



AMR in Durchsatzanlagen

Mobile Robotik, Autonomie und die Auswirkungen auf Leistung und Verfügbarkeit in der Intralogistik

FTS-Talk 52, am 26. Februar 2026
Dr. Günter Ullrich
Leiter Forum-FTS und VDI FA MR



Mobile Robotik – Überblick

Mobile Robotik ist die Lehre, die Disziplin der beweglichen Bewegungsautomaten und umfasst die Technologien FTS mit FTF (engl. AGV) und AMR, die mobilen Industrieroboter mit Radfahrwerken, die humanoiden Roboter meist ohne Räder, sondern als Laufroboter ausgeführt und (flurfreie) Drohnen.



FTS mit FTF (engl. AGV)

Fahrerlose Transportsysteme mit Transportfahrzeugen



AMR

Autonome Mobile Roboter



Humanoide Roboter

Laufroboter ohne Räder



Drohnen

Flurfreie mobile Roboter

Begriffe:

AG = Auftraggeber, Kunde, Betreiber; AN = Auftragnehmer, Integrator, FTS-Hersteller

AGV = engl. Automated Guided Vehicle / FTF = Fahrerloses Transportfahrzeug, deutsche Übersetzung für AGV

AMR = Autonomer Mobiler Roboter

Leitfaden Autonomie, <https://forum-fts.com/community-2/vdi-fa-mr/fts-schriften/>

AG = Auftraggeber, Kunde, Betreiber; AN = Auftragnehmer, Integrator, FTS-Hersteller

Das Fahrerlose Transportsystem (FTS)

Der Begriff „fahrerloses Transportsystem“ (FTS, engl. AGV system) wird seit mehr als sechzig Jahren verwendet und beschreibt ein innerbetriebliches Logistiksystem, bei dem Materialtransporte mittels einer Flotte automatischer flurgebundener Flurförderzeuge erledigt werden.

So ein FTS versteht sich als Organisationsmittel und Garant für einen zuverlässigen, sicheren Materialtransport mit definierter Leistung, Verfügbarkeit und Qualität. Die Peripherie und alle parallelen Prozesse der Produktionslogistik sind sorgfältig aufeinander abgestimmt.



FTS-Leitsteuerung



Fahrzeugflotte



Schnittstellen zur Infrastruktur

Die Fahrzeuge heißen FTF (engl. AGV), haben einen eigenen Fahrantrieb, sind berührungslos geführt und automatisch gesteuert.

Anwendungen & Einsatzumgebungen

Anwendungen

- Eine klassische Intralogistikanwendung (Taxibetrieb)
- Montagelinien für Serienprodukte (Fließlinien- oder Taktbetrieb)
- Eine Aufgabenstellung im Lager

Einsatzumgebungen

- Innerbetrieblich, entweder indoor oder outdoor
- Entweder nur zusammen mit unterwiesenem Personal oder sogar in öffentlich zugänglichen Bereichen

Die Leitsteuerung kann unterschiedlich ausgeführt sein:

Letztlich sind es die Leitsteuerungsfunktionen, die vorhanden sein müssen, aber „irgendwo“ verortet sein können.

Diese Funktionen können auf dem Server beim Anwender, in der Cloud oder verteilt auf den Fahrzeugen laufen.



Die häufigste Verwendung von FTS: Durchsatzanlagen

Diese zeichnen sich aus durch:

- Innerbetrieblicher Einsatz
- Indoor, kein Außeneinsatz
- Nur unterwiesenes Personal (alle Mitarbeiter sind geschult)
- Transport von Paletten und/oder standardisierten Behältern

Durchsatzanlagen: Verbundene Bereiche & Abgrenzung

Sie verbinden folgende Bereiche miteinander:

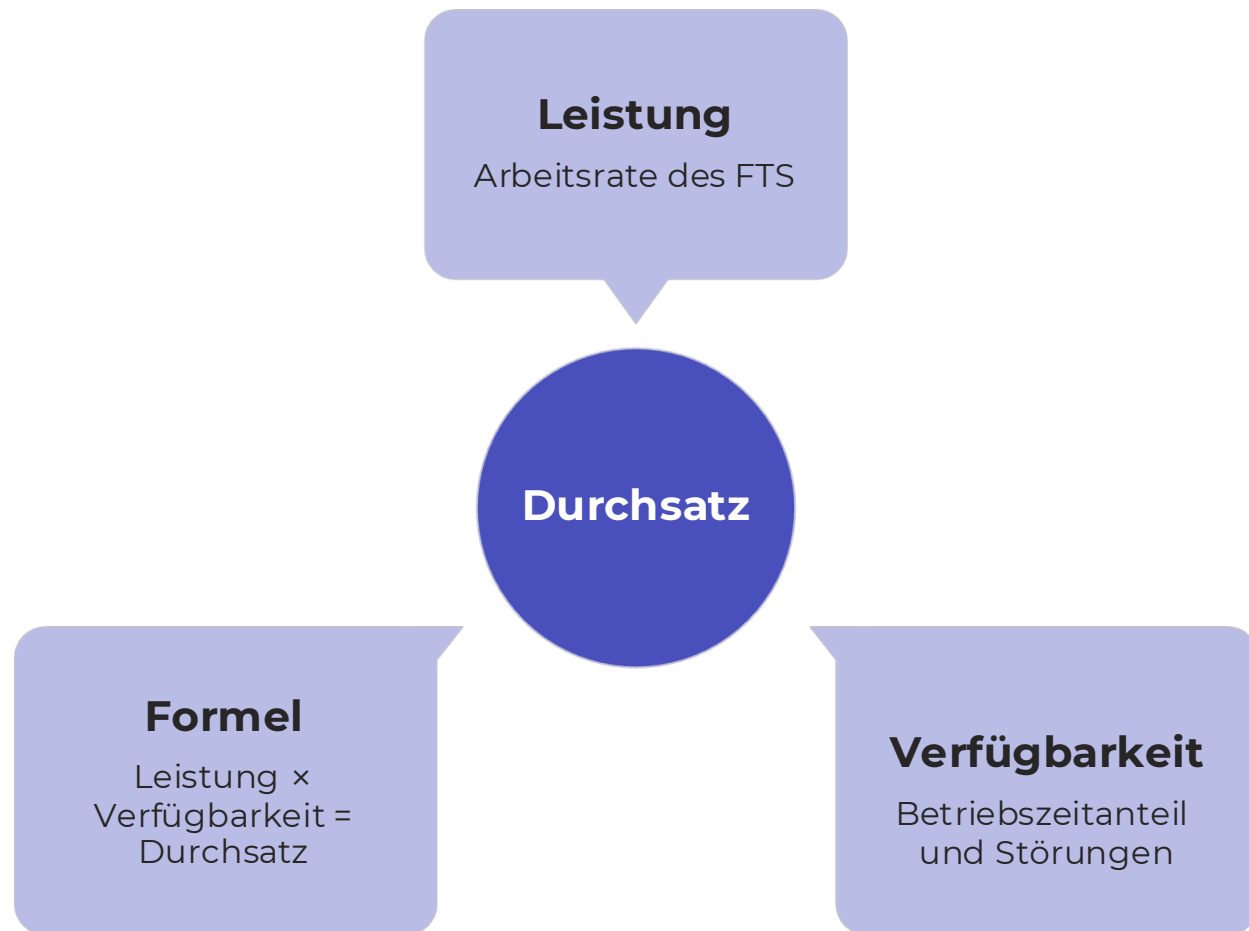
1. Bereitstellflächen am Wareneingang
2. Ein- und Auslagerstiche von automatischen Lägern, z. B. HRL
3. Bedienung von Regallägern
4. Bedienung von bodenebenen Stellflächen oder Blocklägern
5. Quellen und Senken in der Produktion
6. Bereitstellflächen am Warenausgang

Sie übernehmen üblicherweise **nicht**:

- Einsatz im Außenbereich
- Einsatz in öffentlich zugänglichen Bereichen
- Transporte innerhalb von Montagelinien
- Sie sind nicht Drohnen oder humanoide Roboter.

☐ Sie werden mit dem Ziel eingesetzt, **maximalen Durchsatz** zu erbringen.

Durchsatz – Die zentrale Kenngröße



Denken Sie dran:

- Die Vollautomatisierung ist ein baldiges Muss (dark factory)!
- Das Transportieren und Handhaben von Paletten ist kein Hexenwerk!
- Verstehen Sie bitte das FTS als ein Organisationsmittel und als den Wegbereiter in die Zukunft!

Der **Durchsatz** ist die zentrale Kenngröße für FTS-Anwendungen, definiert als **Produkt aus Leistung und Verfügbarkeit**.

Bei klassischen AGV/FTF-Systemen lässt sich die Leistung im Vorfeld planen und nachweisen; sie ist maximal möglich, wenn alles störungsfrei läuft.

Die Verfügbarkeit hingegen zeigt sich erst im realen Betrieb und wird gemäß VDI-Richtlinien über AG- und AN-verursachte Störungen bewertet. Eine solche Einteilung hinsichtlich der Verantwortung von Leistungsanteilen gibt es (noch) nicht.

Aus der Zielsetzung der Maximierung des Durchsatzes leitet sich bereits ab, dass die technischen Einrichtungen nicht nur leistungsfähig sein müssen, sondern auch störungsfrei funktionieren müssen.

Automatisch vs. autonom

SIEHE AUTONOMIE-LEITFADEN!

Ein FTS, bzw. seine Fahrzeuge AGV/FTF/AMR verfügen über **automatische Funktionen**. Die gängigsten sind:

01

Spurführung

Fahren auf einer kontinuierlich vorhandenen, physikalischen Spur

02

Navigation

Lageerfassung und Navigation für virtuelle Spurführung

03

Energie-Management

Automatisches Energie-Management, d. h. ohne manuelle Eingriffe

04

Lasthandling

Automatisches Lasthandling

05

Kartierung

Geführtes Kartieren der Einsatzumgebung bei Inbetriebnahme und Erweiterungen/Änderungen

Automatische Funktionen (Fortsetzung)

6

Transportaufträge

Situationsbedingte dynamische Verteilung der Transportaufträge

7

Dynamic Routing

Situationsbedingtes Umplanen von Routen (Dynamic Routing)

8

Verkehrsregelung

Situationsbedingte Verkehrsregelung

9

Selbstdiagnose

Selbstdiagnose für eine vorbeugende Wartung

10

Betriebszustände

Reagieren auf besondere Betriebszustände wie Brandalarm, Betriebsunterbrechungen, Schichtbeginn, Schichtende, Wochenende, defekte Funktionen oder Komponenten

Aktuell bekannte **autonome** Funktionen

1 **Hindernisumfahrung**

Umfahren von Hindernissen basierend auf einer 2D- oder 3D-Umfelderfassung

2 **Routenumplanung im Mischbetrieb**

Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb

3 **Flächenfahrt**

Fahren auf freigegebenen Flächen

4 **Objekterkennung (Fahren)**

Fahren und Reagieren auf Basis von Objekterkennung und -klassifizierung

5 **Objekterkennung (Lasthandling)**

Lasthandling auf Basis von Objekterkennung und -klassifizierung

6 **Dynamische Umgebungsmodellierung**

Selbstständige, dynamische Aktualisierung der Modellierung der Einsatzumgebung im laufenden Betrieb

7 **Verkehrsregelung Mischbetrieb**

Verkehrsregelung unter Berücksichtigung des Mischbetriebs

8 **Zustandserkennung**

Selbstständiges Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugzustandsdaten im laufenden Betrieb

Hindernisumfahrung: Positiv & Negativ

Eigenschaften der autonomen Funktion „Umfahren von Hindernissen“:

✓ Positiv

Störungen im Ablauf durch temporäre Hindernisse werden vermieden.

⚠ Negativ

Diese Funktion hebt den generellen Vorteil des FTS auf, als **Organisationsmittel** die Abläufe der Produktionslogistik zu optimieren:

- Der Zwang zur Sauberkeit und Ordnung (**aufgeräumte Einsatzumgebung**) lässt nach und die Abläufe werden chaotischer.
- Die **Vorhersagbarkeit von Fahrzeugbewegungen** nimmt ab, was zu Irritationen bei den Mitarbeitern führen kann.
- Die Gefahr von **Deadlocks** kann zunehmen.

Sicherheitsaspekte bei der Hindernisumfahrung

Freiraum

Die bei der Hindernisumfahrungen benutzte Fläche muss über **die komplette Höhe** des Fahrzeugs inkl. Last frei sein. Das Fahrzeug muss hierbei die erforderlichen Sicherheitsabstände entsprechend der Typ B-Norm DIN EN ISO 13854 oder einer C-Norm wie der DIN EN ISO 3691-4 einhalten.

Gegenfahrbahn

Wird beim Umfahren eines Hindernisses die Gegenfahrbahn benutzt, ist ggf. für die Reichweite der Personenschutzrichtungen aller Fahrzeuge die **Summe der Bremswege** der beteiligten Fahrzeuge zu berücksichtigen (insbesondere bei heterogenen Flotten mit unterschiedlich schnell fahrenden Fahrzeugen). Das Sicherheitsniveau ergibt sich aus der **Risikobeurteilung**, die hier die Besonderheit von bewegten Hindernissen im Fahrweg berücksichtigen muss. Insbesondere müssen Personen- und Sachschäden berücksichtigt werden, die entstehen können, wenn Fahrzeuge mit deutlich unterschiedlicher Geschwindigkeit und/oder Gewicht kollidieren.

Betreiberverantwortung

Dem Betreiber obliegt die Verantwortung, **organisatorische Maßnahmen** zum Schutz der Mitarbeiter zu formulieren und deren Einhaltung sicherzustellen. Abhängig von der sensorischen Ausstattung der Fahrzeuge (auch 2D oder 3D) können diese Maßnahmen ggf. sehr umfangreich ausfallen.

AGV/FTF vs. AMR – Begriffliche Abgrenzung

Die Fahrzeuge werden als AGV/FTF oder als AMR bezeichnet. Insbesondere der Begriff „AMR“ wird jedoch uneinheitlich und oftmals **marketinggetrieben** verwendet, was zu Missverständnissen und falschen Erwartungen führt, z. B.:

Ein AMR ist das modernere und bessere AGV / FTF.

Ein AMR verfügt über mehr Sensoren und ist intelligenter als ein AGV/ FTF.

Ein AGV / FTF folgt einer physikalischen Spur – ein AMR kann sich frei bewegen.

Eine saubere Abgrenzung gelingt über den Begriff der Autonomie, was wörtlich „Selbstgesetzgebung“ bedeutet und die Fähigkeit eines Systems beschreibt, auf Basis selbst generierter Informationen eigenständig Entscheidungen zu treffen und Handlungen auszuführen, ohne vollständig durch eine übergeordnete Instanz gesteuert zu werden.

Eltern erleben die Autonomie bei Ihren Kindern, wenn diese sich von den Eltern **abnabeln**, also selbstständig werden. Übertragen auf die mobile Robotik heißt das: Fahrzeuge oder eine Leitsteuerung sind dann autonom, wenn diese eigenständig Aktionen planen und ausführen.

Ein autonomes Fahrzeug nabelt sich von der Leitsteuerung
und die autonome Leitsteuerung vom übergeordneten IT-System (ERP, WMS) ab.

Autonomie in der Praxis

Die Autonomie, wie wir sie heute kennen, äußert sich in den autonomen Funktionen im AMR. Bisher kennen wir **keine autonomen Funktionen in der Leitsteuerung**. Vorstellbar ist, dass die Leitsteuerung über Informationen verfügt, die ein selbstständiges Abweichen von den Vorgaben des übergeordneten Systems (Transportaufträge) sinnvoll machen.

Autonome Funktionen können also sowohl auf Fahrzeug- als auch auf Leitsteuerungsebene existieren.

Das Gesamtsystem, nämlich das FTS, gilt folglich als autonom, wenn die Fahrzeuge und/oder die Leitsteuerung solche Funktionen nutzen.

Dabei ist zu beachten, dass diese ein- und ausgeschaltet werden können.

Ein Fahrzeug bleibt somit immer ein AGV/FTF, wird jedoch zeitweise zum AMR, wenn autonome Funktionen aktiv sind.

- ❏ Der Leitfaden „Autonomie“ nennt die wichtigsten heute bekannten autonomen Funktionen und definiert dazu einen **Autonomiegrad** der Fahrzeuge. Einheitliche Begriffe oder Abkürzungen für autonome FTS oder Leitsteuerungen existieren bislang nicht.

Durchsatz & Autonome Funktionen – Beispiele



Kommen wir jetzt nochmal zum Durchsatz, der zentralen Kenngröße für FTS-Anwendungen, definiert als Produkt aus Leistung und Verfügbarkeit.

Bei klassischen AGV/FTF-Systemen lässt sich die Leistung im Vorfeld planen und nachweisen; sie ist maximal möglich, wenn alles störungsfrei läuft.

Die Verfügbarkeit hingegen zeigt sich erst im realen Betrieb und wird gemäß VDI-Richtlinien über AG- und AN-verursachte Störungen bewertet. Eine solche Einteilung hinsichtlich der Verantwortung von Leistungsanteilen gibt es (noch) nicht.

Diese Gedanken haben Auswirkungen auf die **Abnahme** von Anlagen, insbesondere auf die **Leistungs- und Verfügbarkeits-tests**.

Für AMR existieren bislang keine vergleichbaren Richtlinien oder Normen.

Autonome Funktionen verschieben bekannte Effekte, was bisher wenig Beachtung findet:

Verschiebung von Leistung & Verfügbarkeit

Beispiel 1: Hindernisumfahrung

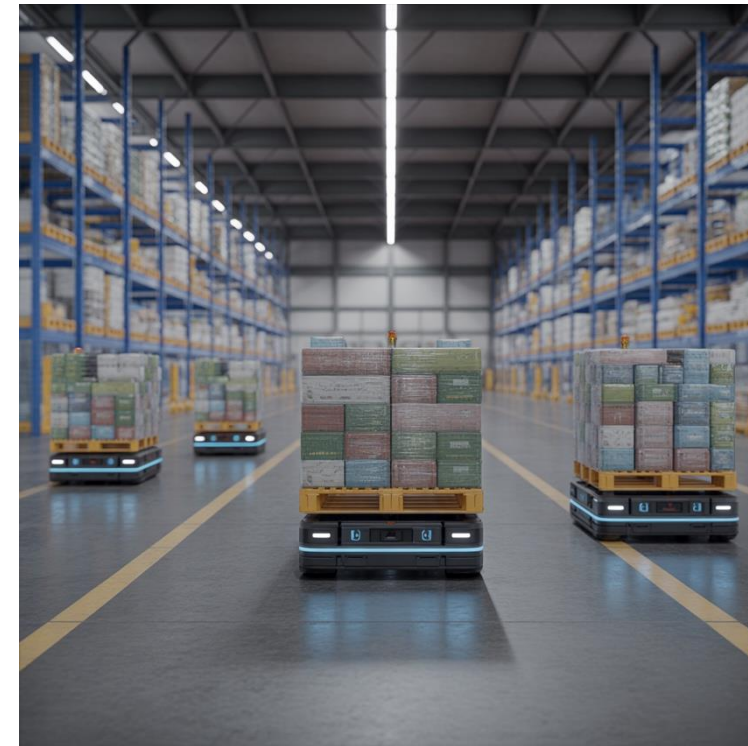
Das AGV/FTF meldet eine Störung, wenn es hinter einer falsch im Fahrweg abgestellten Palette anhält. Die Störung und die dadurch verringerte Verfügbarkeit wird dem AG zugeordnet.

Ein AMR mit der Autonomiefunktion „Umfahren von Hindernissen“ wird nicht hinter der Palette anhalten, sondern drum herumfahren.

Wenn das „gut geht“, gibt es gar keine Störung, sondern eine (kurze) Verlängerung der Fahrzeit, somit also eine geringe Verschlechterung der Leistung.

Sollte es bei dieser Aktion allerdings zu einer Störung kommen, geht diese in die Verfügbarkeit ein, und zwar als AN-bezogene Verfügbarkeit.

So eine Störung kann eine Blockadesituation mit einem anderen, entgegenkommenden Fahrzeug sein, die vom AMR verursacht wurde!



Beispiel 2: Routenumplanung im Mischbetrieb

Verfügt ein AMR über die autonome Funktion „Situationsbedingtes Umplanen von Routen im Mischbetrieb“, dann gelten die Aussagen wie im ersten Beispiel: Das AMR übernimmt die zusätzliche Zeit zur Befahrung der alternativen (vermutlich längeren) Route vom Konto der AG-bedingten Verfügbarkeit auf das der Leistung. Wenn diese neue Route aber zu einer Blockung führt, kann es auch hier zu einer Störung kommen, die dann wiederum auf das Konto der AN-bedingten Verfügbarkeit geht.

Der Durchsatz verschlechtert sich beim Einsatz von AMR!

Somit wird es schwerer, die Leistung und damit den Durchsatz des Gesamtsystems zu planen. Zusätzlich problematisch ist, dass die „**Schuldfrage**“, also die Frage nach der Verursachung der **Leistungs-Verschlechterung** heute nicht betrachtet wird. In jedem Fall verschlechtert sich beim Einsatz von AMR der Durchsatz! Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, dass die Anzahl der falsch abgestellten Paletten zunehmen wird, wenn AMR anstatt AGV/FTF eingesetzt werden, weil die Mitarbeiter wissen, dass die AMR ihre „Fehler“ (z. B. Abstellen einer Palette auf dem Fahrweg) ausbügeln werden. Der **„Erziehungseffekt“** des FTS fehlt!

Die Auswirkungen autonomer Funktionen sind in bestehenden Richtlinien nicht ausreichend berücksichtigt und müssen daher in jedem Projekt **vertraglich** klar geregelt werden. Insbesondere sind Häufigkeit, Einsatzorte und Grenzen autonomer Aktionen festzulegen, um negative Effekte auf Leistung und Verfügbarkeit zu begrenzen. Das liegt durchaus im Interesse des AN!

Vertragliche Regelung ist unerlässlich

Das **Versprechen** des AN, dass sein AMR um falsch abgestellte Paletten und andere Hindernisse herumfahren kann, **reicht nicht**. Es liegt in seinem Interesse, den Einsatz der autonomen Funktionen zu begrenzen. Denn mit zunehmender Anzahl autonomer Aktionen wachsen die negativen Auswirkungen auf die Leistung und die Wahrscheinlichkeit, dass die AN-bezogene Verfügbarkeit in Mitleidenschaft gerät. Auch für andere Autonomiefunktionen als „nur“ die Hinderniserfahrung muss mindestens festgelegt werden, wo und wie oft solche autonomen Aktionen akzeptabel sind. Sonst leidet der Durchsatz zu sehr und mögliche **erzieherische Effekte hinsichtlich Ordnung im Betrieb** entfallen.

- ❏ Autonomie erfordert eine präzise Begriffsdefinition und hat erhebliche Auswirkungen auf Planung und Bewertung von FTS.
Ohne klare Regelungen und realistische Erwartungen kann der Einsatz autonomer Funktionen den angestrebten Durchsatz deutlich beeinträchtigen.

Auch für die **Simulation und die Steuerung** des FTS (Leitsteuerung) wird es schwer bis unmöglich, autonome Fahrzeugfunktionen in ihrer ganzen Tragweite zu berücksichtigen und in messbare Systemvorteile zu überführen.

Am stringentesten ist und bleibt es, wenn man in Durchsatzanlagen auf autonome Funktionen verzichtet, weil der AG es geschafft hat, seine Prozesse und die Einsatzumgebung des FTS zu ordnen!

Der gedankliche Fehlansatz

Durchsatzanlagen brauchen kein AMR, sondern strukturierte und organisierte Prozesse!

So wirbt der AMR-Anbieter:

Lieber Kunde, Du brauchst dich um nichts zu kümmern. Du kannst alles so lassen wie es ist. Wir liefern Dir modernste AMR, mit denen Du Dein **Chaos beherrschen** kannst!

Sie fahren um alle Hindernisse herum, suchen sich eigene Wege und können 10 m weit fliegen.

