

Nächste Entwicklungsstufe bei Fahrerlosen Transportsystemen

Zukunftsvision „Drive Safe“

Die beiden zentralen Funktionen „Navigation“ und „Sicherheit“ werden bei heutigen Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) weitgehend separat ausgeführt. Die Einflüsse aus neuen Anwendungen und von außerhalb üben Druck auf die Branche aus, die Fahrzeuge intelligenter zu machen und die genannten Funktionen zu integrieren. Warum das so ist und was das für das FTS bedeutet, sind die Themen dieses Beitrages.

■ Günter Ullrich

Von „mystischen Funktionen“...

Fahrerlose Transportsysteme sind High-End-Lösungen der Intralogistik – zumindest was Technologie und Flexibilität angeht. Seit Beginn ihrer Existenz in den 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts steht beim FTS technologisch die Beherrschung der Navigation und der Sicherheit im Vordergrund. Beide Funktionen haben bis heute etwas Mystisches, weil dafür oftmals „unsichtbare“ Techniken eingesetzt werden. „Wie von Geisterhand bewegt“ hieß es, wenn unbedarfte Interessierte die ersten Systeme in Betrieb sahen – und das, obwohl gerade früher die eingesetzten Techniken gut erkennbar waren (Bild 1). Die Sicherheit, hier eigentlich mehr der Personen- oder Auf-fahrtsschutz, wird durch einen mechanischen „Fühler“ realisiert, der beim Auftreffen auf ein Hindernis den gesamten Stromkreis des Fahrzeuges ausschaltete. Gut zu erkennen ist auch die mechanische Führung in einer Nut im Boden. Andere frühe Systeme verwendeten die optische Spurführung: Mit einer Lampe wurde ein aufgeklebter Streifen auf dem Fußboden so beleuchtet, dass eine Kantendetektion möglich war.

... zu Navigation und Sicherheit bei heutigen FTS

Die mechanische oder optische Spurführung der allerersten Systeme wurde schnell durch die aktiv-induktive Spurführung abgelöst. Sie wurde als „Leitdraht-



1 Historisch: Als fahrerloses Transportfahrzeug gestaltete Jungheinrich-Ameise

Navigation“ vor allem in den 70er- und 80er-Jahren eingesetzt und markierte dort einen Standard.

Heute spielt die Leitdraht-Navigation keine Rolle mehr. Sie ist von flexibleren Navigationstechniken abgelöst worden. Lediglich eine moderne Form der aktiven induktiven Spurführung hat heute ihre Berechtigung: Wenn das Layout einfach ist und für absehbare Zeit unverändert bleiben kann, dann sollte die induktive Energieübertragung in Betracht gezogen werden. Im Boden sind zwei mit rd. 20 kV gespeiste Kabel verlegt. So genannte Pick-ups unter den Fahrzeugen schweben über dem Boden und beziehen die benötigte elektrische Leistung. Über die Kabel wird sinnvollerweise auch die Spurführung realisiert. Auf Traktionsbatterien kann entweder weitgehend oder sogar ganz verzichtet werden.

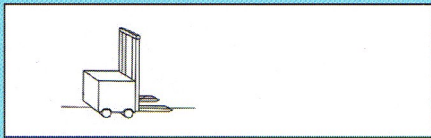
Zu den einfachen Systemen („simple solutions“) gehören die optische und die passiv-induktive Spurführung, die mit physikalischen Leitlinien auf dem Boden (Bild 2 a) arbeiten. Ein einfacher Strich auf dem Boden (aufgemalt oder geklebt) reicht, um die Fahrzeuge auf Kurs zu halten. Diese Ausführung ist preiswert und einfach zu ändern. Angewendet wird das System z. B. in Montageanlagen. Schlepper ziehen z. B. Anhänger zu ihren Zielpunkten in der Produktion oder werden in der Kommissionierung eingesetzt.

Eine klassische Variante der freien Navigation stellt die Magnetnavigation (Bild 2 b und c) dar. Kleine Dauermagnete werden in den Boden eingelassen und von einem Magnetlineal am Fahrzeug detektiert. Mit dieser Technik sind auch komplexe Layouts abbildbar. Die Anwendungen sind vielfältig, u. a. der klassische Taxibetrieb, d. h. ein komplexes Layout mit vielen Zielen (Quellen und Senken). Layout-Änderungen sind relativ einfach umzusetzen, vor allem bei der Rasterverlegung, weil hier bereits im Vorfeld ganze Flächen für die freie Navigation vorbereitet werden können. Im Außenbereich werden häufig anstelle der passiven Magnete quasi-aktive Transponder in den Boden eingelassen. Diese Transponder werden von der Leseinheit unter dem Fahrzeug per Induktion mit Energie versorgt, damit sie ihre eigene Kennung an die Leseinheit senden können.

Die Lasernavigation ist der prominenteste Vertreter der Gruppe „passive bodenfreie Marken“ (Bild 2 d). Als Hauptkonkurrent der Magnetnavigation ist sie ähnlich flexibel einsetzbar. Für die Auswahl sind folgende Eigenschaften entscheidend:

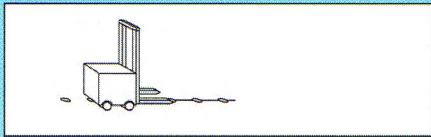
- ▶ Bodenmagnete erfordern (geringfügige) Arbeiten am Boden.
- ▶ Der Laserkopf am Fahrzeug muss sehr weit oben angebracht sein, d. h. oberhalb der Köpfe der Mitarbeiter und oberhalb der Last.
- ▶ Die Laserreflektoren müssen jederzeit von den Laserscannern erkannt werden; sie dürfen folglich nicht verdeckt oder beschädigt werden.

Mit aktiven bodenfreien Marken (Bild 2 e) arbeitet z. B. das GPS, mit dessen Hilfe alternativ zur Transponder-Navigation im Außenbereich navigiert werden kann. Normalerweise wird das so genannte dGPS verwendet (Nutzung eines stationären GPS-Empfängers), um die zeit- und ortsabhängigen Systemfehler kompensieren zu können. Für erhöhte Genauigkeitsanforderungen wird die Variante „real time kinematic differential“ erforderlich. Einschränkungen ergeben sich durch die Notwendigkeit, immer eine freie Sicht nach oben zu haben (Sichtkegel von rd. 15°). Enge Häuserschluchten, Metallkrane und Brücken schränken die Einsatzmöglichkeiten schnell ein.



physikalische Leitlinien (optisch oder induktiv)

a)



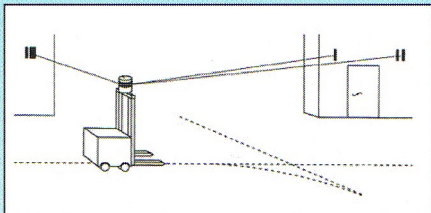
Stützpunkte in Punktfolge (Magnete oder Transponder)

b)



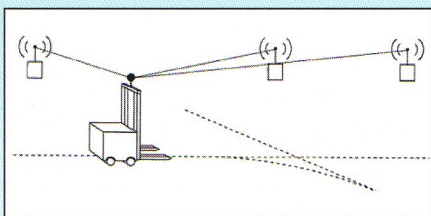
Stützpunkte im Raster

c)



passive bodenfreie Marken (Laser)

d)



aktive bodenfreie Marken (GPS)

e)

2 Klassische Navigationsverfahren (nach VDI 4451 Bl. 6 [4])

Parallel zur Funktion „Navigation“ wird üblicherweise die „Sicherheit“ realisiert: Fahrerlose Transportfahrzeuge sind sicher, und die Anforderungen an den Personen- und Anlagenschutz sind hoch. Hier soll dargestellt werden, dass der Personenschutz immer schon eine separate Funktionalität darstellte, vor allem völlig losgelöst von der FTF-Navigation. Anfangs war das klar: Einerseits wurden unterschiedliche technische Ausführungen verwendet, und andererseits lag die Priorität der Sicherheit viel höher als die der Navigation, was sich auch auf die elektrische Ausführung auswirkte – der „Not-aus-Bügel“ löste übergeordnet den „Not-aus-Kreis“ aus und legte die gesamte Elektrik lahm.

Nachdem sich die berührungslosen Sensorsysteme gegen die mechanischen Kunststoffbügel und Softschaumbumper durchgesetzt haben, sind heute die Laserscanner state-of-the-art [1]. Fast alle FTF werden heute mindestens für die Haupt-

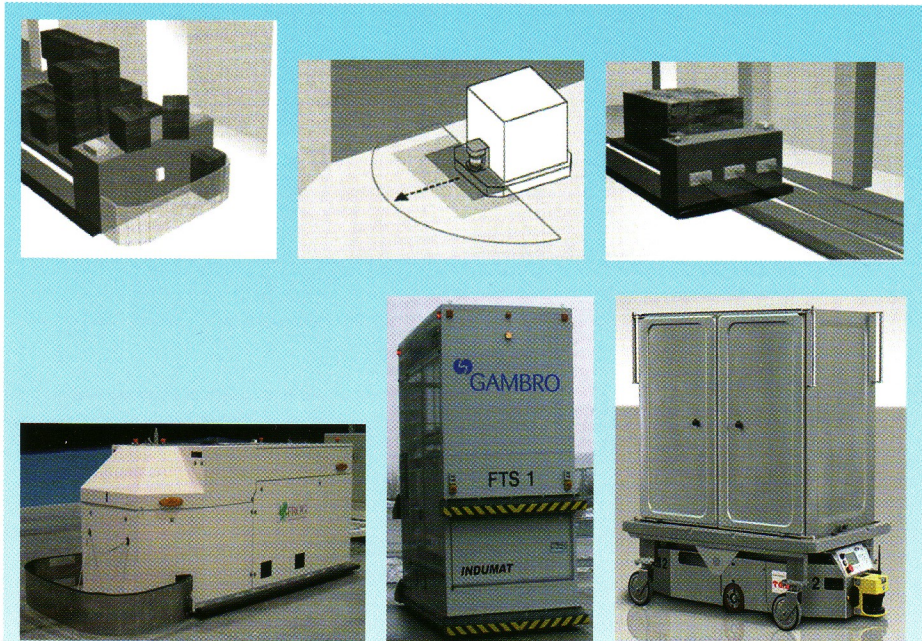
fahrtrichtung mit ihnen ausgerüstet. Sie arbeiten in Höhe der menschlichen Schienbeine und sind anerkannt und zugelassen (Bild 3). Allerdings sind die elektrischen Schaltungen komplexer bzw. intelligenter geworden. Der Eingriff in einen übergeordneten Not-aus-Schaltkreis ist heute nicht mehr erforderlich. Nach Betätigung des Not-stop-Bügels muss nicht mehr ein Bediener kommen und das Fahrzeug mit dem Schlüsselschalter freischalten. Der Sensor bemerkt rechtzeitig das Hindernis, das Fahrzeug wird zunächst langsamer, um dann sanft zu stoppen. Nach Beseitigung des Hindernisses nimmt das Fahrzeug selbstständig wieder Fahrt auf. Zudem fällt heute auf, dass zumindest im Fall der Lasernavigation zwei sehr ähnliche Laserscanner im FTF verbaut sind, und zwar einer für die Navigation und einer für die Sicherheit. Daher liegt es nahe, über eine Mehrfachnutzung von Sensoren hinsichtlich der Kostenreduktion nachzudenken [2].

Neue Entwicklungen und Einflüsse von außerhalb

Erste konkrete Entwicklungen in Bezug auf die Integration von Navigation und Sicherheit gibt es bereits. So sind die ersten FTS-Hersteller (z. B. Telelift und E&K Automation) in der Lage, den ursprünglichen Sicherheits-Laserscanner für Navigationsaufgaben zu verwenden. Der Sensor orientiert sich an Wänden und an natürlichen Marken in der Umgebung. Die ersten Anwendungen sind in Krankenhäusern zu finden. Dort ist der Einsatz von FTS in vielerlei Hinsicht eine Herausforderung. Vergleichbar mit Anwendungsfällen im Außenbereich (Betriebsgelände) oder in öffentlichen Bereichen (Verwaltungen, Behörden, Museen usw.), sind hier eher als beim klassischen innerbetrieblichen Einsatz „unbedarfte“ Menschen anzutreffen. Das sind Privatleute, die keinerlei Erfahrungen oder Schulungen bezüglich der FTS-Technologie haben. Muss das Krankenhaus-FTS beispielsweise mit seinem Container die normalen Flure des Hospitals mitbenutzen oder den Eingangsbereich durchqueren, trifft es nicht nur auf eingewiesene Mitarbeiter, sondern auf ganz normale Menschen, die auch krank oder behindert sein können, und auf alle Altersklassen, von Kindern bis Senioren. In solchen Fällen entsteht die Forderung nach mehr Intelligenz und mehr menschlichem Verhalten bei den fahrerlosen Fahrzeugen. Diese Entwicklungen werden in jedem Fall kommen. Deshalb muss die FTS-Branche im Zusammenspiel zwischen Herstellern und Lieferanten von Sensorsystemen selbst die Initiative ergreifen, weil sonst die Gefahr droht, dass diese Techniken von außen in die FTS-Welt Einzug halten. Das Interesse für intelligentes Verhalten von sich bewegendem Automaten gibt es ja schon lange. Erinnert sei an die Service-Robotik der 80er-Jahre, die zurzeit ihre Renaissance erlebt. Folgende Beispiele sind bekannt:

- ▶ Krankenhäuser/health & elderly care (Container-Transport durch den Eingangsbereich und über die Bettenstationen, Krankenfahrstühle)
- ▶ Home and shopping (Heim-Roboter und personal assistant, Einkaufswagen)
- ▶ Hotel und Gastronomie (Zimmerservice in Hotels, Tisch-Service in Restaurants)
- ▶ Gebäudereinigung
- ▶ Firmengebäude und -gelände (Überwachungs-Roboter)
- ▶ Outdoor (Begegnungen mit ungeschultem Personal).

Weitere Einflüsse und Entwicklungen kommen aus der Automobilindustrie. Stereo-Kameras mit oder ohne Radarunterstüt-



3 Beispiele für Personenschutz am FTF;

obere Reihe:

Kunststoffbügel, Laserscanner und Ultraschallsensoren gem. VDI 4451, Bl. 6 [4]

untere Reihe: Kunststoffbügel, Softschaumbumper, Laserscanner

zung oder Infrarot sowie Nachtsichtgeräte bieten eine Fülle von Funktionen, die alle über Sicherheitseigenschaften verfügen:

- ▶ Erkennung von Objekten, wie Schilder, Ampeln, Gefahren (spielende Kinder, Bälle, Fahrradfahrer...) – auch unter widrigen Umständen, wie Dunkelheit, Nebel, starker Regen, tiefstehende Sonne...
- ▶ Abstandswarner, Überwachung des toten Winkels
- ▶ Spurhalten, Stop-and-Go, aktive Geschwindigkeitsregelung
- ▶ automatisches Ein- und Ausparken
- ▶ Erkennung von Verkehrsregeln.

Diese Funktionen sind heute eher vereinzelt in den neuen PKW anzutreffen. Im Gespräch sind allerdings künftige Autos, die alle diese Selbstfahr-Funktionen bieten. Die rechtlichen Konsequenzen sollen hier nicht das Thema sein. Wichtig ist aber einzig die Tatsache, dass mit solchen PKW-Funktionen ganz nebenbei alle FTF-Navigations- und Sicherheitsfunktionen integriert sind. Das Beispiel des Rundumsicht-Monitors im Nissan Elgrand (Japan) und im Nissan Infinity EX35 (USA) zeigt eindrucksvoll, wie Sensorsysteme die Funktionen Navigation und Sicherheit intelligent übernehmen: Vier 180°-Kameras, unterstützt durch vier Radarsensoren, analysieren das gesamte Umfeld des Fahrzeugs und zeigen es aus der Vogelperspektive (Bild 4). Manuelle Fahrmanöver (Rangieren) werden sicherer, und automatische Funktionen, wie z. B. das automatische Ein- oder Ausparken, werden möglich.

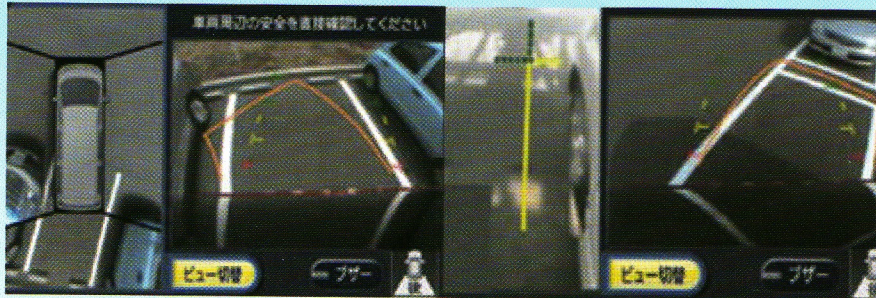
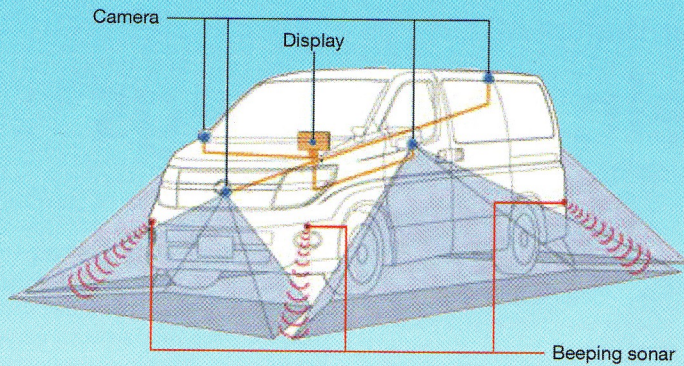
Drive Safe – eine Zukunftsvision

Im FTF werden heute die Laserscanner bevorzugt verwendet – nicht nur für die Navigation und die Sicherheit, sondern auch für Sonderaufgaben. Vor allem im Bereich

des Palettentransports sind bestimmte Forderungen nur mit intelligenten Sensorsystemen zu erfüllen. Dazu gehören u. a. die Palettenerkennung und die LKW-Be-/Entladung. Hier bieten FTS-Hersteller unterschiedliche Lösungen an [3]. In jedem Fall werden falsch stehende Paletten ebenso wie falsch beladene Paletten erkannt und die Bewegungen der Gabel angepasst. Bei der LKW-Beladung kommt eine Vermessung des freien Platzes im LKW hinzu, die als Grundlage für eine optimale und sichere Beladung mithilfe eines automatischen Gabelhubwagens dient. Drive Safe, d. h. „Sicheres Fahren“, bedeutet letztlich die zentrale Intelligenzleistung der FTF. Deshalb muss sie sich auch an den menschlichen Eigenschaften, die sich im Laufe der Evolution als gut und richtig erwiesen haben, messen:

- ▶ Sprach-Ein- und -Ausgabe
- ▶ Geräusch-Lokalisierung und -Analyse
- ▶ Bilderkennung: Objekte, Personen, Kategorien, Situationen
- ▶ Zuordnung von Prioritäten (wichtig/unwichtig)
- ▶ Interpretation von bewegten Bildern/Abläufen/Gesten
- ▶ Einschätzung von Geschwindigkeiten und Richtungen
- ▶ „Alarmglocken“ bei Gefahren, Veränderungen
- ▶ taktile Sensoren
- ▶ Kopplung von Sensorik und Bewegungsmotorik im Sinne von „smooth behavior“.

Im Mittelpunkt des menschlichen Handelns steht das Gehirn; es garantiert und ermöglicht das ständige Lernen und die Anpassungsfähigkeit. Es nutzt verschiedene Sinnesorgane und agiert umsichtig, was bedeutet, dass die Funktion Sicherheit immer und überall als zentraler Bestandteil integriert und nicht separat realisiert ist.



④ **Ausblick: Sensorsysteme ermöglichen eine Rundumsicht auf das Fahrzeugumfeld eines PKW**

(Bilder: Archiv Ullrich)

Was bedeutet das für das intelligente FTF in dieser Vision? Einiges von dem, was die Fahrzeuge im Laufe der nächsten Evolutionsstufe „lernen“ müssen, sei hier kurz aufgeführt:

- ▶ Truly Autonomous Driving, mit integrierter Sicherheit: keine künstliche Marken, keine separaten Not-aus-Kreise
- ▶ Hindernisse erkennen und entsprechend reagieren: umfahren, wegräumen, melden
- ▶ gefährliche Situationen erkennen und richtig reagieren: anhalten, zur Seite oder zurück fahren
- ▶ Störungen erkennen, beseitigen oder verhindern: Andockposition korrigieren, alternative Andockstation anfahren, melden, „pallet finder“

- ▶ neue Aufgaben schnell lernen: Inbetriebnahme durch Erkundungsfahrt, Layoutänderungen (planmäßig oder außerplanmäßig), neues FTF in ein System bringen
- ▶ aus Wiederholungen lernen, Verhalten und Bewegungen anpassen: LKW-Be- und -Entladung, Platzbedarf im Blocklager optimieren
- ▶ im fließenden Verkehr (indoor und outdoor) verantwortlich mitmachen: Geschwindigkeit anpassen, Vorfahrtregeln beachten
- ▶ es muss schneller werden: Fahren, Lasthandling, Kommunikation

- ▶ Operator erkennen und seine Sprachbefehle entgegennehmen: „Warte!“, „Wohin fährst Du?“.

Auf diese Weise entsteht das „truly autonomous vehicle“ – so nennen es die US-Amerikaner und meinen damit die nächste Entwicklungsstufe beim FTS. Der deutsche VDI-Fachbereich „Fahrerlose Transportsysteme“ (www.vdi.de/fts) und die europäische FTS-Community Forum FTS (www.forum-fts.com) bereiten sich mit der neu gegründeten Initiative „FTS – Quo Vadis“ darauf vor [4]: Die FTS-Hersteller erarbeiten gemeinsam mit den Anwendern und den großen Sensorsystem-Herstellern einen Fahrplan für eine spannende FTS-Zukunft! □

Literatur

- [1] Ullrich, G.: Forum FTS, Qualitätssiegel für die Branche. Hebezeuge Fördermittel, Berlin 47 (2007) 3, S. 88-89.
- [2] Ullrich, G.: Fahrerlos aber nicht kopflös. 16. Deutscher Materialfluss-Kongress 2007, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik, VDI-Berichte 1978, S. 197-205.
- [3] www.forum-fts.com – Die Website der europäischen FTS-Community Forum FTS.
- [4] www.vdi.de/fts – Die Website des VDI-Fachbereichs B7 „Fahrerlose Transportsysteme (FTS)“.

Dr.-Ing. Günter Ullrich
ist Unternehmensberater
in Voerde, erreichbar
auch unter
www.fts-kompetenz.de

