innerhalb von nur zwei Jahren (seit 2016) ist die Zahl chinesischer FTS-Hersteller von unter 10 auf über 40 gestiegen. Diese Firmen setzen sowohl auf selbstentwickelte Technik als auch auf Lösungen, die sie bei europäischen oder amerikanischen Anbietern lizenzieren. Derzeit sind Fahrzeuge aus chinesischer Produktion aber auf dem europäischen Markt noch nicht aufgetaucht.

Die bisherigen sechzig FTS-Jahre lassen sich in vier Epochen einteilen. Diese Epochen sind von der zur Verfügung stehenden Technik und der emotionalen Haltung den Systemen gegenüber gekennzeichnet. Man kann diese Epochen auch als Evolutionsstufen verstehen, während derer es nur begrenzte technische Entwicklungen gab, und die dann jeweils ziemlich abrupt ineinander übergingen (Abb. 1.1).



**Abb. 1.1** Fahrerlose Transportsysteme entwickeln sich in und auf Evolutionsstufen (Epochen)

## 1.1 Die erste FTS-Epoche – Idee und Umsetzung

Die erste Epoche begann in Amerika 1953 mit der Erfindung automatisch fahrender Transportfahrzeuge und in Europa wenige Jahre später. Sie dauerte knapp zwanzig Jahre. Technologisch waren die ersten Anlagen geprägt von einfachsten Spurfolgetechniken und taktilen Sensoren, wie Bumper oder Notstoppbügel für den Personenschutz, mit mechanischen Schaltern.

Anfang der 1950er-Jahre hatte ein amerikanischer Erfinder die Idee, den Menschen auf einem Schleppwagen, der zum Gütertransport eingesetzt wurde, durch einen Automaten zu ersetzen.

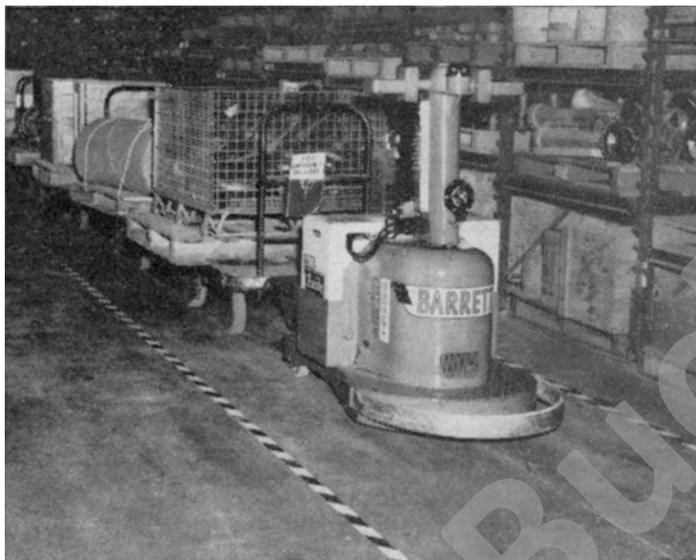
Diese Idee wurde durch die Barrett-Cravens of Northbrook, Illinois (heute Savant Automation Inc., Michigan) umgesetzt. Bei der Mercury Motor Freight Company in Columbia, South Carolina, wurde 1954 das erste Fahrerlose Transportsystem als Schleppzug-Anwendung für wiederkehrende Sammeltransporte über große Strecken installiert (Abb. 1.2)

Die zuvor schienengeführten Fahrzeuge folgten nun einem wechselstromdurchflossenen Leiter, welcher im Boden verlegt wurde. Dieses Prinzip kennen wir heute als induktive Spurführung. Das erste Fahrzeug orientierte sich also während der Fahrt ohne Fahrer mittels einer aus zwei Spulen aufgebauten Antenne an dem Feld, das den stromdurchflossenen Leiter umgab. Die Stationen, an denen Lasten (Güter) übergeben werden sollten, waren durch im Boden versenkte Magnete codiert, welche durch Sensoren im Fahrzeug erfasst wurden. Die Codierung selbst ergab sich aus einer spezifischen Anordnung von nord-/südpolig-orientierten Magneten.

Die einfache Steuerung bestand zu dieser Zeit aus einer Röhrenelektronik, die nur beschränkte Entwicklungsmöglichkeiten aufwies.

### 1.1.1 Die ersten europäischen Unternehmen

In England trat 1956 die Firma EMI in den Markt. Die Fahrzeuge folgten einem Farbstreifen auf dem Boden, der über einen optischen Sensor erkannt wurde und der die entsprechenden Steuer- und Lenksignale lieferte. Ab den 1960er-Jahren kamen die



**Abb. 1.2** Eines der ersten amerikanischen FTS, ab 1954 gebaut als Zugmaschine für fünf Anhänger. (Quelle: Barrett-Cravens/Savant Automation, 1958)

ersten transistorbasierten Elektroniken zum Einsatz, was die Flexibilität bei Führung und Steuerung erhöhte.

In Deutschland starteten die Firmen Jungheinrich, Hamburg, und Wagner, Reutlingen, in den frühen 1960er-Jahren die FTS-Entwicklung. Sie automatisierten die ursprünglich für manuelle Bedienung konstruierten Gabelhub- und Plattformfahrzeuge.

Das Maschinenbauunternehmen Jungheinrich wurde 1953 gegründet und startete mit dem Vertrieb des Elektro-Vierrad-Staplers „Ameise 55“ in den Markt. Dann wurde bereits wenige Jahre später, in 1962, der erste automatisch gesteuerte, induktiv geführte Stapler „Teletrak“ vorgestellt. Auch die optische Spurführung kam hier zum Einsatz (Abb. 1.3).

Die Firma Wagner Fördertechnik begann ab 1963 mit der Vermarktung Fahrerloser Transportsysteme für den Einsatz in der Automobilproduktion und im Handel.

### 1.1.2 Frühe Technik und Aufgabenstellungen

Schon die ersten Systeme, die in den USA, England, Deutschland und anderen Ländern entwickelt und gebaut wurden, wiesen elementare Merkmale auf, die noch heute Bestandteil eines FTS sind: das Leitsystem, das Fahrzeug mit Steuerung und Personenschutz, das Spurführungssystem.

Die Umgebung, in der sich die ersten Fahrerlosen Transportfahrzeuge (FTF) bewegten, war die normale Werks- oder Lagerhalle. Dort, wo bisher die Arbeiter mit ihren (Schlepp-) Fahrzeugen die Güter durch die Hallenbereiche transportierten, wurde jetzt Schritt um



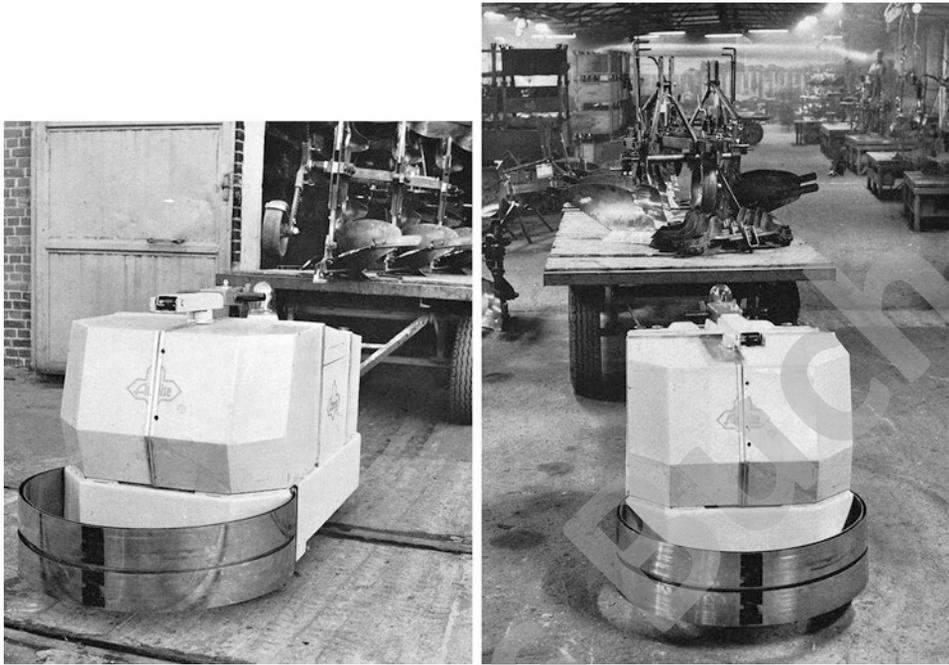
**Abb. 1.3** Ameise/Teletrak. (Quelle: E&K 1965)

Schritt die Umgebung an die Anforderungen eines Systems angepasst, das auf menschliche Begleitung verzichtete. Markierungen, freie Fahrstrecken sowie passive und aktive Schutzmaßnahmen sollten die Risiken reduzieren. In den USA soll es Widerstand gegen die neue Technologie gegeben haben: die Gewerkschaften befürchteten den Wegfall von Arbeitsplätzen. Aber wer rechnete damals den Zugewinn an neuen Arbeitsplätzen in dem sich entwickelnden Hersteller- und Zuliefermarkt?

Ab Mitte der 1960er finden wir die ersten Einzeltransport-Anwendungen und Transporte im Rahmen der „Verkettung“ von Arbeitsplätzen, schließlich wurden die ersten Systeme in der Warenkommissionierung, in der Lebensmittelindustrie, eingesetzt. Die Fahrzeugvielfalt beschränkte sich auf Schlepper, Gabelhub- und Plattformfahrzeuge (Abb. 1.4).

Das Leitsystem war einfach: die Fahrzeuge fuhren vorgegebene Strecken von Station zu Station, starteten auf Anforderung und hielten nach Erkennen der Stoppmarker. Eine einfache Elektrik und eine Magnetsensorik ermöglichte dies zuverlässig. Der Betrieb erlaubte keine Flexibilität; der Transport überbrückte weitere Fahrstrecken, die Stationen wurden nacheinander angefahren, es gab praktisch nur eine Richtung – vorwärts.

Das Fahrerlose Transportfahrzeug entwickelte sich aus den personengesteuerten Schleppwagen, verfügte also wie ein normales Fahrzeug über Lenkung und Antrieb und zusätzlich über Sicherheitsvorrichtungen. Seine Größe bestimmte sich durch die gestellten Anwendungsanforderungen. Wurde der Fahrer entfernt, dann musste eine Kombination aus Mechanik, Elektrik und „elektronischer Intelligenz“ seine Aufgaben übernehmen. Die Wahrnehmung des Menschen – über seine Augen – wurde also durch eine Sensorik ersetzt, wenn auch nur in rudimentärer Form. Um die Sicherheit im betrieblichen Verkehr zu gewährleisten, mussten nicht nur die Einrichtungen geschützt werden, sondern vor allem die im Betrieb tätigen Menschen.



**Abb. 1.4** Ameise/Teletrak mit Anhängern. (Quelle: E&K)

Die Fahrzeugsteuerung arbeitete anfänglich noch mit Röhrentechnik, dann gab es solche mit Relais und Schrittschaltwerken, ab den späten 1960ern dann mit Halbleitertechnik (TTL-Logik).

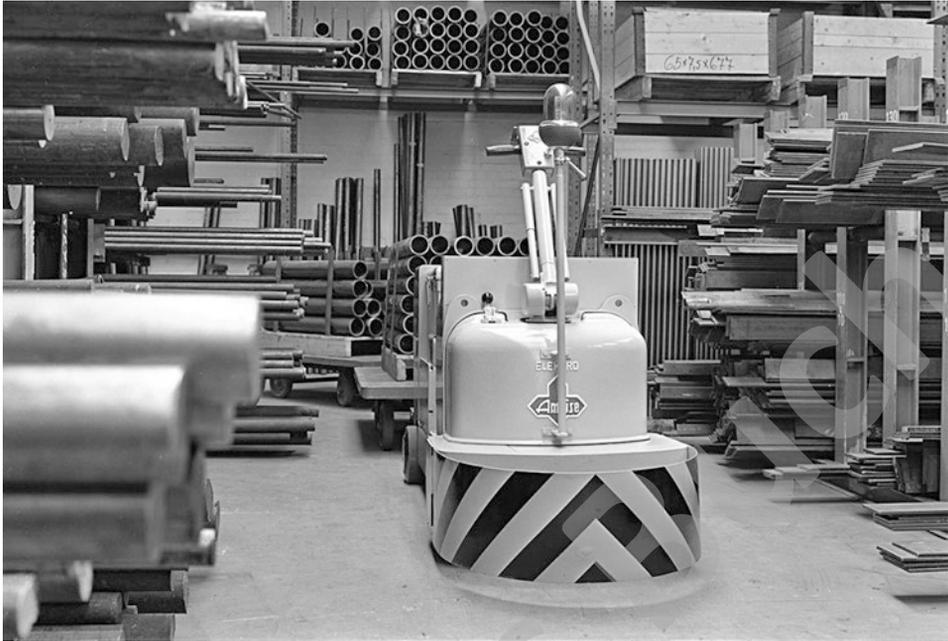
Der Personenschutz für die Vorwärtsfahrt wurde mit einem „Bumper“ oder einem Sicherheitsbügel realisiert, also in jedem Falle mit einem taktil arbeitenden Sensor.

Die Spurführung erfolgte durch stromdurchflossene Leiter im Hallenboden oder durch optische Leitlinien auf dem Boden.

Ende der 1960er wurden erste Schlepper mit automatischen Kupplungen konstruiert: sie konnten einen oder mehrere Anhänger ziehen und dort abstellen (= automatisch abkuppeln), wo sie benötigt wurden. Das Ankoppeln und die vorangehende Rückwärtsfahrt erfolgte allerdings noch manuell durch einen Bediener, der dazu die herunterklappbare Deichsel benutzte. Das folgende Bild zeigt einen solchen Schlepper, interessant ist hier auch, wie ungesichert der nachlaufende Anhänger war (Abb. 1.5).

## 1.2 Die zweite Epoche – Automatisierungseuphorie

Die zweite Epoche überdauerte die 1970er- und 1980er-Jahre und endete Anfang der 1990er. Die Elektronik hielt in Form einfacher Bordrechner und großer Schaltschränke für die Blockstreckensteuerung der Anlage Einzug. Die aktiv induktive Spurführung mittels eines Drahtes im Boden setzte sich durch, und die Datenübertragung geschah entweder über den gleichen Draht, infrarot oder sogar schon mittels Funk.



**Abb. 1.5** FTF als Schlepper. (Quelle: E&K ca. 1965)

In den 1970er-Jahren entstand letztlich das klassische FTS. Einhergehend mit einer immer weiteren Steigerung der Produktionseffizienz und dem Einsatz personenbezogener Transportsysteme, entwickelte sich auch die Nachfrage nach einem immer höheren Automatisierungsgrad, wodurch die Produktionskosten langfristig gesenkt werden sollten.

### 1.2.1 Fortschritte in der Technologie

Die Nachfrage im Markt, getrieben von den Erwartungen der Anwender, konnte nur durch eine stetig verbesserte Technologie befriedigt werden.

Eine wachsende Zahl von Herstellern und Komponentenentwicklern steigerte die Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten und verbesserte die Systemfähigkeiten. Bereits hier erkannten die Hersteller, dass sie sich vor allem die rasante Entwicklung in der Elektronik und Sensorik zunutze machen konnten. Ein spezieller Zuliefermarkt entwickelte sich jedoch nicht, dafür war das Marktvolumen insgesamt zu klein. Entwickler und Hersteller von Komponenten waren getrieben durch andere Märkte, z. B. durch den Bedarf der Hersteller traditionell bemannter Transportfahrzeuge.

Die Erfahrung der FTS-Hersteller floss zunehmend in verbesserte Anlagensteuerungen ein. Noch aber hatte die Anbietergemeinschaft ihre Wurzeln im Maschinenbau.

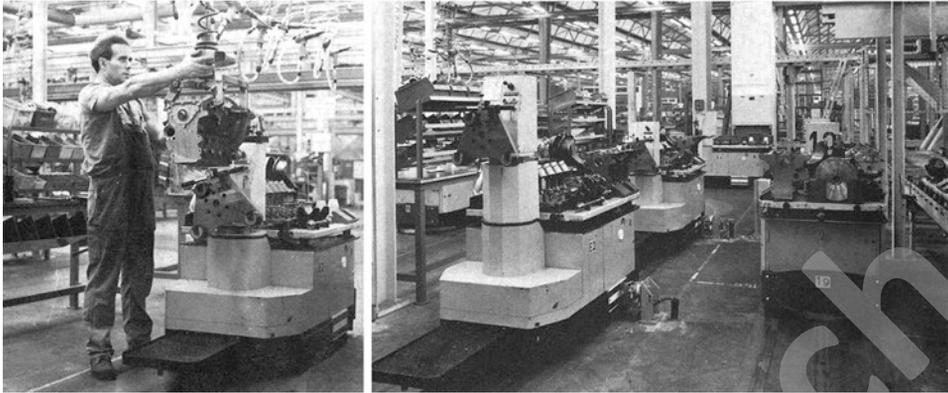
Technische Innovationen befreiten die Hersteller von bisherigen Einschränkungen, eine Reihe von Neuerungen kam in den 1970ern auf den Markt:

- Leistungsstarke Elektroniken und Mikroprozessoren ermöglichten erhöhte Rechenleistung und damit komplexere Einsatzszenarien und Anlagen-Layouts. In der Anlagensteuerung wurden erstmalig speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) verwendet. Eine verbesserte, erschwingliche Sensorik verbesserte die Präzision bei Fahrt, Navigation (Positionierung und Positionserkennung) und an der Lastübergabestation.
- Die Batterietechnik wurde leistungsfähiger, obwohl man im Nachhinein eingestehen musste, dass sie nicht vollständig beherrscht wurde. Auch das automatische Laden der Batterien wurde eingeführt.
- Ein Navigationsverfahren setzte sich durch: die induktive Spurführung, auch Leitdrahtführung genannt. Ein wechselstromdurchflossener Leiter im Boden erzeugt um den Leiter herum ein magnetisches Wechselfeld, das wiederum in einer Spule eine Spannung induziert, deren Höhe von der Lage der Spule relativ zum Leiter abhängt. Ordnet man unterhalb des Fahrzeugs zwei Spulen so an, dass sich eine links und eine rechts vom Leitdraht befindet, kann die Differenzspannung der beiden Spulen zur Ansteuerung des Lenkmotors genutzt werden.
- Die Anlagensteuerung wurde der Blockstreckensteuerung des Eisenbahnverkehrs nachempfunden. Große Schaltschränke in Relais-technik sorgten für die Ablaufsteuerung und dafür, dass die Fahrzeuge nicht kollidierten oder sich gegenseitig blockierten.
- Die Handhabung der Lasten geschah intelligenter und vermehrt automatisiert. Die Bewegungsmöglichkeiten der Fahrzeuge nahm zu (Rückwärtsfahrt mit Lastübergabe, flächige Bewegung); die ersten Außenanwendungen wurden realisiert.
- Die fahrerlosen Fahrzeuge wurden in Produktionsprozesse vollständig integriert; so wurden die Fahrzeuge als Mobile Werkbänke genutzt (Serienmontage).
- Zur Daten-Kommunikation wurden Infrarot- aber auch Funksysteme eingesetzt.

### 1.2.2 Große Projekte in der Automobilindustrie

Die Nachfrage im Markt wurde wesentlich durch die Automobilindustrie getrieben. Gerade die großen deutschen Autobauer modernisierten und automatisierten scheinbar grenzenlos. Das FTS gehörte dazu, es war „in“, insbesondere in folgenden Anwendungsbereichen:

- Taxibetrieb bei der sog. Boxenfeldmontage,
- FTF als mobiler Arbeitsplatz in den Vormontagen,
- Verkettung von Produktionsmaschinen in der Aggregatefertigung,
- Schlepper, Huckepack- und Gabelfahrzeuge zur Bandversorgung,
- Im Lager, zur Kommissionierung und Materialanlieferung an die Linien,
- Sondergeräte zur Integration in Fertigungssysteme.



**Abb. 1.6** Induktiv geführte Montageplattformen für Motoren bei VW in Salzgitter. (Quelle: E&K 1977)

Viele der großen FML<sup>1</sup>-Partner der Automobilindustrie lieferten größte Anlagen mit oftmals mehr als hundert Fahrzeugen. Die Anlagen wurden in Vormontagen (Cockpit, Frontend, Türen, Motoren, Getriebe, Antriebsstränge), in der Endmontage, im Fahrzeugbau aber auch für logistische Aufgaben eingesetzt (Abb. 1.6, 1.7, und 1.8).

### 1.2.3 Der große Knall

Ende der 1980er-Jahre kündigte sich der Niedergang bereits an: Die Wirtschaft wurde von einer Rezession heimgesucht, das Geld wurde knapp. Das FTS hatte ohnehin das Image teuer zu sein: Die Flexibilität, mit der die Systeme auch damals schon beworben wurden, wurde in der Praxis nicht erreicht. Kleine Änderungen im Fahrkurs mussten vom FTS-Lieferanten durchgeführt werden und kosteten viel Geld. Die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Anlagen ließen zu wünschen übrig.

Die deutschen Autobauer Volkswagen, BMW und Mercedes Benz waren sich einig, dass hinsichtlich der Kompatibilität und der Wirtschaftlichkeit der Systeme etwas passieren musste. Sie initiierten die Gründung des VDI-Fachausschusses<sup>2</sup> „Fahrerlose Transportsysteme“, der 1987 damit begann, unter der Obmannschaft des Duisburger Universitätsprofessors Prof. Dr.-Ing. Dietrich Elbracht VDI-Richtlinien zu den relevanten FTS-Themen zu erarbeiten. Seit 1996 wird der Kreis von Dr.-Ing. Günter Ullrich geleitet, der auch schon Gründungsmitglied war.

<sup>1</sup> FML – Fördertechnik, Materialfluss, Logistik.

<sup>2</sup> [www.vdi.de](http://www.vdi.de).

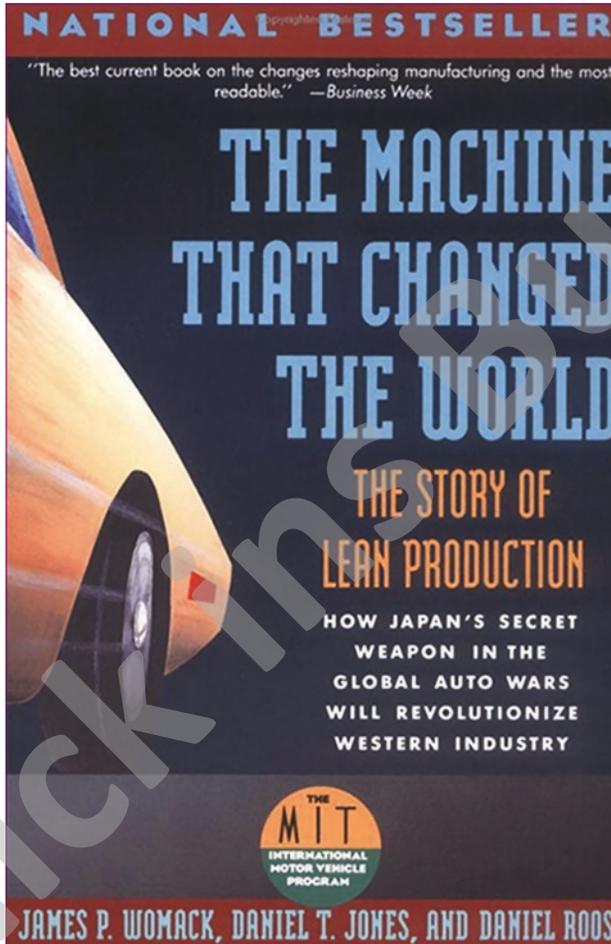


**Abb. 1.7** PKW-Herstellung mit FTS: Fahrzeugbau des VW Passat bei VW in Emden. (Quelle: DS AUTOMOTION 1986)



**Abb. 1.8** Triebsatzvormontage bei VW in Hannover. (Quelle: DS AUTOMOTION 1986)

Dieser VDI-Fachausschuss führte dann vier Jahre später in Duisburg die erste FTS-Fachtagung<sup>3</sup> durch, auf der diese Themen intensiv diskutiert wurden. Außerdem entstand daraus im Jahre 2006 das Forum-FTS,<sup>4</sup> die europäische FTS-Community, in der die wesentlichen FTS-Hersteller Mittel-Europas (Finnland, Belgien, Niederlande, Deutschland, Österreich, Schweiz) organisiert sind.



Trotzdem konnte sich die FTS-Branche dem vorübergehenden Niedergang nicht entziehen, wesentlich verursacht durch ein amerikanisches Buch (Abb. oben), in dem eine

<sup>3</sup>Die FTS-Fachtagung findet im 2-jährigen Rhythmus seit 2012 am Fraunhofer Institut IML in Dortmund statt ([www.fts-fachtagung.org](http://www.fts-fachtagung.org)), von 2002 bis 2010 an der Universität Hannover und zu Beginn, also in den Jahren 1991, 1993, 1995, 1998 und 2000 an der Universität Duisburg.

<sup>4</sup>[www.forum-fts.com](http://www.forum-fts.com), dort auch eine Liste der aktuell erfolgreich tätigen europäischen FTS-Hersteller.

MIT-Studie<sup>5</sup> über die Produktivität der weltweiten Automobilhersteller abgedruckt ist. Diese Studie besagte, dass die japanischen Autobauer mit einfachsten Mitteln und neuen Arbeitsstrukturen bessere Qualität zu niedrigeren Herstellpreisen liefern konnten.

Diese Studie führte zu einem vollständigen Umdenken in Europa. Für die großen FTS-Anlagen bedeutete sie das Aus (FTS-Rezession). Viele „große“ FTS-Hersteller beendeten ihr FTS-Engagement oder man ging den Weg der Lizenzierung in einer globaleren Welt. Doch letztlich stand ein Neuanfang mit neuen mittelständischen Spielern, neuer Technik, neuen Produkten und neuen Kunden (Branchen) an!

---

### 1.3 Die dritte Epoche – Gestandene Technik für die Intralogistik

Von Mitte der 1990er-Jahre bis ca. 2010 dauerte die dritte Epoche, während der technologische Standards geschaffen und Märkte gefestigt werden. Die Fahrzeuge haben elektronische Steuerungen und berührungslose Sensoren. Als Leitsteuerung fungiert ein handelsüblicher PC, in den FTF sitzt entweder eine SPS oder ein Microrechner. Die Leitdraht-Spurführung spielt keine Rolle mehr, es setzen sich die „freien“ Navigationstechniken Magnet- und die Laser-Navigation durch. WLAN etabliert sich als Datenübertragungstechnik.

Diese Epoche zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorherrschaft der Automobilindustrie durch eine Fülle von unterschiedlichsten Anwendern gebrochen ist. Die FTF-Stückzahlen pro Anlage sind lange nicht mehr so groß wie in der zweiten Epoche. Und eine weitere zentrale Eigenschaft zeichnet das FTS erstmals aus: Fahrerlose Transportsysteme sind verlässliche, probate Mittel der Intralogistik. Die Hersteller bedienen sich aus einem Füllhorn von bewährten Technologien, die sie zu betriebssicheren, leistungsstarken und anerkannten Produkten kombinieren.

Fortschritte in der Materialfluss- und Lagertechnik, verbesserte Produktionsmethoden im Maschinenbau und neue Trends in Montagetechniken unterstützen die FTS-Entwicklung. Aber auch die fortschreitenden Rechner- und Sensortechniken bringen weitere wesentliche Fortschritte in der Fahrzeug- und Steuerungstechnik und in den Anwendungsbereichen:

- Fahrzeuge mit erhöhter Geschwindigkeit beim Fahren, Rangieren, Lasthandling dank verbesserter Sensorik,
- Low-Cost Fahrzeuge, oder besser: einfache Lösungen,
- Alternative Energiekonzepte mit induktiver Energieübertragung,
- Neue Navigationsverfahren (Magnetpunkt, Laser, Transponder, Gebäudenavigation),
- Siegeszug des PCs – im Fahrzeug, in der Anlagensteuerung und in der intelligenten Sensorik,
- Datenübertragung jetzt meist per WLAN.

---

<sup>5</sup>James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos: The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production. Verlag: HarperPaperbacks; Auflage: Reprint (1. November 1991).

- Neue Funktionsbereiche, wie z. B. die Bedienung eines Blocklagers, in der Kommissionierung, in der „fraktalen Fabrik“ (schlanke Produktion) oder im Krankenhaus.

Grundsätzlich gilt, dass jegliches Stückgut mit FTF transportiert werden kann. Alle Betriebe, in denen Paletten, Behälter, Container, Rollen, Pakete o. Ä. transportiert werden, können generell FTS einsetzen. So haben sich seit Mitte der 1990er-Jahre bis heute mehr und mehr Branchen auf das FTS eingelassen, aber im Gegensatz zur Automobilindustrie in der zweiten Epoche, immer mit Bedacht und meist mit Erfolg.

Der Umgang mit Gütern hat sich von dem ursprünglich unilateralen Transport zu einem mehrdimensionalen Verbringen gewandelt, denn die Fahrzeuge verfügen jetzt über Einrichtungen, mit denen sie Güter praktisch von jedem an jeden Ort im Lager oder der Fertigung bewegen können. Darüber hinaus können sie die Güter für die Montage bedarfsgerecht und ergonomisch positionieren. Es entstehen komplexe Verkehrsnetze mit einer Vielzahl von Fahrzeugen und sich kreuzenden Fahrstrecken und einer immer weiter wachsenden Anzahl von Lastübergabestationen.

In Japan wurden, den Kaizen-Prinzipien folgend, vorhandene Bereitstellregale an den Produktionslinien in automatische Logistikeinheiten umgewandelt. Hierfür wurde ein modularer FTS-Baukasten entwickelt, der alle notwendigen Elemente einer einfachen Magnetspurführung bis hin zur Steuerung in einer geschlossenen Einheit vereinte.

Weltweit entsteht mit der Kliniklogistik ein neuer Markt für das FTS, der immer interessanter wird, weil die bis dato eingesetzten AWT-Anlagen – wie z. B. die EHB oder noch vorher die P&F-Anlagen – mehr oder weniger/früher oder später durch das FTS abgelöst werden.<sup>6</sup>

Die Technik und die Anwendungen während dieser Epoche werden das Thema in den folgenden Abschnitten sein, weshalb wir uns hier kurzfassen können. Wichtig ist eine Übersicht, welche FTS-Hersteller heute eine gewichtige Rolle spielen und wo sie ihre Wurzeln haben. Deshalb sind in Tab. 1.1 relevante europäische Anbieter des FTS-Marktes aufgeführt und gibt Tab. 1.2 einen Überblick über die wichtigsten Stationen des mitteleuropäischen Marktes.

Schließlich soll nicht unerwähnt bleiben, dass sich neben den genannten Industrieunternehmen auch Forschungseinrichtungen, z. B. Universitätslehrstühle und Fraunhofer-Institute, mit dem Thema FTS beschäftigt haben. Dabei standen vor allem ausgewählte und anspruchsvolle Problemstellungen aus dem Bereich der Navigation, der Steuer- und Regelungstechnik oder der Online-Bahnplanung im Fokus. Auch entstanden innovative Lösungen, die manchmal ihrer Zeit weit voraus waren, beispielhaft seien hier der erste Industrieroboter auf einer mobilen Plattform („MobiRob“ der Uni Duisburg), der erste Serviceroboter („Care-O-bot“ des Fraunhofer IPA) oder die dezentrale Selbst-Organisation einer größeren Gruppe autonomer Fahrzeuge („FTS-Schwarm“ des Fraunhofer IML) genannt (Abb. 1.9 und 1.10).

<sup>6</sup>Abkürzungen: AWT – Automatisches Warentransportsystem; EHB – Einschienenhängebahn; P&F – Power and Free (Kettenförderer).

**Tab. 1.1** Relevante mitteleuropäische Firmen der FTS-Branche

Kürzel	Name	Beschreibung
AGILOX	Agilox Systems GmbH, A – Vorchdorf <a href="http://www.agilox.net">www.agilox.net</a>	FTS-Hersteller
ASTI	ASTI Mobile Robots, E – Burgos <a href="http://www.asti.es">www.asti.es</a>	FTS-Hersteller
BÄR	BÄR Automation GmbH, D – Gemmingen <a href="http://www.baer-automation.de">www.baer-automation.de</a>	FTS-Hersteller, insbes. Sonder-Fahrzeuge zur Montage-Automatisierung, im Forum-FTS
BITO	BITO-Lagertechnik Bittmann GmbH, D – Meisenheim <a href="http://www.bitto.com">www.bitto.com</a>	FTS-Hersteller („Leo Locative“)
BlueBotics	BlueBotics SA, CH – St. Sulpice <a href="http://www.bluebotics.de">www.bluebotics.de</a>	Anbieter von Steuerungs- und Navigationssystemen für FTF, im Forum-FTS
CREFORM	CREFORM Technik GmbH, D – Baunatal <a href="http://www.creform.de">www.creform.de</a>	FTS-Hersteller, im Forum-FTS
dpm	Daum+Partner Maschinenbau GmbH, D – Aichstetten <a href="http://www.daumundpartner.de">www.daumundpartner.de</a>	FTS-Hersteller, im Forum-FTS
Dematic	Dematic GmbH, D – Bremen <a href="http://www.dematic.com">www.dematic.com</a>	Logistik-Systemanbieter, FTS-Hersteller, im Forum-FTS
DS-A	DS AUTOMOTION GmbH, AT – Linz <a href="http://www.ds-automation.com">www.ds-automation.com</a>	FTS-Hersteller, im Forum-FTS
ELETRIC80	Elettric80 S.P.A., I – Viano <a href="http://www.elettric80.com">www.elettric80.com</a>	FTS-Hersteller
E&K	E&K Automation GmbH, D – Rosengarten <a href="http://www.ek-automation.com">www.ek-automation.com</a>	FTS-Hersteller, im Forum-FTS
FOX	Abteilung FOX der Götting KG, D – Lehrte <a href="http://www.goetting.de/fox">www.goetting.de/fox</a>	Abteilung der Götting KG, die Nutzfahrzeuge für den Außenbereich automatisiert
Götting	Götting KG, D – Lehrte <a href="http://www.goetting.de">www.goetting.de</a>	Komponenten- und FTF-Zubehörhersteller, im Forum-FTS

(Fortsetzung)

**Tab. 1.1** (Fortsetzung)

Kürzel	Name	Beschreibung
Grenzebach	Grenzebach Maschinenbau GmbH, D – Asbach-Bäumenheim <a href="http://www.grenzebach.com/de/produkte-maerkte/intralogistik/">www.grenzebach.com/de/produkte-maerkte/intralogistik/</a>	Logistik-Systemanbieter, FTS-Hersteller, im Forum-FTS
Guidance Automation	Guidance Automation Ltd., UK – Leicester <a href="http://www.guidanceautomation.com">www.guidanceautomation.com</a>	Anbieter von Steuerungs- und Navigationssystemen für FTF
InSystems	InSystems Automation GmbH, D – Berlin <a href="http://www.insystems.de">www.insystems.de</a>	FTS-Hersteller
Jungheinrich	Jungheinrich Moosburg AG & Co. KG, D – Moosburg <a href="http://www.jungheinrich.de/systeme/fahrerlose-transportfahrzeuge">www.jungheinrich.de/systeme/fahrerlose-transportfahrzeuge</a>	Logistik-Systemanbieter, Flurförderzeughersteller, bietet FTS auf Basis der (eigenen) automatisierten Serien-Fahrzeuge an, im Forum-FTS
Knapp	Knapp AG, A – Hart bei Graz <a href="http://www.knapp.com">www.knapp.com</a>	Logistik-Systemanbieter, FTS-Hersteller
KUKA	KUKA AG, D – Augsburg <a href="http://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/mobilitaet">www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/mobilitaet</a>	Anbieter von mobilen Roboterplattformen und FTF-Navigationslösungen
Leuze	Leuze electronic GmbH + Co. KG, D – Owen <a href="http://www.leuze.de">www.leuze.de</a>	Lieferant von Sicherheitskomponenten und -Systemen, im Forum-FTS
Linde MH	Linde Material Handling GmbH, D – Aschaffenburg <a href="http://www.linde-mh.de">www.linde-mh.de</a>	Logistik-Systemanbieter, Flurförderzeughersteller, bietet FTS auf Basis der (eigenen) automatisierten Serien-Fahrzeuge an
Magazino	Magazino GmbH, D – München <a href="http://www.magazino.eu">www.magazino.eu</a>	Hersteller von mobilen Robotern für die Kommissionierung
MIR	Mobile Industrial Robots A/S, DK – Odense <a href="http://www.mobile-industrial-robots.com">www.mobile-industrial-robots.com</a>	FTS-Hersteller
MLR System	MLR System GmbH, D – Ludwigsburg <a href="http://www.mlr.de">www.mlr.de</a>	FTS-Hersteller, im Forum-FTS
Navitec	Navitec Systems Oy, FI – Espoo <a href="http://www.navitecsystems.com">www.navitecsystems.com</a>	Anbieter von FTF-Navigationssystemen und Transportleitsystem-Software für FTS

(Fortsetzung)

**Tab. 1.1** (Fortsetzung)

Kürzel	Name	Beschreibung
Oceaneering	Oceaneering AGV Systems GmbH, D – Leinfelden-Echterdingen <a href="http://www.oceaneering.com/AGV">www.oceaneering.com/AGV</a>	FTS-Hersteller, im Forum-FTS
Rocla	Rocla OY, FI – Järvenpää <a href="http://www.rocla.com">www.rocla.com</a>	FTS-Hersteller, im Forum-FTS
Schabmüller	Schabmüller GmbH, D – Berching <a href="http://www.schabmueller.de">www.schabmueller.de</a>	Komponenten-Hersteller für Antriebs- und Lenkmotoren
SEW	SEW-Eurodrive GmbH & Co KG, D – Bruchsal <a href="http://www.sew-eurodrive.de">www.sew-eurodrive.de</a>	Komponenten- und Systemhersteller für Antriebs- und Energietechnik FTS-Hersteller
SICK	Sick AG, D – Waldkirch <a href="http://www.sick.com">www.sick.com</a>	Lieferant von Sicherheitskomponenten und -Systemen, im Forum-FTS
SimPlan	SimPlan Integrations GmbH, D – Witten <a href="http://www.simplan.de">www.simplan.de</a>	Dienstleister für Simulation und Emulation
SSI SCHÄFER	SSI Schäfer Automation GmbH, D – Giebelstadt <a href="http://www.ssi-schaefer.com">www.ssi-schaefer.com</a>	Logistik-Systemanbieter, FTS-Hersteller, im Forum-FTS
STILL	STILL GmbH, D – Hamburg <a href="http://www.still.de">www.still.de</a>	Logistik-Systemanbieter, Flurförderzeughersteller, bietet FTS auf Basis der (eigenen) automatisierten Serien-Fahrzeuge an
serva	Serva Transportation Systems GmbH, D – Rosenheim <a href="http://www.serva-ts.com">www.serva-ts.com</a>	FTS-Hersteller
swisslog	Swisslog Holding Ltd., CH – Buchs <a href="http://www.swisslog.com">www.swisslog.com</a>	Logistik-Systemanbieter, FTS-Hersteller, im Forum-FTS
TÜNKERS	Tünkers Maschinenbau GmbH, D – Ratingen <a href="http://www.tuenkers.de">www.tuenkers.de</a>	FTS-Hersteller, insbes. Montage- u. Sonder-Fahrzeuge
WFT	STÄUBLI WFT GmbH, D – Sulzbach-Rosenberg <a href="http://www.wft-gmbh.de">www.wft-gmbh.de</a>	FTS-Hersteller, insbes. Sonder-Fahrzeuge

**Tab. 1.2** Stationen der heutigen FTS-Hersteller, beschränkt auf den europäischen Markt

Jahr	FTS-Hersteller	Ereignis/Vorgeschichte.
1953	Alle	Die Firma Barrett beginnt in Amerika mit FTS.
1956	Alle	EMI stellt in England FTS her; 1973 begann man mit Kalmar in Schweden bei VOLVO mit FTS.
1962	E&K	Jungheinrich, Hamburg, beginnt mit FTS (Teletrak).
1963	E&K	Die Ernst Wagner KG, Reutlingen, startet die Entwicklung automatisch fahrender Fahrzeuge.
1969	Egemin	Egemin liefert das erste FTS, allerdings mit zugekauften Fahrzeugen.
1970	Swisslog	Teletift startet mit dem Transcar-FTS. Seit 1973 in Puchheim bei München.
1971	MLR	In Stuttgart entsteht die Babcock und Bosch Transport- und Lagersysteme in Stuttgart, später (1983) in Schwieberdingen. Keimzelle für FTS-Komponenten (Lenksteuerung und Leitsignalgenerator) war der Bereich „Bosch Transport- und Lagersysteme“ innerhalb der Robert Bosch GmbH, Stuttgart. Wagner baute anfänglich (bis 1971) diese Teile in seine Fahrzeuge und Anlagen ein. Später ging der Bereich an Babcock und dann an MLR.
1971	E&K	Die Ernst Wagner KG, Reutlingen, gründet den Bereich „Fahrerlose Transportsysteme“.
1973	E&K	Mannesmann übernimmt DEMAG. 1992 wird die Mannesmann Demag Fördertechnik AG, Wetter, gegründet. Die Wurzeln der Firma reichen bis 1910 zurück, als die Deutsche Maschinenfabrik AG (DeMAG) gegründet wurde. Parallel dazu entstand 1956 die Leo Gottwald KG, die Hafenkranen und später auch FTS im Hafenbereich bauen. In 2006 Zusammenführung der Demag Cranes & Components GmbH und Gottwald Port Technology GmbH (GPT) unter dem Dach der Demag Cranes AG, seit Jan. 2017 als Terex MHPS Teil der Konecranes, die heute noch FTF für den Einsatz im Containerhafen herstellen.
1974	MLR	Namenwechsel von Babcock und Bosch Transport- und Lagersysteme nach Babcock Transport- und Lagersysteme, weil Babcock 100 % der Geschäftsanteile übernimmt.
1980	MLR	Die Pohling-Heckel-Bleichert AG in Köln übernimmt den Bereich Transport- und Lagersysteme von Babcock. Das Unternehmen heißt fortan PHB Transport- und Lagersysteme.
1980	E&K	Die Herren Eilers & Kirf gründen ein Ingenieurbüro für Steuerungstechnik und sind seit 1988 Systempartner von Jungheinrich.
1983	Rocla	Rocla beginnt in Finnland mit FTS.
1984	FROG	FROG beginnt in NL; zunächst als Frog Navigation Systems. 2007 dann Neuanfang als FROG AGV Systems.
1984	DS-A	Der österreichische Mischkonzern Voest Alpine AG beginnt mit FTS. 1991 wird nach einer Umstrukturierung der FTS-Teil der neu gegründeten VA Technologie AG zugeordnet.

(Fortsetzung)

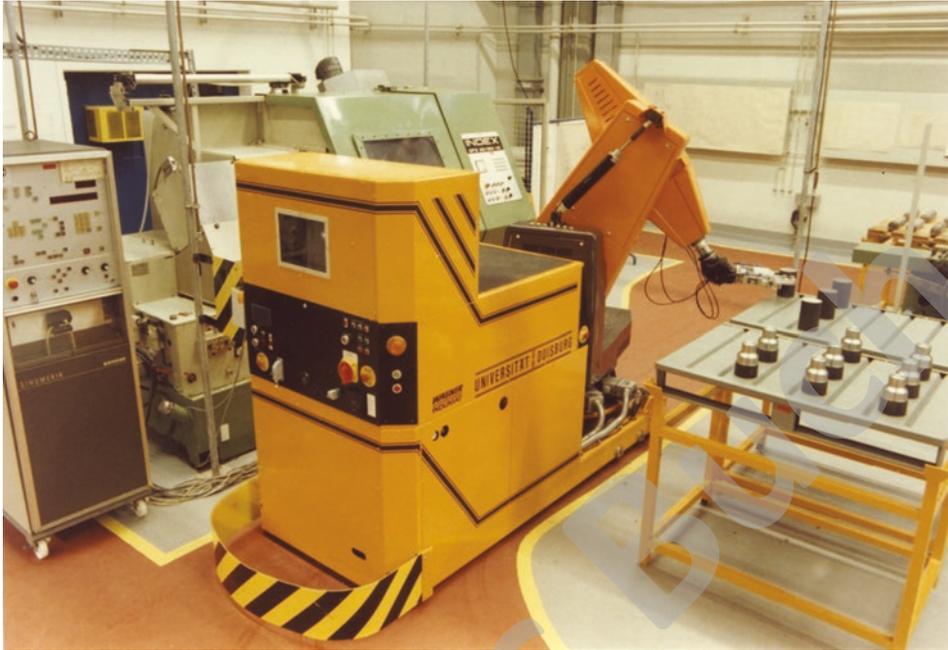
**Tab. 1.2** (Fortsetzung)

Jahr	FTS- Hersteller	Ereignis/Vorgeschichte.
1985	MLR	Die PHB Transport- und Lagersysteme übernimmt die MAFI Transport-Systeme und ein Jahr später die Trepel GmbH, Wiesbaden. Außerdem Bildung der Holding PHB Gesellschaft für Industriebeteiligungen; darin die Firmen PHB Transport- und Lagersysteme, Eisgruber, Mafi, Trepel und BBT.
1986	E&K	Fa. Linde beteiligt sich in zwei Schritten (1986 und 1988) an der Wagner Fördertechnik, mit der kompletten Übernahme 1991 wird der Bereich der Fahrerlosen Transportsysteme als eigenständiges Unternehmen INDUMAT ausgegründet.
1989	Swisslog	Thyssen Aufzüge übernimmt die Telelift.
1990	MLR	Noell, Würzburg übernimmt die FTS-Aktivitäten der PHB Gruppe. Name: Noell, Niederlassung Schwieberdingen. Noell gehörte zur Preussag-Salzgitter-Gruppe.
1993	MLR	Noell übernimmt die Firma Autonome Roboter, Hamburg und 1994 die Schoeller Transportautomation, Herzogenrath.
1993	E&K	Die FTS-Aktivitäten von Mannesmann Demag und Jungheinrich gehen über in die Demag-Jungheinrich FTS GmbH, Hamburg.
1994	DS-A	Unter der VA Technologie AG wird die TMS Transport- und Montagesysteme GmbH gegründet, die u. a. die FTS-Aktivitäten fortführt.
1996	E&K	Eilers & Kirf übernimmt die Demag-Jungheinrich FTS GmbH.
1997	MLR	MLR übernimmt den Bereich Fahrerlose Transportsysteme von Preussag/Noell.
1999	Swisslog	Swisslog übernimmt die Telelift von Thyssen Aufzüge. Swisslog entstand aus der ehemaligen Sprecher & Schuh AG (seit 1898 in CH-Aarau).
1999	CREFORM	Gründung der CREFORM Technik GmbH Germany, Tochter der Yazaki Industrial Chemical Co. (Shizuoka, Japan) und deren US-Tochter CREFORM Corporation (Greer, USA), Ziel: Vermarktung einfacher, flexibler, Material-Handling-Systeme (der modulare FTS-Baukasten).
2000	Fox	Die Firma Götting KG gründet das eigenständige Tochterunternehmen Fox, das Serien-Nutzfahrzeuge, z. B. Lkw und Radlader automatisiert.
2000	Egemin	Egemin beginnt mit dem Bau eigener Fahrzeuge.
2001	E&K	E&K übernimmt INDUMAT von Linde.
2001	DS-A	Die VA Technologie AG veräußert die TMS-Gruppe an den französischen Mischkonzern VINCI. Dort wird 2002 die TMS Automotion GmbH zur Fortführung des FTS-Geschäfts gegründet.
2001	BlueBotics	BlueBotics SA wird in der Schweiz gegründet, bietet FTF-Herstellern mit „ANT“ (Autonomous Navigation Technology) eine lizenzierbare Software für Umgebungsnavigation.
2004	Snox	Die Snox Engineering Group (Frankreich, Belgien) startet das FTS-Geschäft.
2005	DS-A	HK Automotion, Österreich übernimmt die gesamte TMS-Gruppe; 2008 dann Namensänderung zu DS AUTOMOTION.

(Fortsetzung)

**Tab. 1.2** (Fortsetzung)

Jahr	FTS- Hersteller	Ereignis/Vorgeschichte.
2007	BÄR	BÄR Automation (gegr. 1972) startet FTS-Aktivitäten, entwickelt und baut kundenspezifische Lösungen für automatisierte Montagelinien.
2008	Götting	Die Aktivitäten der Fox GmbH werden von der Muttergesellschaft als Abteilung weitergeführt.
2008	MT Robot	Gründung der MT Robot AG in Zwingen, CH.
2008	Rocla	Rocla wird Teil der Mitsubishi Caterpillar Forklift Europe
2012	Swisslog	Die Swisslog Healthcare Solutions schließt sich in der Krankenhauslogistik mit der JBT Corporation aus Chicago (USA) zusammen, entledigt sich des Namens Telelift und fokussiert ihre Aktivitäten in D-Westerstede. Trennung von der Produktparte Kleinförderanlagen und dem zugehörigen Markennamen Telelift.
2012	Swisslog/ Grenzebach	Grenzebach-Gruppe beteiligt sich mit 11,3 % an der Swisslog Holding.
2013	Grenzebach/ Snox	Übernahme von Snox durch die Grenzebach Maschinenbau GmbH.
seit ca. 2014	Jungheinrich, STILL, Linde	Die großen deutschen Flurförderzeug-Hersteller steigen nach langen Jahren der Abstinenz wieder ins FTS-Geschäft ein.
2014	FROG	Übernahme von FROG durch Oceaneering.
2014	KUKA/ Swisslog	Übernahme der Swisslog Holding durch die KUKA AG.
2014	SSI Schäfer	SSI Schäfer entwickelt erstes eigenes FTF für den Transport von Behältern (KLT)/Kartons mit niedrigem Gewicht („WEASEL“).
2015	BITO	BITO stellt Low-Cost-FTF „Leo Locative“ für KLT-Transport vor, das gemeinsam mit dem Fraunhofer IML entwickelt wurde
2015	Swisslog/ Grenzebach	Swisslog übernimmt Teile der FTS-Aktivitäten von der Grenzebach-Gruppe.
2015	Magazino	Magazino GmbH entsteht als Ausgründung der TU München Ziel: mobile Kommissionierroboter, „Roboter zur Ware“ 2015 Beteiligung der SIEMENS AG; Gewinner mehrerer Logistik-Preise in den Folgejahren.
2015	ROFA/MLR	ROFA Industrial Automation AG mit Sitz in Kolbermoor übernimmt MLR System.
2015	SSI/MoTuM	SSI Schäfer erwirbt Mehrheitsbeteiligung am belgischen FTS-Hersteller MoTuM.
2015	Linde MH/ Balyo	Linde und der französische FTS-Hersteller Balyo beschließen strategische Kooperation.
2016	Dematic/NDC	Dematic übernimmt NDC Automation (FTS-Hersteller in Australien).
2016	Dematic/ Egemin	Dematic übernimmt Egemin und wird zum weltweit größten FTS-Hersteller.
2016	KION/ Dematic	KION Group übernimmt Dematic.
2018	SSI/DS-A	SSI beteiligt sich an DS AUTOMOTION.



**Abb. 1.9** Der weltweit erste mobile Industrieroboter MOBIROB. (Quelle: Universität Duisburg, Fachgebiet Fertigungstechnik, Prof. Dr.-Ing. D. Elbracht, 1985)



**Abb. 1.10** Zellulare Fördertechnik/„FTS-Schwarm“ in der Versuchshalle des Fraunhofer IML in Dortmund (2011)

Das Fazit zum Ende der dritten FTS-Epoche am Übergang zur aktuellen vierten Epoche sieht wie folgt aus: Die Umsetzung von Kundenforderungen hat eine Fülle von Systemauslegungen hervorgebracht. In gleichem Maße sind die Ansprüche der Kunden mitgewachsen. Mit dem erweiterten Anwendungsspektrum und der technischen Entwicklung ist auch die Komplexität der Systeme gestiegen.

Nun dürfen mit zunehmender Komplexität die Systemkosten nicht ebenfalls steigen. Der Kunde erwartet, ähnlich wie im Markt für Consumer-Produkte (PC/Laptop, Handy, Fernseher etc.), dass Leistungsverbesserungen ohne Preiserhöhungen realisiert und angeboten werden. Der Optimierungserfolg durch automatisierte Systeme liegt heute im gut aufeinander abgestimmten Mix unterschiedlicher Transportmittel und Automatisierungsgrade. Die Hersteller können dabei auf ihre langjährige Planungserfahrung und erprobte Technologien zurückgreifen.

---

## 1.4 Die vierte Epoche – Das FTS erweitert den Wirkungskreis

Die vierte Epoche des FTS ist nicht in allen Belangen neu: Die Inhalte der dritten Epoche – Technik und Basis-Anwendungen in der Intralogistik – bleiben aktuell und wird es auch weiterhin geben, es kommen aber neue technische Möglichkeiten und Funktionalitäten und damit neue Anwendungen, aber auch Herausforderungen hinzu. Diese neue Epoche wird die alte erstmals nicht komplett verdrängen, sondern auf deren Errungenschaften aufbauen. Also: die Anwendungen und technischen Lösungen, die in der dritten Epoche gut waren, sind es heute auch noch!

Wenn das klassische FTS gemäß Definition und gelebter Praxis ausschließlich für den innerbetrieblichen Materialtransport eingesetzt wurde, so übernehmen automatische Fahrzeuge heute weitere Aufgaben, die als Dienstleistung oder Service für Menschen – insbesondere auch außerhalb einer Industrieumgebung – bezeichnet werden können: Auskunft geben im Museum, Koffertransport im Hotel oder Flughafen, Bodenreinigung in Supermärkten, Flughafen- oder Bahnhofshallen, Security innerhalb von Gebäuden während der Nachtstunden oder auch „Handreichungen“ und Hilfestellungen im Krankenhaus oder in einer Altenpflegeeinrichtung. Für die letztgenannte Einsatzumgebung gibt es in Verbindung mit menschenähnlich aussehenden mobilen Robotern, insbesondere in Japan bereits zahlreiche Anwendungsbeispiele. Diese Systeme „arbeiten“ sehr nah am und zusammen mit Menschen, denen sie beispielsweise vorlesen, mit ihnen einfache Unterhaltungen führen, Hilfestellung geben beim Aufstehen oder auch Hilfe holen im Falle eines Sturzes oder plötzlich auftretenden gesundheitlichen Problemen.

Man kann sich leicht vorstellen, dass sich aus den Herausforderungen, denen sich automatische Fahrzeuge dieser neuen Generation stellen müssen und die sich insbesondere aus ihrer unmittelbaren Nähe und „Zusammenarbeit“ mit Menschen ableiten, neue Lösungen ergeben, die auch für FTS in Industrieumgebungen interessant sind und etliche neue oder zumindest verbesserte Anwendungen erlauben.



# WIR GESTALTEN ZUKUNFT!

## Materialflusstechnik und Intralogistiksysteme analog und digital

Die Linde Material Handling GmbH, ein Unternehmen der KION Group, ist ein weltweit führender Hersteller von Gabelstaplern und Lagertechnikgeräten sowie Anbieter von Dienstleistungen und Lösungen für die Intralogistik. Mit einem Vertriebs- und Servicenetzwerk in mehr als 100 Ländern ist das Unternehmen in allen wichtigen Regionen der Welt vertreten.

Für seine Kunden entwickelt Linde Lösungen entlang der gesamten Materialflusskette. Neben „Stahl und Eisen“ zunehmend Software für das Flottenmanagement, Automatisierungslösungen,

Fahrerassistenzsysteme sowie mobile Apps zur Lokalisierung von Fahrzeugen oder für den Customer Service.

Das Fahrzeugangebot umfasst 80 Baureihen und 6.000 Ausstattungsvarianten. Auf Basis dieses Baukastensystems fertigt Linde für jeden Anwender die exakt auf seine Anforderungen zugeschnittenen Fahrzeuge und Flotten. Individuelle Erweiterungen, sogenannte „Customized Options“, machen rund 45 Prozent der Aufträge bei Linde aus.

→ [www.linde-mh.de](http://www.linde-mh.de)

Damit sind die Schwerpunkte für die folgenden Seiten gesetzt. Es geht um neue und alte Märkte sowie um die funktionalen Herausforderungen der vierten Epoche. Beschrieben wird die Gegenwart, einen Blick in die nähere Zukunft, die ja auch noch zur vierten Epoche gehört, wagen wir dann im Kap. 4. Dabei werden wir aus Platzgründen und um den Fokus nicht zu verlieren den großen und schnell wachsenden Markt der Consumer-Produkte, z. B. Staubsauger- und Mähroboter für den privaten Gebrauch, nicht näher betrachten.

### 1.4.1 Neue Märkte

Unter neuen Märkten wollen wir Anwendungen des automatischen Fahrens außerhalb der klassischen Intralogistik in Industrieumgebungen verstehen, also in halb-öffentlichen, öffentlichen oder sogar privaten Bereichen. Ein sehr anschauliches Beispiel hierfür sind Fahrerlose Transportsysteme, die in der Kliniklogistik (sog. Healthcare-Bereich) eingesetzt werden, da der abgegrenzte Bereich „Keller/Logistikebene“ mit eingewiesenem Personal und klassischer FTS-Technik und der halb-öffentliche Bereich „Krankenstation“ mit Patienten und Besuchern hier nur wenige Zentimeter, nämlich eine Aufzugkabinentür-Dicke auseinander liegen: Sobald ein FTF, mit dem Lastenaufzug aus dem Keller kommend, zur Anlieferung oder zum Abholen eines Transportbehälters die Aufzugkabine verlässt und in den öffentlich zugänglichen Bereich einer Krankenstation einfährt, trifft es dort auf „betriebsfremde Personen“, was die technische, organisatorische und rechtliche Sachlage fundamental verändert.

Begegnet das klassische FTF im industriellen Umfeld üblicherweise geschulten, erwachsenen und gesunden Mitarbeitern, die einen kooperativen Umgang mit den Fahrzeugen pflegen, so sieht das im Krankenhaus oder allgemeiner im öffentlichen Bereich anders aus. Hier ist mit nicht-ingewiesenen Personen, mit Patienten, mit Besuchern jeden Alters, auch mit spielenden Kindern etc. zu rechnen. Diese Personengruppe – sie sind keine Nutzer oder Anwender, sondern treffen die Fahrzeuge mehr oder weniger unverhofft an – findet sich auch in anderen Bereichen des öffentlichen Lebens, wie z. B. im Supermarkt, im Baumarkt, in einer Bibliothek, in einem Museum oder in einem Freizeitpark. Von Erschrecken über Neugier bis zu destruktiver Ablehnung muss hier mit allen Reaktionen gerechnet werden, d. h. ein Fahrzeug muss mit all dem klarkommen bzw. seine Programmierer müssen für all dies Verhaltensweisen und Lösungsstrategien entwickelt und eingebaut haben.

Serviceroboter (SR), die es prinzipiell, wenn auch in sehr begrenzter Stückzahl, schon lange gibt, mussten sich immer schon in solchen Bereichen und Situationen zurechtfinden. Bisher hatten das FTS und die Servicerobotik allerdings kaum Berührungspunkte. Heute haben sich diese Produktbereiche vermischt und es hat sich eine neue Gattung von automatischen Fahrzeugen gebildet, ausgedrückt durch die einfache Formel:

$$\text{FTS} + \text{SR} = \text{STS}$$



JE HELLER DER KOPF\*, UMSO BRILLANTER DIE IDEE.

THIS IS **SICK**

Sensor Intelligence.



Sie leben digitale Zukunft, wir leben intelligente Sensorkonzepte. Gemeinsam gestalten wir weltweit Industrie 4.0. Ihre Karriere: anspruchsvoll, abwechslungsreich und mit besten persönlichen Entwicklungschancen. Ihr Umfeld: hochprofessionell, international und inspirierend. Ihr neuer Arbeitgeber: ein Technologie- und Marktführer mit weltweit knapp 10.000 Mitarbeitenden. Ihre Zukunftsadresse: [sick.com/karriere](https://sick.com/karriere)

\*Der Mensch zählt, nicht das Geschlecht.

Wir setzen auf Vielfalt, lehnen Diskriminierung ab und denken nicht in Kategorien wie etwa Geschlecht, ethnische Herkunft, Religion, Behinderung, Alter oder sexuelle Identität.

Kreuzt man das klassische FTS mit der Servicerobotik, so entstehen die Service- und Transportsysteme (STS). STS sind also Fahrerlose Fahrzeuge, die nicht nur transportieren, sondern vielfältige Serviceaufgaben übernehmen können oder – aus Sicht der Roboter – Serviceroboter mit Transportfunktion. Typische Beispiele zeigen die folgenden Bilder: Fahrzeuge, die im Krankenhaus, im Pflegeheim oder im Hotel verschiedenste Aufgaben übernehmen können, beispielsweise Essenverteilung, Hol- und Bringdienste für Medikamente, Getränke oder Dokumente, Kofferkuli und Wegweiser; in Supermärkten können sie helfen, bestimmte Produkte zu finden (Abb. 1.11 und 1.12).

Aus der FTS-Welt hat das neue Produkt von Maschinenbaukenntnissen profitiert und kann sich bewegen und Material tragen. Die Serviceroboter-Gene haben für das intelligente MEHR gesorgt:

- Mehr Technik in der Objekterkennung: 3D-Sensorik, Sensorfusion
- Mehr Technik in der Navigation: verbesserte Umgebungsnavigation, 3D-Karten
- Mehr Flexibilität (Einfachheit, Verständlichkeit) bei Inbetriebnahme/Änderungen
- Mehr „Autonomie“: selbstständiges Entscheiden, z. B. dynamisches Ausweichen
- Mehr Servicefreundlichkeit (Auskunftsfreudigkeit von Kernkomponenten)
- Mehr Varianten bei der Energieversorgung: Lithium-Ionen-Technik, kontaktloses Laden



**Abb. 1.11** Aktuelle Version des Care-O-bot, Anwendung: Kunden in einem Elektronik-Fachmarkt mit Produktinformationen versorgen/zum gesuchten Produkt führen. (Quelle: mojin robotics)



**Abb. 1.12** Drei der ersten STS-Produkte am Markt: Einsatz im Klinikum, Altenheim oder Hotel. (Quelle: links: MT-Robot, mittig: MLR rechts: Cleanfix/BlueBotics)



**Abb. 1.13** Reinigungsroboter beim Einsatz im Supermarkt. (Quelle: Nilfisk)

Der Reinigungsroboter ist dafür ein gutes Beispiel. Bodenreinigungsaufgaben gibt es sowohl in öffentlich zugänglichen Bereichen als auch in der Industrie. Abb. 1.13 zeigt einen automatisch arbeitenden Reinigungsroboter zur Nassreinigung des Fußbodens in einem Supermarkt, er könnte selbstverständlich auch in einer Lager- oder Produktionshalle zum Einsatz kommen. In beiden Einsatzumgebungen ist die Anforderung an den Betrieb ziemlich ähnlich: in möglichst kurzer Zeit soll „überall“, also jede erreichbare Fußbodenfläche, gesäubert werden, ohne dabei Abschnitte (unbeabsichtigt) mehrfach zu befahren. Selbstredend dürfen durch die Maschine keine Personen bedrängt, berührt oder gar verletzt werden. Im öffentlichen Raum muss im Vergleich zur Industrieumgebung allerdings mit erheblich mehr Störeinflüssen gerechnet werden, da z. B. zu erwarten ist,

dass technikaffine Kinder und Jugendliche die Grenzen des Systems ausloten werden und ausprobieren wollen: Was passiert, wenn ich mich oder einen Einkaufswagen in den Weg stelle, das Gerät in eine Ecke treibe, einen der vielen Knöpfe drücke usw.

Und dies wird vermutlich nicht nur einmal geschehen, wenn das Gerät neu ist und erstmals in Aktion entdeckt wird (wie es im industriellen Umfeld üblich ist), sondern immer wieder mit anderen Personen/Kunden. Selbst wenn der Reinigungsroboter all diese Herausforderungen meistert, ist zumindest eine im Vergleich zum Industrieinsatz reduzierte Leistung, gemessen in gereinigter Fläche pro Zeit, zu erwarten. Damit erkennen wir einen entscheidenden Unterschied zwischen dem Einsatz eines FTS in einer Intralogistik-Anwendung und einem STS im öffentlichen Bereich: Das FTS muss planbare und verlässliche Leistung bringen, so muss für jeden einzelnen Transport die vorgegebene Ausführungszeit genau eingehalten werden. Das – vielleicht autonom agierende – STS kann diese Verlässlichkeit nicht bieten.

Aber auch in reinen Industrieumgebungen gibt es neue Anwendungsfelder und damit neue Märkte für automatische Fahrzeuge. Beispielhaft seien hier mobile Roboter zum Kommissionieren genannt und stellvertretend für mehrere Anbieter das Münchner Start-Up Magazino (s. a. Tab. 1.2). Der mobile Roboter „TORU“ macht und kann das, was der Logistiker unter dem Kommissionierprinzip „Person-zur-Ware“ versteht: Er fährt im Lager an Regalen entlang, hält an der richtigen Stelle an, greift in der richtigen Ebene an der richtigen Stelle die bestellte Ware und legt sie wahlweise in einem mitgeführten Regal ab oder in einen Behälter auf einem hinter ihm herfahrenden „normalen“ FTF. Für die präzise Navigation in den Regalgassen und für das exakte Greifen der – momentan noch quaderförmigen – Artikel sorgt ein 3D-Bildverarbeitungssystem. Selbstredend arbeitet dieser mobile Roboter sicher, denn er wird inzwischen in mehreren Kundenanlagen zusammen, also gleichzeitig und in derselben Lagergasse, mit menschlichen Kommissionierern erfolgreich eingesetzt (Abb. 1.14).

Ein letztes Beispiel beschreibt eigentlich eine klassische FTS-Anwendung, die aber aufgrund technischer Restriktionen bis jetzt nur eine ganz kleine Nische darstellt: Es gibt seit vielen Jahren FTF im Außeneinsatz, die sog. Outdoor-FTF – aber eben nur in sehr geringer Stückzahl. Die Gründe liegen vor allem im Problemfeld der Sicherheitstechnik,



**Abb. 1.14** Kommissionier-Roboter TORU. (Quelle: Magazino)

genauer der berührungslos arbeitenden Sicherheitssensorik, um die im Außeneinsatz gewünschten hohen Geschwindigkeiten (= hohe Transportleistung) zu erlauben. In diesem aus mehreren Gründen sehr anspruchsvollen Umfeld (Witterungseinflüsse, Fahrbahn mit schwankender Oberflächenqualität, hohe Fahrgeschwindigkeit, etc.), auch mit betriebsfremden Verkehrsteilnehmern in unmittelbarer Nähe/auf derselben Straße, entstehen momentan etliche Projekte, da es seit Ende 2018 für den Outdoor-Einsatz zertifizierte (Performance Level d) Sicherheitslaserscanner gibt. Anwendungen sind hier mehrheitlich Transporte großer und/oder schwerer Güter; die Lastaufnahme und Lastabgabe erfolgt dabei häufig nicht automatisch, sondern manuell, d. h. die Fahrzeuge werden mittels mannbedientem Stapler oder Kran be- und entladen.

### 1.4.2 Neue Funktionen und Technologien

Die neuen Funktionalitäten und damit die neuen Anwendungen sind möglich geworden durch Entwicklungen und Innovationen in verschiedenen Technologiefeldern:

- mehr Anbieter sowie mehr und preiswertere Produkte zur präzisen Vermessung/Erfassung von Umgebungsmerkmalen (Laserscanner, 2D- und 3D-Kameras, Radar)
- stark verbesserte Verfahren zur Umgebungsnavigation unter Nutzung der o. g. Sensorsysteme, die sog. Multi-Sensor-Fusion
- stark gesunkene Preise bei hochgenauen Differenzial GPS-Empfängern, kostenfreie RTK-GPS-Signale nahezu flächendeckend (in Deutschland) verfügbar
- Lithium-basierte Batterien in Verbindung mit kontaktlosem (induktivem) Laden
- Sensorsysteme und Software aus dem Automobilbereich: Fahrerassistenzsysteme

Auf den letztgenannten Aspekt wollen wir etwas detaillierter eingehen: Bereits heute sind moderne Pkw in der Lage, sich weitgehend automatisch zu bewegen und das auch bei hohen Geschwindigkeiten. Natürlich haben die Auto-Entwickler zweifelsfrei den Vorteil, Funktionen für die Sicherheit konzipieren zu dürfen, ohne die Sicherheit verantworten zu

**Tab. 1.3** Funktionen von autonomen Pkw, die auch für FTF benötigt werden

Bezeichnung	Beschreibung
Bilderkennung	Objekte (z. B. Verkehrszeichen), Personen, Kategorien, Situationen – auch unter ungünstigen optischen Bedingungen (Gegenlicht/Blendung, Dunkelheit)
Video-Erkennung	Interpretation von bewegten Bildern, Abläufen und Gesten – auch unter ungünstigen optischen Bedingungen (Gegenlicht/Blendung, Dunkelheit)
Rücksicht auf Verkehrsteilnehmer	Einschätzen von Geschwindigkeiten, Richtungen und Absichten – auch von „schwierigen“ Verkehrsteilnehmern (Radfahrer, Kinder, alkoholisierte Personen ...)
Geräusche	Erkennen und Lokalisieren

müssen. Denn verantwortlich ist im Auto momentan immer noch der Fahrer – und das wird wohl auch noch einige Zeit lang so bleiben. Unabhängig davon, wann die ersten autonomen, also ohne Fahrer sicher agierenden Pkw eine Straßenzulassung erhalten werden, gibt es aber etliche Anforderungen an diese Pkw, die von zukünftigen STS ebenfalls erfüllt werden müssen, diese sind in Tab. 1.3 zusammengefasst.

**Zusammenfassung und Ausblick** Das STS ist kleiner, wendiger und intelligenter als das klassische FTF, d. h. das STS kann ergänzend zu den bisherigen „großen“ FTS-Lösungen eingesetzt werden, um die Logistik-Automatisierung zu komplettieren – und das nicht nur im Inneneinsatz, sondern auch beim Einsatz unter freiem Himmel.

Für alle Einsatzfälle gilt: Die Eigenintelligenz der Fahrzeuge, man könnte es auch den Autonomiegrad nennen, wird zunehmen und die STS/FTF werden von den Entwicklungen bei den Fahrerassistenzsystemen und autonomen Pkw profitieren.

Das FTS war und ist eine faszinierende Technologie. „Roboterfahrzeuge“, die wie von Geisterhand geführt das Material bewegen, haben neben den rein technischen und wirtschaftlichen Aspekten immer auch eine emotionale Seite. Auch wenn wir Menschen uns immer mehr an automatisierte Systeme gewöhnen, so wird das FTS der vierten Epoche doch wesentlich intelligenter und leistungsfähiger als die der vorigen werden, sodass die Faszination der Fahrerlosen Transportsysteme auch in Zukunft erhalten bleibt – die Welt wird bunter!