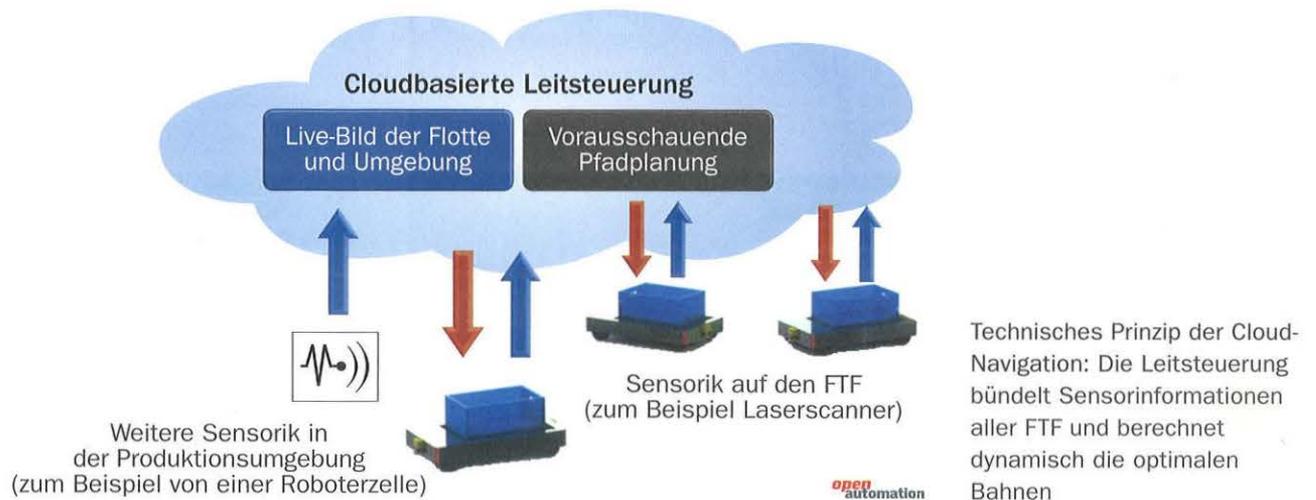




# Vernetzte intelligente Navigation für fahrerlose Transportsysteme

Die Navigation von fahrerlosen Transportsystemen (FTS) basiert auf laufend erfassten Umgebungsdaten. Dies funktioniert mit modernen Sensoren wie Laserscannern sicher und zuverlässig und ermöglicht bereits jetzt eine effizientere freie Navigation anstelle der verbreiteten Liniennavigation. Noch intelligenter und zugleich wirtschaftlich interessanter wird freie Navigation durch eine cloudbasierte Lösung.

Stefan Dörr, Felipe Garcia-Lopez



Da fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) im Produktionsprozess vielfäl-

tige intralogistische Aufgaben übernehmen, müssen sie entsprechend zuverlässig und zugleich effizient agieren, aber auch größtmögliche Sicherheit bieten und Kollisionen vermeiden. So fordern Ausrüster mobiler Robotersysteme zur weiteren Anwendungerschließung Navigationsverfahren mit Verfügbarkeiten von quasi 100 % in der Produktionslogistik.

vordefinierten optischen, magnetischen oder induktiven Leitlinie folgt, die physisch angebracht sein muss und Teil einer regelmäßigen Instandhaltung ist. Entsprechende Sensorik, wie Kameras, Hallsensoren oder Antennen, sorgen dafür, dass das FTF die Spur hält, weitere Sensoren erfassen Hindernisse. Ist die Leitlinie blockiert oder fehlerhaft, stoppt das FTF und das Problem muss manuell behoben werden.



Stefan Dörr ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.  
Stefan.Doerr@ipa.fraunhofer.de



Felipe Garcia Lopez ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPA.  
Felipe.Garcia.Lopez@ipa.fraunhofer.de

## Bisherige Liniennavigation

Bisher sind in der Logistik überwiegend spurgebundene Navigationslösungen (Liniennavigation) zu finden. Dies bedeutet, dass jedes FTF einer

Liniennavigation funktioniert zwar sicher und zuverlässig, allerdings schöpft ein FTS, also der Verbund von einem oder mehreren FTF mit Leitsteuerung, damit nicht das Po-



tenzial aus, das Technologien für mobile Navigation heute bieten können. Nachteil der Liniennavigation ist zum Beispiel ihre Unflexibilität: Wenn die FTF andere Bahnen als geplant fahren sollen, muss die ganze Infrastruktur angepasst werden. Außerdem sind liniengeführte FTF in dynamischen Umgebungen nicht effizient: Sie sind an die physische Leitlinie gebunden, können also weder Hindernisse umfahren noch Freibereiche in einer Produktionsumgebung dynamisch nutzen.

### Vorzüge freier Navigation

Freie Navigation ermöglicht es durch neue Technologien, genau diese Einschränkungen zu überwinden. Sie ist in der Servicerobotik bereits Stand der Technik und wird am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) kontinuierlich weiterentwickelt. Seit einigen Jahren setzen die Wissenschaftler die Technologien aus der Servicerobotik auch für fahrerlose Transportsysteme in industriellen Umgebungen ein, damit FTS variabler und dynamischer agieren können.

Frei navigierende FTF folgen nicht mehr vorgegebenen Leitlinien, sondern orientieren sich an vorhandenen natürlichen Umgebungsmerkmalen im Produktionsumfeld, zum Beispiel Säulen oder Wandverläufe. Sie kommen ohne aufwendige Infrastruktur aus, sodass die Einrichtung des FTS einfacher und eine Änderung der Fahrbahnen leicht möglich ist. Die FTF können sich auch in neuen oder veränderten Umgebungen lokalisieren und ihre Bahn bei Bedarf dynamisch und (zeit-)effizient berechnen. Vor einem Hindernis müssen sie nicht mehr stehenbleiben, sondern können ihm entsprechend der räumlichen Umgebung ausweichen. Die Möglichkeiten reichen bis hin zur Berechnung der jeweils optimalen Bahn innerhalb des zur Verfügung stehenden Freibereichs.

### Schlüsseltechnologien für mobile Navigation

Damit mobile Systeme wie FTF frei navigieren können, müssen sie mithilfe ihrer Sensoren drei Schlüsseltechnologien beherrschen: Erstens die Lokalisierung (Wo bin ich?), um zu wissen, wo sich das FTF innerhalb einer Umgebung befindet. Zweitens die Bahnplanung (Wie komme ich zum Ziel?), um die optimale Bahn zum Ziel zu ermitteln. Und schließlich die Bahnregelung, damit diese kollisionsfrei und genau zurückgelegt wird. Erkennt ein FTF neue Hindernisse auf der zunächst berechneten Bahn, passt es diese an die Bewegung des Hindernisses an.

Lokalisierung erfolgt einerseits über odometrische Informationen, also über die Schätzung der gefahrenen Bahn ab einem beliebigen Punkt anhand der Radumdrehungen. Sensoren wie Laserscanner machen die Lokalisierung noch robuster. Sie helfen, Umgebungsmerkmale zu erkennen und die Position relativ zu diesen zu bestimmen. Diese Informationen werden mit einer vorhandenen Umgebungskarte abgeglichen, welche die Software aus vorhandenen CAD-Daten erzeugt. Optional kann sich das mobile System die Umgebungskarte eigenständig mit dem sogenannten SLAM-Algorithmus



## EMV-Probleme im Schaltschrank?

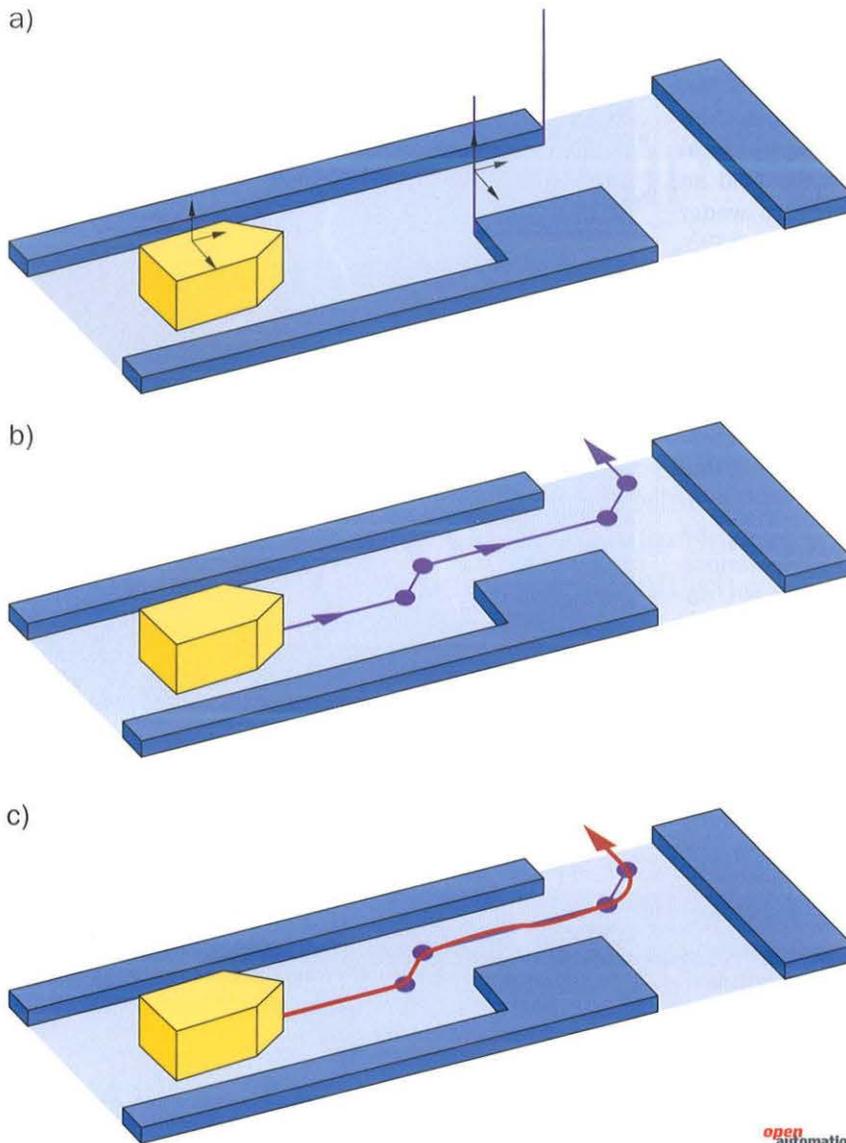
### BLITZDUCTOR® SP: Überspannungsschutz für MSR- Kreise, Datenschnitt- stellen und Bussysteme

- Anwendungs- und kostenoptimierte Lösung
- Platzsparender Überspannungs-Ableiter für die Hutschienenmontage
- Teilbar in universelles Basisteil und anwendungsspezifisches Schutzmodul
- Hohes Ableitvermögen bis 20 kA (8/20µs)
- Vibrations sichere Modulverrastung im Basisteil

Für mehr Informationen: [www.dehn.de/anz/2449](http://www.dehn.de/anz/2449)

DEHN schützt.®  
Überspannungsschutz, Blitzschutz / Erdung, Arbeitsschutz

DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG.  
Postfach 1640, 92306 Neumarkt, Germany  
Tel. +49 9181 906-1123, [info@dehn.de](mailto:info@dehn.de)



Schlüsseltechnologien mobiler Navigation:

- a) Lokalisierung: Wo befindet sich das mobile System?
- b) Bahnplanung: Wie kommt das mobile System zum Ziel?
- c) Bahnregelung: Wie kann das mobile System die Bahn dynamisch anpassen?

mus (Simultaneous Localisation and Mapping) inkrementell erzeugen.

Basierend auf der vorhandenen bzw. erstellten Umgebungskarte berechnet die Navigationssoftware auf dem FTF zunächst die optimale Bahn zum vorgegebenen Ziel. Einmal losgefahren, muss das FTF aber seine Bahn ständig überprüfen und bei Bedarf ändern. Hier kommen verschiedene Bahnplanungsverfahren zum Einsatz, welche die Bahn basierend auf lokalen Sensorinformationen stetig anpassen und gegebenen-

falls Ausweichmanöver berechnen.

Dabei gilt: Mit je mehr Sensoren die einzelnen FTF ausgestattet und je ausgefeilter die Navigationsalgorithmen sind, desto verlässlicher können sie auf dynamische Einflüsse in der Umgebung reagieren. Allerdings steigen damit auch die Kosten für die eingesetzten Sensoren und für die nötige Rechenleistung. Ziel der Wissenschaftler am Fraunhofer IPA ist es deshalb, sowohl die Kosten für freie Navigation zu senken und zugleich die Navigation technologisch auf ein höheres

Level zu bringen. Dies macht eine cloudbasierte Lösung möglich. Sie bietet nicht nur nahezu unbegrenzte Rechenkapazität und in Bezug auf die eingesetzte Hardware „schlanke“ FTF, sondern durch die Bündelung aller Sensordaten auch eine vorausschauende und folglich noch effizientere Bahnplanung. Nicht zuletzt lässt sich eine vereinfachte Inbetriebnahme und Instandhaltung einer FTF-Flotte realisieren.

### Cloudbasierte Lösung

In der angestrebten Cloud-Navigation findet die Auswertung der Sensordaten nicht mehr ausschließlich auf den einzelnen FTF statt, sondern jedes FTF übermittelt die aktuellen und vorverarbeiteten Umgebungs- und Fahrdaten an eine cloudbasierte Leitsteuerung. Durch Auswertung der Daten aller Fahrzeuge und deren Sensoren wird eine sich stetig aktualisierende Karte der gesamten Produktionsumgebung erzeugt, die alle statischen und dynamischen Objekte enthält. Basierend auf dieser Karte passt die Leitsteuerung die Bahnen für die sich im Einsatz befindlichen FTF an. Dadurch werden über die Zeit die Invarianten einer Umgebung erkennbar, die sich als Umgebungsmerkmale nutzen lassen, aber auch typische Bewegungen und Abläufe, die in die vorausschauende Bahnplanung einfließen.

Hindernisse auf der geplanten Bahn eines FTF, zum Beispiel andere Fahrzeuge, sind frühzeitig erkenn- und an die Leitsteuerung übermittelbar. Diese kann Alternativrouten berechnen und vorausschauendes Umfahren ermöglichen. Außerdem können sich die FTF gegenseitig beim Lokalisieren unterstützen, indem sie sich wechselseitig detektieren und ihre Positionsinformationen austauschen.

Darüber hinaus möchten die Wissenschaftler eine prädiktive, also vorhersehende, Navigation ermöglichen. Damit sollen aus den gebündelten Sensordaten die Bewegungen anderer dynamischer Objekte, zum Beispiel Menschen, prädiziert werden, um darauf basierend die Bahn



für das FTF anzupassen. Dies soll einerseits situativ erfolgen, also anhand von aktuellen Sensordaten. Andererseits kann die Prädiktion auch auf der Auswertung von Daten über längere Zeiträume basieren. Die beobachteten Datenmuster können unter anderem darüber Auskunft geben, dass zu bestimmten Uhrzeiten einzelne Bahnabschnitte besonders frequentiert sind und die FTF diese lieber meiden sollten.

### Wirtschaftliche und technische Vorteile

Neben der verbesserten intelligenteren Navigation bietet die Cloud-Navigation auch wirtschaftliche Vorteile. Davon profitieren besonders kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), weil sich die teuren Anfangsinvestitionen für ein FTS wie auch die laufenden Kosten reduzieren. Bei der Sensorik entstehen Synergieeffekte: Weil die Informationen in der Cloud gebündelt werden, profitiert jedes Fahrzeug von der Gesamtheit aller Sensorinformationen des FTS und nicht nur von den eigenen. In gewissen Fällen könnte es die Cloud-Navigation sogar ermöglichen, eine bestimmte Sensorabdeckung mit weniger Sensoren als bisher zu erreichen, weil mehrere FTF einen Sensor gleichzeitig „nutzen“ können.

Außerdem sind die Anforderungen an die Rechenleistung der einzelnen FTF geringer, denn ein Großteil der Berechnungen erfolgt in der Cloud. Diese bietet nahezu unbegrenzte Rechenkapazitäten, die auf den einzelnen FTF eingespart werden kann. Das FTS ist zudem über die Leitsteuerung sehr gut wart- und erweiterbar, sodass ein umständliches Um- oder Aufrüsten der ganzen Flotte entfällt. Auch wären „Upgrades over the air“, also Softwareaktualisierungen ohne physische Verbindung zu den einzelnen FTF, möglich. Wird die Cloud von einem externen Anbieter unter Berücksichtigung notwendiger Daten- und Ausfallsicherheit bereitgestellt, könnte Rechenleistung on demand bereitstehen und müsste auch nur dann bezahlt werden, wenn das

FTS sie abgerufen hat. Mit diesen Möglichkeiten wird das FTS so flexibel, wie es aktuelle Entwicklungen hin zu einer wandelbaren Produktion im Kontext von Industrie 4.0 fordern.

### Fazit

Aktuell arbeitet das Fraunhofer IPA an der Umsetzung der cloudbasierten Navigationslösung für den industriellen Einsatz. Alle am Produktionsprozess beteiligten Komponenten wären als cyber-physikalische Systeme (CPS) vernetzt und tauschen kontinuierlich Informationen

aus. Intelligente und kommunizierende mobile Systeme sind für vernetzte Produktionsanlagen eine Schlüsselkomponente, um einen dynamischen Materialfluss und effiziente intralogistische Arbeitsabläufe zu gewährleisten. Das Fraunhofer IPA steht hierfür als Entwicklungspartner in Forschungs- und Industrieprojekten von der ersten Idee über Machbarkeitsstudien und Konzepte bis zur Umsetzung vollständiger FTS als Ansprechpartner zur Verfügung.

[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)



## REX 100 – DER NEUE ETHERNET-ROUTER

### Maschinenfernzugriff kompakt und flexibel!

Die Modellreihe REX 100 erweitert die Industrierouter-Familie REX um kompakte und flexibel einsetzbare Geräte, die nicht einmal Handteller-großen Router lassen sich im Schaltschrank auf jede Standard-Hutschiene aufrasten. Dennoch bieten sie alle Funktionen, die man von einer modernen Fernwartungslösung erwartet.

- WAN/LAN oder 3G/LAN-Variante erhältlich
- Integrierter 3 bzw. 4-Port LAN-Switch
- Digitale Eingänge für Verbindungsaufbau und Alarmierung
- Einfache und schnelle Konfiguration über das myREX24-VPN-Portal