



Günter Ullrich

Fahrerlose Transportsysteme

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

2. Auflage

Fahrerlose Transportsysteme

Günter Ullrich

Fahrerlose Transportsysteme

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

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 154 Abbildungen und zahlreichen Tabellen



Springer Vieweg

Günter Ullrich
Voerde
Deutschland

ISBN 978-3-8348-2591-9 ISBN 978-3-8348-2592-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-8348-2592-6

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 2011, 2014

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 Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Lektorat: Thomas Zipsner, Ellen Klabunde

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Vorwort

In den 1950er Jahren wurde das Fahrerlose Transportsystem (FTS) erfunden, das sich bis heute zum probaten Organisationsmittel der modernen Intralogistik entwickelt hat. Nachdem zunächst die Automobilindustrie die dominante Anwenderbranche war, setzen heute fast alle Branchen das FTS zur Optimierung ihrer Materialflüsse ein. Diese Fibel dokumentiert, 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 es in der Technik und damit auch in den Märkten gibt – und hoffentlich noch geben wird. 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 zahlreiche wertvolle Hinweise.

Seit 27 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 betreibt (Seminare, Veranstaltungen, Erstberatung). Allen Mitgliedern des Forum-FTS sei an dieser Stelle Dank 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 2. Auflage wurde im Ganzen überarbeitet, etwas anders strukturiert und trägt den Entwicklungen in der Technik und den Märkten Rechnung. Möge die über-

arbeitete Fibel ihren Beitrag dazu leisten, dass Fahrerlose Transportsysteme entsprechend ihren Möglichkeiten eingesetzt und in Zukunft noch leistungsfähiger werden.

Voerde, August 2013

Günter Ullrich, info@fahrerlos.de

Inhaltsverzeichnis

1	Geschichte der Fahrerlosen Transportsysteme	1
1.1	Die erste FTS-Epoche – Idee und Umsetzung	2
1.1.1	Die ersten europäischen Unternehmen	3
1.1.2	Frühe Technik und Aufgabenstellungen	4
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	10
2	Moderne Anwendungsgebiete	17
2.1	Aufgabenbezogene Aspekte des FTS-Einsatzes	17
2.1.1	Das FTS in Produktion und Dienstleistung	18
2.1.2	FTS als Organisationsmittel	19
2.1.3	Taxibetrieb	21
2.1.4	Fließlinienbetrieb und der Fokus auf die Serienmontage	22
2.1.4.1	Aufgabenstellungen in der Serienmontage	22
2.1.4.2	FTS oder SMB in der Montagelinie?	25
2.1.4.3	FTS oder Gabelstapler für Kommissionierung und Transport?	26
2.1.4.4	FTS oder einfach nur Handwagen in der Kommissionierung?	26
2.1.4.5	FTS oder Gabelstapler für den reinen Transport?	27
2.1.4.6	Resümee für die Serienmontage	27
2.1.5	Lagern und Kommissionieren	28
2.1.5.1	Bodenebene Blocklager	28
2.1.5.2	Hohe Blocklager	29
2.1.6	Außeneinsatz (Outdoor)	30
2.1.6.1	Personenschutz im Außenbereich	31
2.1.6.2	Navigation im Außenbereich	33
2.1.7	Argumente für den FTS-Einsatz	36

2.2	Branchenbezogene Aspekte und Beispiele	37
2.2.1	Automobil- und Zulieferindustrie	38
2.2.1.1	FTS in der Gläsernen Manufaktur Dresden (Volkswagen)	38
2.2.1.2	Produktion des 3er BMW im neuen Werk Leipzig	41
2.2.1.3	Logistik-Aufgabe bei der Deutz AG in Köln-Porz	43
2.2.1.4	Frontendmontage bei der BMW AG in Dingolfing	45
2.2.1.5	Montagelinie für Cockpits bei VW in Wolfsburg	47
2.2.1.6	Einsatz von FTS in der Autositzfertigung	49
2.2.1.7	Einsatz von FTS als mobile Endmontageplattform	50
2.2.1.8	Verbesserung der Produktionseffizienz bei Denso in Tschechien	50
2.2.2	Papierherzeugung und -verarbeitung	52
2.2.2.1	Transport und Handling von Papierrollen bei Einsa Print International	52
2.2.2.2	Zeitungsdruck im Druckzentrum Braunschweig	53
2.2.3	Elektroindustrie	55
2.2.3.1	Behältertransport just-in-time bei Wöhner	55
2.2.4	Getränke-/ Lebensmittelindustrie	57
2.2.4.1	Intralogistische Optimierungsansätze in der Getränkeindustrie	57
2.2.4.2	Innovative Kommissionierung bei der Marktkauf Logistik GmbH	64
2.2.4.3	FTS überwacht Käse-Reifeprozess bei Campina	66
2.2.4.4	Edelstahl-FTS in der Käserei Schönegger, Steingaden	67
2.2.5	Baustoffe	68
2.2.6	Stahlindustrie	70
2.2.7	Kliniklogistik	73
2.2.7.1	FTS im Landeskrankenhaus Klagenfurt, Österreich	75
2.2.7.2	Fortschrittliche Kliniklogistik mit FTS in Vorarlberg	79
2.2.7.3	FTS im „Nye Akershus Universitetssykehus“, Universität Oslo, Norwegen	85
2.2.7.4	FTS im St. Olavs Krankenhaus, Trondheim, Norwegen	87
2.2.8	Pharma-Industrie	89
2.2.9	Luftfahrt- und Zulieferindustrie	91
2.2.10	Anlagenbau	95
2.2.11	Warenhaus- & Transportlogistik	96
2.2.11.1	Fahrerloser Schmalgangstapler im Hochregallager	96
3	Technologische Standards	105
3.1	Navigation und Sicherheit als zentrale Systemfunktionen	106
3.1.1	Die Navigation	107
3.1.1.1	Die physische Leitlinie	109
3.1.1.2	Stützpunkte im Boden	111

3.1.1.3	Die Lasernavigation	114
3.1.1.4	Das Global Positioning System (GPS)	118
3.1.1.5	Gegenüberstellung der Verfahren	118
3.1.2	Die Sicherheit	121
3.1.2.1	Gesetzgebung	122
3.1.2.2	Pflichten des Herstellers/Lieferanten	123
3.1.2.3	Pflichten des Betreibers	125
3.1.2.4	Komponenten und Einrichtungen	126
3.1.2.5	Mischbetrieb mit betriebsfremden Personen	128
3.2	Die FTS-Leitsteuerung	130
3.2.1	Systemarchitektur FTS	131
3.2.2	Benutzer und Auftraggeber	132
3.2.3	Funktionsbausteine einer FTS-Leitsteuerung	133
3.2.3.1	Benutzer-Interface	133
3.2.3.2	Transportauftragsabwicklung	133
3.2.3.3	Service-Funktionen	137
3.3	Das Fahrerlose Transportfahrzeug (FTF)	140
3.3.1	FTF-Kategorien	141
3.3.1.1	Das Gabelhub-FTF – eigens konstruiert	142
3.3.1.2	Das Gabelhub-FTF als automatisiertes Seriengerät	142
3.3.1.3	Das Huckepack-FTF	144
3.3.1.4	Der Schlepper	145
3.3.1.5	Das Unterfah-FTF	145
3.3.1.6	Das Montage-FTF	146
3.3.1.7	Das Schwerlast-FTF	146
3.3.1.8	Das Mini-FTF	147
3.3.1.9	Der PeopleMover	149
3.3.1.10	Das Diesel-FTF	149
3.3.1.11	Das Sonder-FTF	150
3.3.2	Die Fahrzeugsteuerung	150
3.3.2.1	Anforderungen an eine Fahrzeugsteuerung	150
3.3.2.2	Schnittstellen der Fahrzeugsteuerung	152
3.3.2.3	Klassische Funktionsblöcke	153
3.3.2.4	Betriebsarten	154
3.3.3	Die mechanischen Bewegungskomponenten	155
3.3.3.1	Räder	155
3.3.3.2	Radkonfiguration	155
3.3.3.3	Lenkung	157
3.3.3.4	Antriebe	158
3.3.4	Die Energieversorgung der FTF	158
3.3.4.1	Traktionsbatterie	160
3.3.4.2	Berührungslose Energieübertragung	161
3.3.4.3	Hybridsystem	163

3.4	Das Umfeld des FTS	163
3.4.1	Die Einsatzumgebung	163
3.4.2	Systemspezifische Schnittstellen	165
3.4.3	Periphere Schnittstellen	168
3.4.3.1	Türen und Tore	168
3.4.3.2	Aufzüge	169
3.4.3.3	Andere automatische Fördersysteme	170
3.4.4	Mensch und FTF	171
3.4.4.1	Abgeschottete Bereiche	171
3.4.4.2	Mitarbeiter	171
3.4.4.3	Publikumsverkehr	173
4	Die vierte Epoche	175
4.1	Funktionale Herausforderungen	177
4.1.1	DriveSafe – Die Integration von Navigation und Sicherheit	178
4.1.2	Autonomes Miteinander – Intelligentes Agieren	181
4.1.3	Energiemix – Modernes Energiemanagement	183
4.1.3.1	Innovative Batterien	184
4.1.3.2	Kondensatoren	185
4.1.3.3	Brennstoffzelle	186
4.1.3.4	Energiemix	188
4.2	Entwicklung der Märkte	190
4.2.1	Die klassischen FTS-Märkte	192
4.2.2	Neue Märkte	194
4.2.3	Anwendungsbeispiel aus der neuen Epoche	198
4.2.4	Kernkompetenzen der Anbieter	204
5	Die ganzheitliche FTS-Planung	209
5.1	Die Bedeutung der Planung in FTS-Projekten	209
5.1.1	Ressourcen-bestimmende Kriterien	211
5.1.2	Organisation des Projektteams	212
5.2	Planungsschritte	213
5.2.1	Systemfindung	214
5.2.1.1	Ist-Analyse	214
5.2.1.2	Bedarfsanalyse und Konzeptfindung	215
5.2.1.3	Rahmendaten	216
5.2.1.4	Systemauswahl	216
5.2.2	System-Ausplanung	220
5.2.2.1	Die Simulation	220
5.2.2.2	Technische und organisatorische Abgrenzung des FTS ...	222
5.2.2.3	Technische Feinplanung	223
5.2.2.4	Lastenheft	225
5.2.2.5	Abschließende Wirtschaftlichkeitsbeurteilung	227

5.2.3	Beschaffung	228
5.2.3.1	Analyse des Anbietermarktes	228
5.2.3.2	Ausschreibung	228
5.2.3.3	Angebotsauswertung und Auftragsvergabe	229
5.2.3.4	Pflichtenheft	230
5.2.3.5	Realisierung	230
5.2.3.6	Betriebsplanung	233
5.2.4	Änderungsplanung	234
5.2.5	Außerbetriebsetzung	235
5.3	Unterstützung bei der Planung	235
Sachverzeichnis		241

Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind heute 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 hat. Die FTS-Geschichte ist ca. sechzig Jahre alt und begann – wie so vieles moderne – in Amerika.

Als nach dem zweiten Weltkrieg die Produktionen wieder anliefen und die Weltwirtschaft boomte, waren die fahrenden Automaten 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 sicher 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.

Die bisherigen sechzig FTS-Jahre lassen sich in vier Epochen einteilen. Diese Epochen sind von der zur Verfügung stehenden Technik und der emotionalen Haltung der Systeme 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 über gingen (Abb. 1.1).

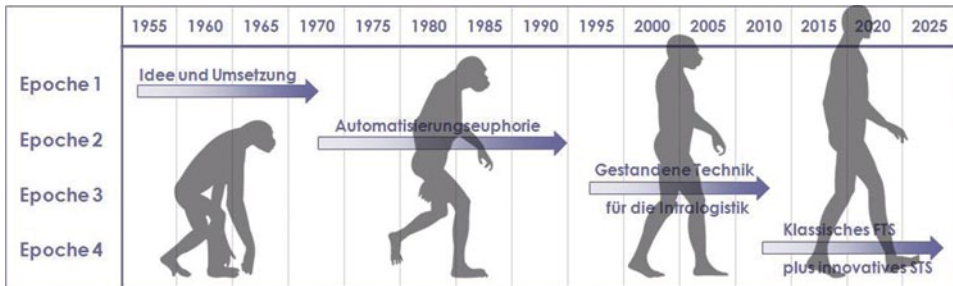
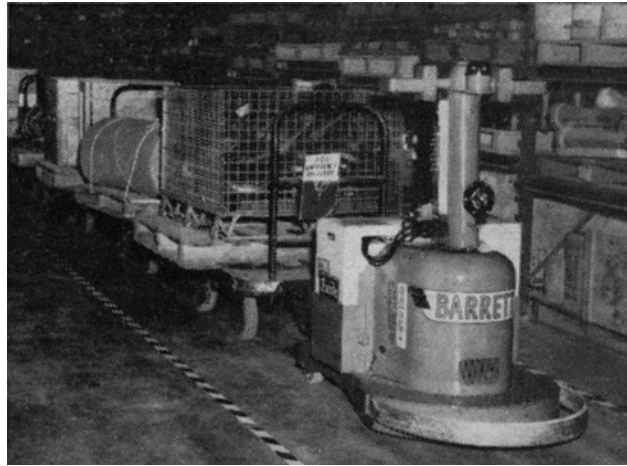


Abb. 1.1 Fahrerlose Transportsysteme entwickeln sich in und auf Evolutionsstufen (Epochen). Gegenwärtig stehen wir am Beginn der vierten

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



1.1 Die erste FTS-Epoche – Idee und Umsetzung

Die erste Epoche begann in Amerika 1953 mit der Erfindung 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, Notstoppbügel mit mechanischen Schaltern.

Anfang der 1950er Jahre hatte zuvor 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 (FTS) als Schleppzug-Anwendung für wiederkehrende Sammeltransporte über große Strecken installiert (Abb. 1.2).

Die zuvor schienenengeführten Fahrzeuge folgten nun einem stromdurchflossenen Leiter, welcher im Boden verlegt wurde. Dieses Prinzip kennen wir heute als induktive Spurfüh-



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

rung. Das erste Fahrzeug orientierte sich also während der Fahrt ohne Fahrer an dem induzierten Magnetfeld. Die Stationen, an denen Lasten (Güter) übergeben werden sollten, waren durch im Boden versenkte Magnete kodiert, welche durch Sensoren im Fahrzeug erfasst wurden. Die Kodierung 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 Steuersignale lieferte. Ab den 1960er Jahren kamen die ersten transistorbasierten Elektronik 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 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 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 Schritt die Umgebung an die Anforderungen eines Systems angepasst, das auf menschliche Begleitung verzichtete. Markierungen, freie Fahrstrecken, 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 fanden 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 reichten. 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 (FTF) entwickelte sich aus den personengesteuerten Schleppwagen, verfügte also wie ein normales Fahrzeug über Lenkung, Antrieb und 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.

Die Fahrzeugsteuerung arbeitete anfänglich noch mit Röhrentechnik, dann gab es solche mit Relais und „Hubdrehwähler-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 „taktilem Sensor“.

Die Spurführung erfolgte durch stromführende Leiter im Hallenboden oder durch optische Leitlinien.

Ende der 1960er wurden erste Schlepper mit automatischen Kupplungen konstruiert, sie konnten rückwärts fahren und Anhänger dort abstellen, wo sie benötigt wurden. Das

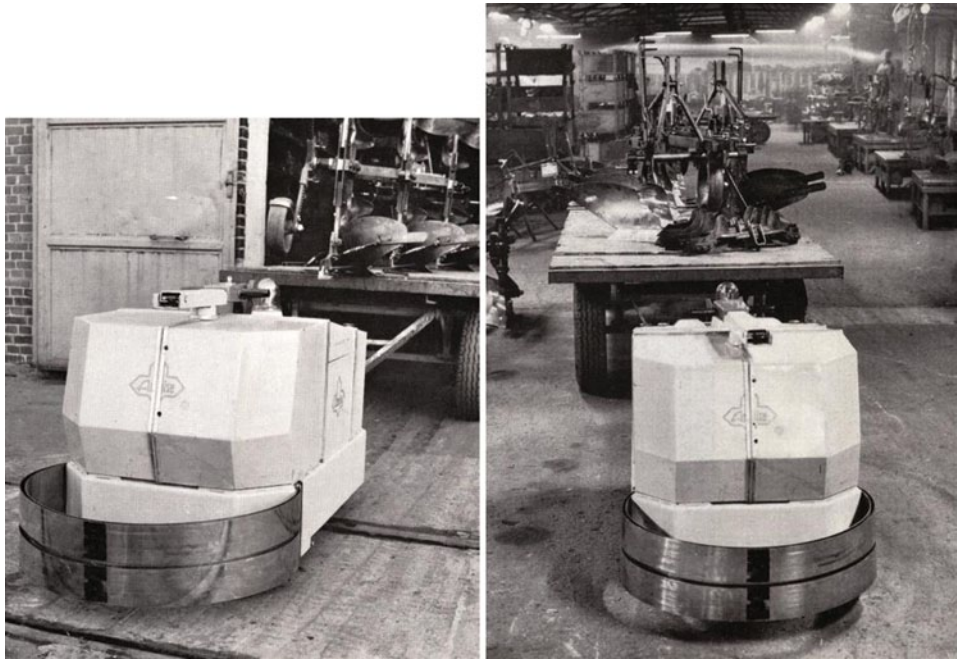


Abb. 1.4 Ameise/Teletrak mit Anhängern. (Quelle: E&K)

folgende Bild zeigt einen solchen Schlepper, der in einer französischen Papierfabrik eingesetzt wurde. 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 riesigen Schaltschränken 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.

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

Abb. 1.5 FTF als Schlepper.
(Quelle: E&K ca. 1970)



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 Anlagesteuerungen 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 schnellere 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. Aber das automatische Laden der Batterien wurde eingeführt.
- Ein Navigationsverfahren setzte sich durch: die aktiv induktive Spurführung. Ein mit Wechselstrom durchflossener Leiter im Boden erzeugte ein konzentrisches Magnetfeld, das in zwei unterhalb des Fahrzeugs befestigten Spulen einen Strom induzierte. Der Differenzstrom beider Spulen wurde dann zur Ansteuerung des Lenkmotors genutzt. Die Anlagensteuerung wurde der Blockstreckensteuerung des Eisenbahnverkehrs entliehen. Große Schaltschränke in Relais-technik sorgten für die Ablaufsteuerung und dafür, dass die Fahrzeuge nicht kollidierten bzw. 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.

Viele der großen FML¹-Partner der Automobilindustrie lieferten größte Anlagen mit oftmals mehreren hundert Fahrzeugen. Die Anlagen wurden in Vormontagen (Cockpit,

¹ FML – Fördertechnik, Materialfluss, Logistik.

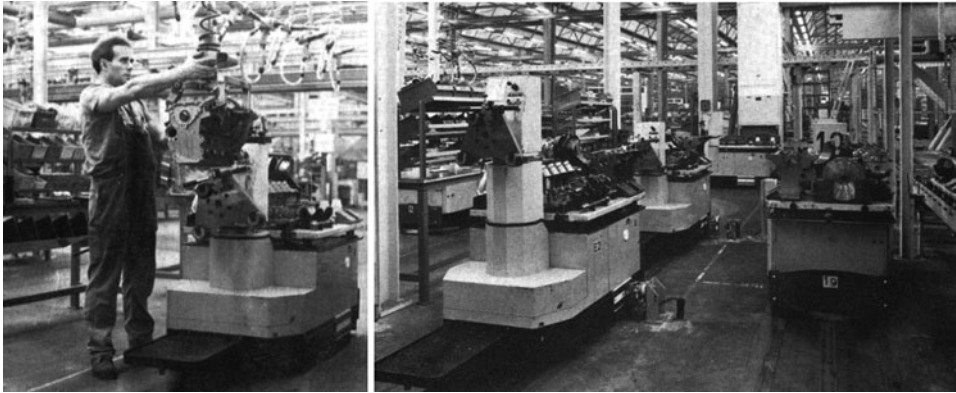


Abb. 1.6 Induktiv geführte Montageplattformen für Motoren bei VW in Salzgitter. (Quelle: E&K, 1977)

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



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 die Katastrophe 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 pas-

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



sieren musste. Sie initiierten die Gründung des VDI-Fachausschusses² „Fahrerlose Transportsysteme (FTS)“, 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 vom Autor geleitet, der auch schon Gründungsmitglied war.

Dieser VDI-Fachausschuss führte dann vier Jahre später in Duisburg die erste FTS-Fachtagung³ durch, auf der diese Themen intensiv diskutiert wurden. Außerdem entstand daraus im Jahre 2006 das Forum-FTS⁴, 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 amerikanisches Buch (Abb. unten), in dem eine MIT-Studie⁵ 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 bauen konnten.

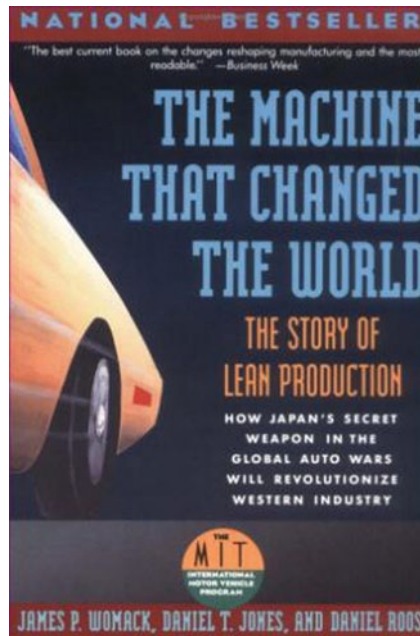
Diese Studie führte zu einem vollständigen Umdenken in Europa. Für die großen FTS-Anlagen bedeutete sie das Aus (FTS-Rezession). Viele „große“ FTS-Hersteller beendeten ihr FTS-Engagement oder man ging den Weg der Lizenzierung in einer globaleren Welt. Doch letztlich stand ein Neuanfang mit neuen mittelständischen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

² www.vdi.de/fts.

³ Die FTS-Fachtagung findet im 2-jährigen Rhythmus seit 2012 am Fraunhofer Institut IML in Dortmund statt (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.

⁴ www.forum-fts.com, dort auch eine Liste der aktuell erfolgreich tätigen europäischen FTS-Hersteller.

⁵ 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).



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 Anlagen 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. Die klassischen „freien“ Navigationstechniken sind die Magnet- und die Laser-Navigation. WLAN hat sich als Datenübertragungstechnik etabliert.

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 heute 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 Anlagesteuerung und in der intelligenten Sensorik
- Datenübertragung jetzt meist per WLAN
- 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 FTS 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/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 werden⁶.

Die Technik und die Anwendungen während dieser Epoche wird das Thema in den folgenden Kapiteln sein, weshalb wir uns hier kurz halten können. Wichtig ist eine Übersicht, welche FTS-Hersteller heute noch eine große Rolle spielen und wo sie ihre Wurzeln haben. Deshalb fasst Tab. 1.1 alle Firmen zusammen, auf die in diesem Buch verwiesen wird und zeigt Tab. 1.2 einen Überblick über die wichtigsten Stationen des mitteleuropäischen Marktes.

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

Tab. 1.1 Firmen der FTS-Branche, auf die im Folgenden verwiesen wird

Kürzel	Name	Beschreibung
CREFORM	CREFORM Technik GmbH, DE-Baunatal www.creform.de	FTS-Hersteller im Forum-FTS
dpm	Daum + Partner Maschinen- bau GmbH, DE-Aichstetten – www.daumundpartner.de	FTS-Hersteller
DS	DS Automotion GmbH, AT-Linz www.ds-automotion.com	FTS-Hersteller im Forum-FTS
E&K	E&K Automation GmbH, D-Rosengarten www.ek-automation.com	FTS-Hersteller im Forum-FTS
Egemin	Egemin NV, BE-Zwijndrecht www.egemin.com	FTS-Hersteller im Forum-FTS
Fox	Abteilung FOX, Götting KG, DE-Lehrte www.foxit.de	Abteilung der Götting KG, die Serien-Nutzfahrzeuge automatisiert
Frog	Frog AGV Systems B.V., NL-Utrecht www.frog.nl	FTS-Hersteller im Forum-FTS
Götting	Götting KG, DE-Lehrte www.götting.de	Komponenten- und Systemhersteller im Forum-FTS
MLR	MLR System GmbH, DE-Ludwigsburg www.mlr.de	FTS-Hersteller im Forum-FTS
MT Robot	MT Robot AG, CH-Zwingen www.mt-robot.com	STS-Hersteller im Forum FTS
Rocla	Rocla OY, FI-Järvenpää www.rocla.com	FTS-Hersteller im Forum-FTS
Schabmüller	Schabmüller GmbH, DE-Berching www.schabmueller.de	Komponenten-Hersteller für Antriebs- und Lenkmotoren
SEW	SEW-Eurodrive GmbH & Co KG, DE-Bruchsal – www.sew-eurodrive.de	Komponenten- und Systemhersteller für Antriebs- und Energietechnik
Sick	Sick AG, DE-Waldkirch www.sick.com	Lieferant von Sicherheitskomponenten und Systeme, im Forum-FTS
SimPlan	SimPlan Integrations GmbH, DE-Witten www.simplan.de	Dienstleister für Simulation und Emulation
Snox	Snox NV, BE-Aartselaar www.snox.com	FTS-Hersteller im Forum-FTS
Swisslog	Swisslog GmbH, DE-Westerstede www.swisslog.com	Holding der Telelift

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

Jahr	FTS-Herst.	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	Telelift startet mit dem Transcar-FTS. Seit 1973 in Puchheim bei München
1971	MLR	entstand 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/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 Demag	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 Hafenkrane 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, 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

Tab. 1.2 (Fortsetzung)

Jahr	FTS-Herst.	Ereignis/Vorgeschichte
1984	DS	Voest Alpine, A-Linz beginnt mit FTS. Später dann Ausgliederung der TMS Transport- und Montagesysteme
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 „Fahrerlose 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
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, also LKW und Radlader automatisiert
2000	Egemin	Egemin beginnt mit dem Bau eigener Fahrzeuge
2001	E&K	E&K übernimmt INDUMAT von Linde
2001	DS	Voest-Alpine veräußert das FTS-Geschäft der TMS an VINCI, Frankreich
2004	snox	Die Snox Engineering Group startet das FTS-Geschäft

Tab. 1.2 (Fortsetzung)

Jahr	FTS-Herst.	Ereignis/Vorgeschichte
2005	DS	HK Automotion, Österreich übernimmt die TMS Automotion; 2008 dann Namensänderung zu DS Automotion GmbH
2008	Götting	Die Aktivitäten der Fox GmbH werden von der Muttergesellschaft als Abteilung weitergeführt
2008	MT Robot	Gründung der MT Robot AG
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
2013	Snox	Übernahme durch die Grenzebach Maschinenbau GmbH