

Günter Ullrich
Thomas Albrecht

Fahrerlose Transportsysteme

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

3. Auflage

 Springer Vieweg

Fahrerlose Transportsysteme

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.

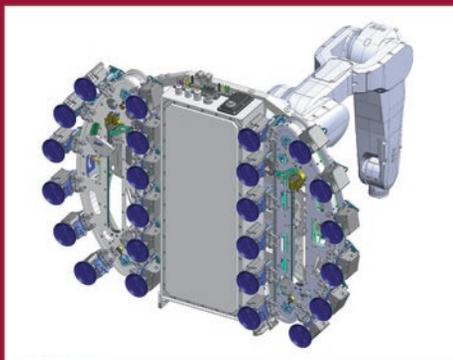


Bild 1: Ansicht von unten

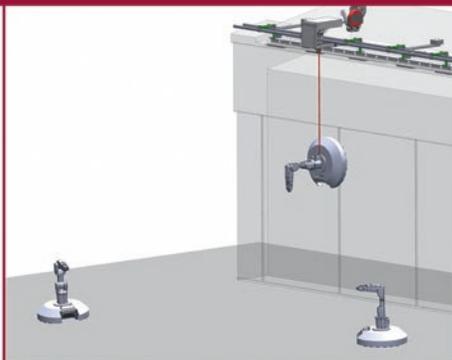


Bild 2: Roboter an der Wand (mit Sicherheitssystem) und am Boden.

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

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.



rocla-agv.com

LinkedIn [rocla-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/

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



- 

360°
Maximale Flexibilität
- 

Höchste Präzision
- 

Skalierbares System
- 

Autonome Navigation

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:

JUNGHEINRICH

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



Inhaltsverzeichnis

1	Geschichte der Fahrerlosen Transportsysteme	1
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
2	Technologische Standards	29
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

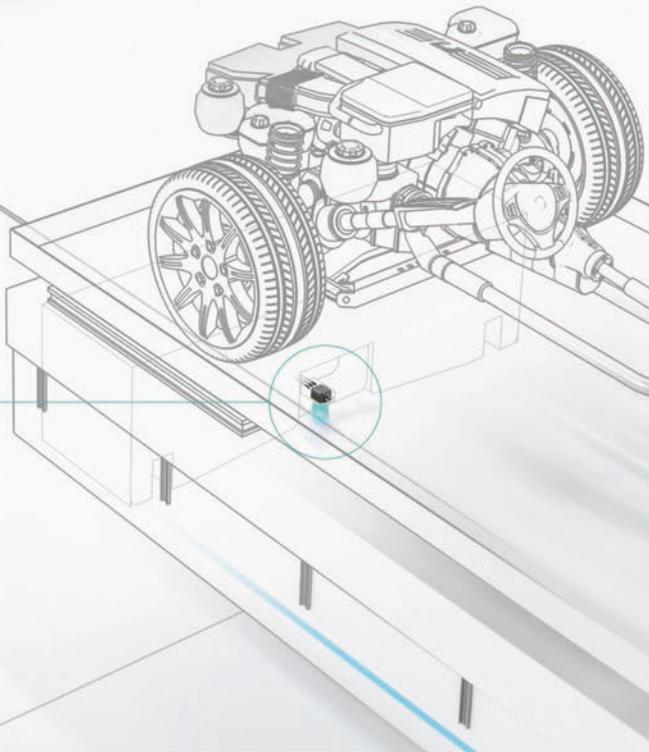
3	Anwendungsgebiete	119
3.1	Aufgabenbezogene Aspekte des FTS-Einsatzes	119
3.1.1	Das FTS in Produktion und Dienstleistung	120
3.1.2	FTS als Organisationsmittel	123
3.1.3	Argumente für den FTS-Einsatz	124
3.1.4	FTS im Taxibetrieb	126
3.1.5	Fließlinienbetrieb und der Fokus auf die Serienmontage	127
3.1.6	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
4	Die Zukunft des FTS	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
5	Die ganzheitliche FTS-Planung	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



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 · WWW.SMARTFORK.COM

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
	Stichwortverzeichnis	285

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.¹ 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

¹Die 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.

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



mehr über TORsten:
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 Manipulatormodule, 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!



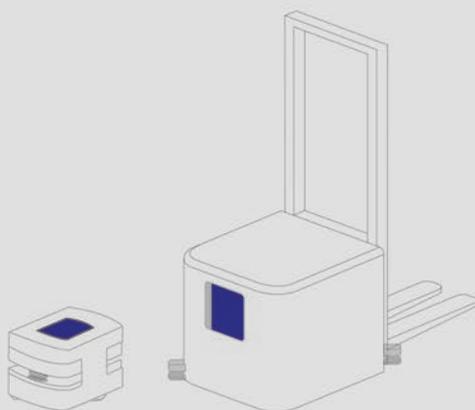
Erleben Sie die
Pilz Module in einer
Intralogistik: pilz.de/robo

BLUEBOTICS

Mobile Robots at Your Service

www.bluebotics.com - Switzerland

Do you need to automate or retrofit your vehicle?
Go for **ANT**[®], 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 übergangen (Abb. 1.1).

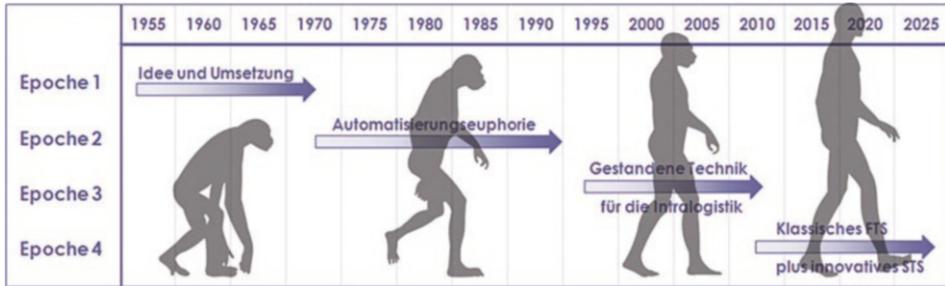


Abb. 1.1 Fahrerlose Transportsysteme entwickeln sich in und auf Evolutionsstufen (Epochen)

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

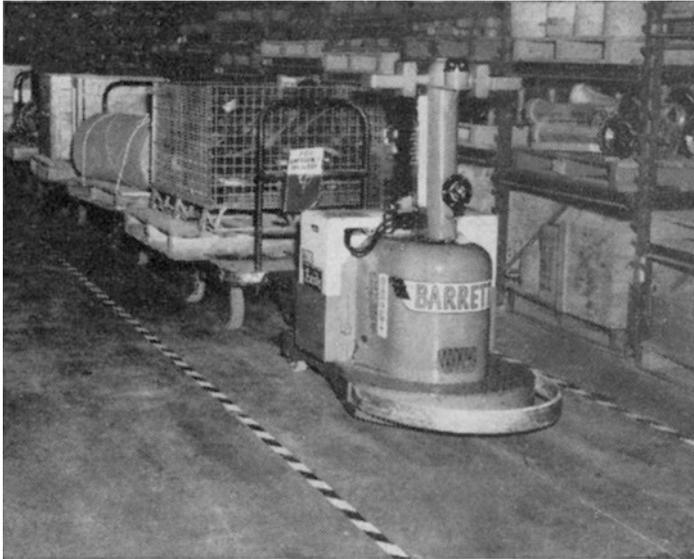


Abb. 1.2 Eines der ersten amerikanischen FTS, ab 1954 gebaut als Zugmaschine für fünf Anhänger. (Quelle: Barrett-Cravens/Savant Automation, 1958)

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 Fahrtstrecken, 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.

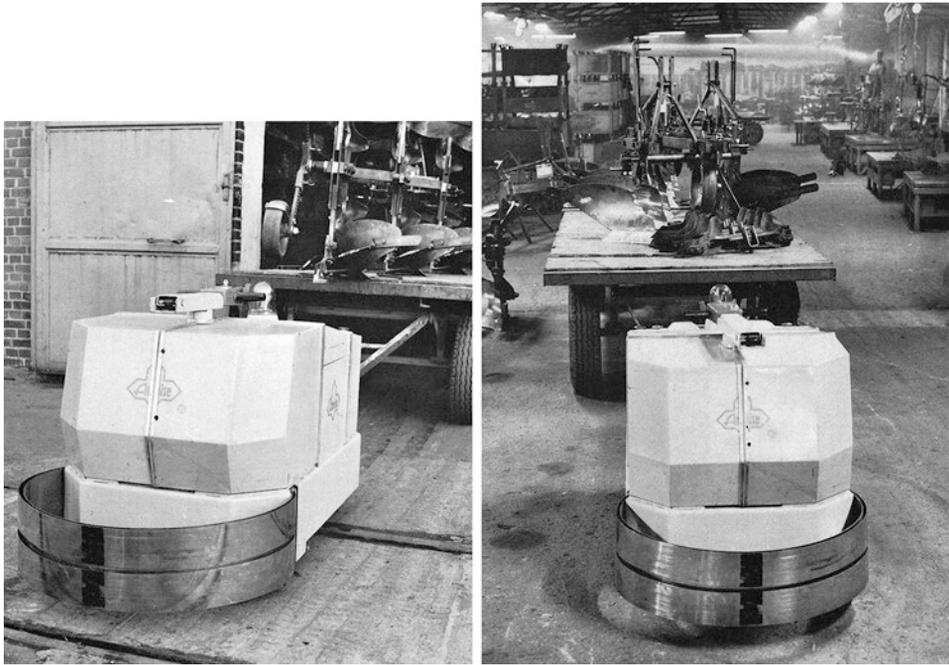


Abb. 1.4 Ameise/Teletrak mit Anhängern. (Quelle: E&K)

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.

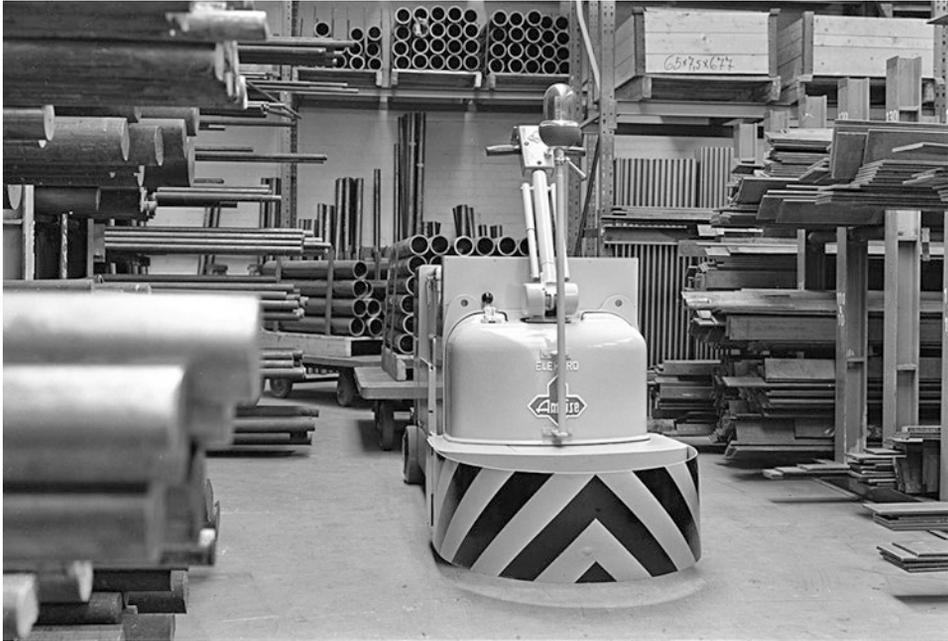


Abb. 1.5 FTF als Schlepper. (Quelle: E&K ca. 1965)

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.

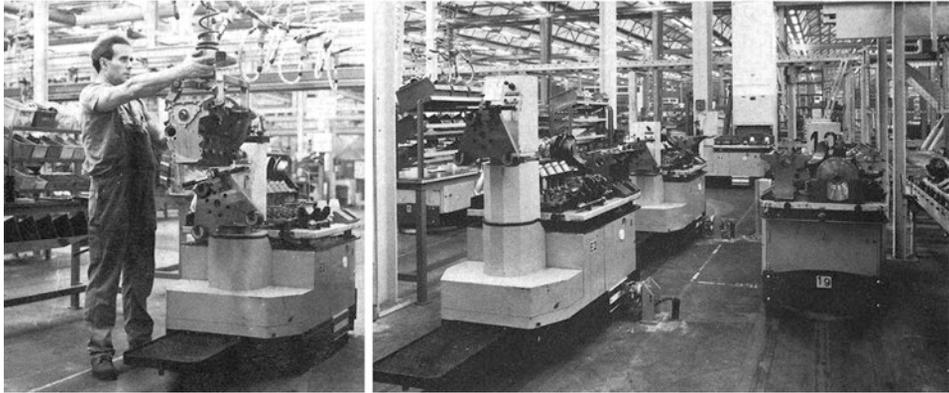


Abb. 1.6 Induktiv geführte Montageplattformen für Motoren bei VW in Salzgitter. (Quelle: E&K 1977)

Viele der großen FML¹-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-Fachausschusses² „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.

¹ FML – Fördertechnik, Materialfluss, Logistik.

² www.vdi.de.