



## ► Sicherheit von fahrerlosen Transportsystemen

**PILZ**  
THE SPIRIT OF SAFETY

Wie kann die Sicherheit von fahrerlosen Transportsystemen/ autonomen mobilen Robotern und ihren Systemen sichergestellt werden?

Whitepaper

Stand: Oktober 2021

## Haftungsausschluss

Wir haben unser Whitepaper sehr sorgfältig zusammengestellt. Es enthält Informationen über unser Unternehmen sowie über unsere Produkte. Alle Angaben haben wir nach dem heutigen Stand der Technik und bestem Wissen und Gewissen gemacht. Dennoch können wir für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben, sofern uns nicht der Vorwurf grober Fahrlässigkeit trifft, keine Haftung übernehmen, da sich trotz aller Sorgfalt Fehler nicht vollständig vermeiden lassen. Insbesondere haben die Angaben nicht die rechtliche Qualität von Zusicherungen oder zugesicherten Eigenschaften. Für Hinweise auf Unstimmigkeiten sind wir dankbar.

## Urheberrecht

Alle Rechte an dieser Publikation sind der Pilz GmbH & Co. KG vorbehalten. Technische Änderungen behalten wir uns vor. Kopien für den innerbetrieblichen Bedarf des Benutzers dürfen angefertigt werden. Die verwendeten Produkt-, Waren- und Technologiebezeichnungen sind Warenzeichen der jeweiligen Firmen.

Pilz GmbH & Co. KG  
Felix-Wankel-Straße 2  
73760 Ostfildern  
Deutschland

© 2021 by Pilz GmbH & Co. KG, Ostfildern  
1. Auflage

## Auf einen Blick

Die räumliche, statische Trennung zwischen Mensch und Maschine sorgt traditionell für Sicherheit in Fabrikhallen. In modernen Industrieumgebungen ersetzen jedoch flexible Produktionsprozesse starre Produktionslinien. Vor diesem Hintergrund wird der Einsatz von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) und Autonomous Mobile Robot/Vehicles (AMR/V) immer beliebter, zumal sie zunehmend autonomer, flexibler und weniger abhängig von der festen Infrastruktur sind, in der sie betrieben werden. Bei diesem Wandel müssen moderne Sicherheitskonzepte dafür sorgen, dass die Interaktion zwischen Mensch und Maschine reibungslos und unfallfrei abläuft.

Eine „sichere“ FTS-Anwendung ist das Ergebnis der richtigen Technologie, dem Verständnis der spezifischen Anwendung und des normativen Rahmens. Durch eine derartig ganzheitliche Betrachtung der FTS-Anwendung lassen sich Sicherheit und Produktivität am besten in Einklang bringen.

In diesem Whitepaper finden Sie Informationen zu den Anforderungen der einschlägigen FTS-Normen. Zudem wird der Sicherheitsprozess für FTS beschrieben – einschließlich aller relevanten Aspekte, die für eine sichere FTS-Anwendung notwendig sind. Dies wird anhand eines kleinen praktischen Beispiels illustriert.

# Inhalt

<b>1. Informationen zu Normen.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Verfahren für sichere FTS .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Sicherheitsaspekte einzelner FTS .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Sicherheitsaspekte von FTS-Systemen .....</b>	<b>8</b>
<b>5. Sicherheitsbeispiel.....</b>	<b>10</b>
<b>6. Schlussfolgerung/Zusammenfassung .....</b>	<b>12</b>

## 1. Informationen zu Normen

Die Veröffentlichung von Normen für fahrerlose Transportsysteme (FTS)/Autonomous Mobile Robots (AMR), insbesondere der ISO 3691-4 im Jahr 2020, war eine Reaktion auf die rasche Entwicklung neuer Technologien im Bereich der automatisierten Fahrzeuge. Die ISO-Norm war längst überfällig, da die Veröffentlichung der Vorgängernorm (EN 1525:1997) bereits 23 Jahre zurückliegt. Sie kann nun als die wichtigste internationale FTS-Norm angesehen werden. In Europa wird die ISO 3691-4 durch die Norm EN 1175:2020 ergänzt, die sich auf spezifische elektrische Aspekte von selbstfahrenden Flurförderzeugen (einschließlich FTS) bezieht. Beide Normen stehen zur Harmonisierung im Rahmen der einschlägigen europäischen Richtlinien an (Stand 08/2021).

Zusätzlich zur internationalen Einführung der ISO 3691-4 haben die USA 2019 und 2020 ebenfalls entsprechende Normen aktualisiert: ANSI/ITSF B56.5:2019 (FTS) und ANSI/RIA R15.08-1:2020 (AMR).

## 2. Verfahren für sichere FTS

Die Norm ISO 3691-4 beschreibt ein klares Verfahren zur Erreichung der Sicherheit eines **einzelnen FTS**. Interessanterweise gilt die Norm nicht nur für den FTS-Hersteller, sondern enthält auch Anforderungen an den Benutzer des **FTS-Systems**. Ein FTS-System wird definiert als die Kombination aus einem oder mehreren FTS/AMR und der Umgebung der Einrichtung.

Der Prozess für ein **einzelnes FTS** kann folgendermaßen zusammengefasst werden:



Abbildung 1: Prozess für ein individuelles FTS mit Referenzbeispielen

Zusätzlich für das **FTS-System**:



Abbildung 2: Prozess für ein FTS-System mit Referenzbeispiel

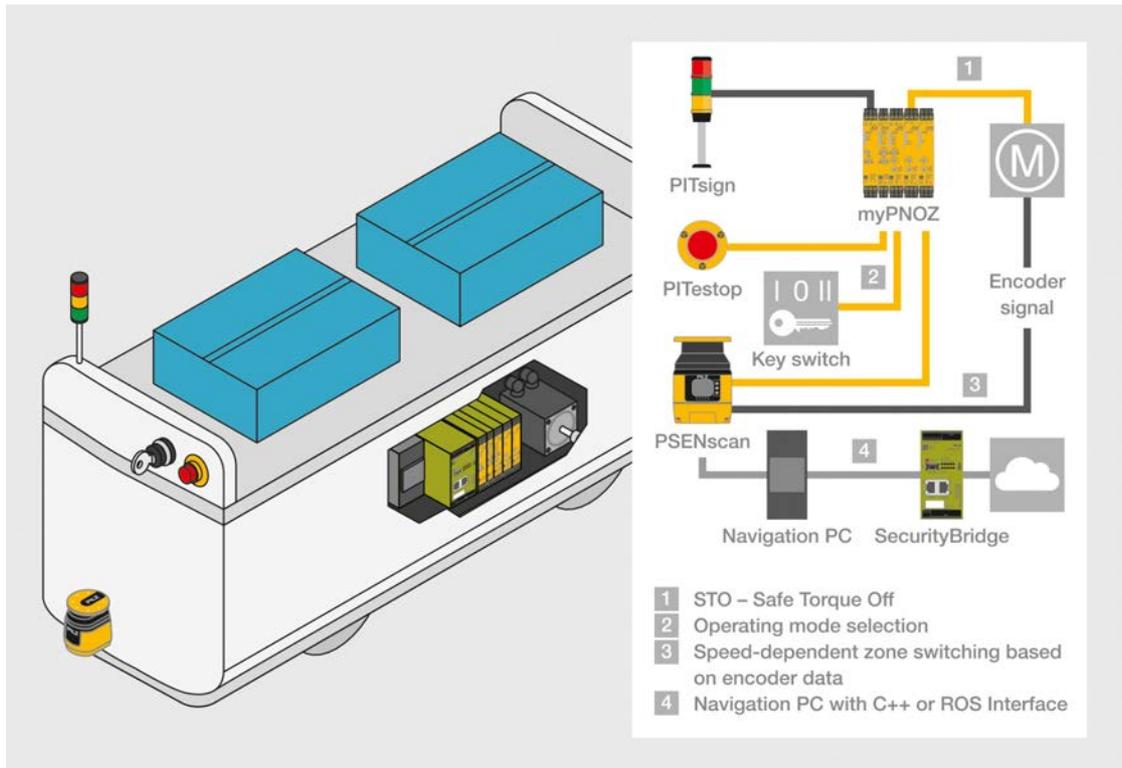
### 3. Sicherheitsaspekte einzelner FTS

Einzelne FTS werden als Maschinen definiert. Innerhalb Europas bedeutet dies, dass sie der Maschinenrichtlinie und den zugehörigen Normen entsprechen müssen und vom Hersteller mit dem CE-Kennzeichen versehen werden müssen. Außerhalb Europas können die Konformitätsaspekte des einzelnen FTS im Rahmen der endgültigen Integration behandelt werden.

Ein Risiko eines FTS ist die Gefährdung durch Stöße, die mit dem sich bewegenden Fahrzeug verbunden ist. Dieses und weitere Risiken und die damit verbundenen Anforderungen werden in der ISO 3691-4 sehr detailliert beschrieben. Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist ein gründlicher FTS-Risikobewertungsansatz erforderlich, der z.B. folgende Themen beinhaltet:

- ▶ **ALLGEMEINES** Bestimmungsgemäße Verwendung, mechanische Gefährdungen, scharfe Kanten/Winkel oder Getriebeteile
- ▶ **ELEKTRIK/ ELEKTRISCHE VERSORGUNG** Risiko unter Berücksichtigung des einzigartigen Aspekts, dass die Maschine nicht stationär ist und dass ein Fehlerschutz durch elektrische Trennung und/oder niedrige Spannungen erreicht werden muss. Aspekte der Batterieladung und anderer Versorgungsquellen (z.B. Flüssigkeit) müssen ebenfalls berücksichtigt werden
- ▶ **STEUERUNG** Funktionen wie Start/ Stopp des Betriebs und das Fahren, Lenken, Bremsen. Wichtig ist auch, wann und wie ein automatischer Neustart der Fahrt erfolgen kann

- ▶ **BETRIEBSMODI** einschließlich Automatikmodus und manuellem Modus für Einrichtung und Wartung
- ▶ **SCHUTZMASSNAHMEN** In Bezug auf die wesentliche Gefährdung durch Stöße zur Erkennung von Personen im Fahrweg wie Laserscanner, Kamera- oder Radarsensoren. Nicht zu vergessen: andere Schutzmaßnahmen wie Not-Aus, druckempfindliche Geräte und Verriegelungseinrichtungen



Beispiel für Schutzmaßnahmen an einem FTF

- ▶ **SICHERHEITSSTEUERUNG/-FUNKTIONEN** wie in Tabelle 1 der ISO 3691-4 beschrieben, mit dem Schwerpunkt darauf, wie der Performance Level (PL) gemäß ISO 13849-1 erreicht wird, wie aktive Erkennungsfelder ausgewählt werden und wie Sicherheitsfunktionen abgewählt/freigefahren werden können

Sicherheitsfunktion (Beispiele)	Erforderlicher Performance Level (PLr)
Steuerung Bremssystem	d
Personenerkennungseinrichtung	d
Not-Halt-Funktion	d
Überdrehzahlerkennung	c
Hold-to-run-Funktion (manueller Modus)	c
Handhabung von Lasten	b*

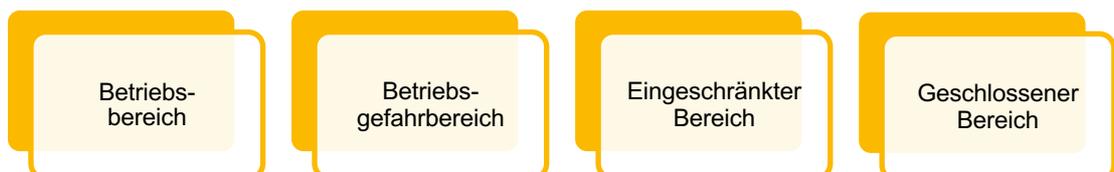
Tabelle 3: Mindestens erforderlicher PLr für Sicherheitsfunktionen

- ▶ **HANDHABUNG DER LAST** In Bezug auf die Position der Last, die Masse und die Energie der Last bei der Handhabung oder Bewegung und inwieweit diese Faktoren das Risiko und den erforderlichen PL beeinflussen.  
\* Daher muss die Anforderung  $PLr = b$  für die Handhabung von Lasten je nach Risikobewertung oft erhöht werden
- ▶ **SONDERFÄLLE** Betrachtung bei Flurförderzeugen, die Anhänger ziehen oder mit Förderbändern ausgestattet sind
- ▶ **BENUTZUNGSHINWEISE** Insbesondere in Bezug auf die Informationen, die für die Anwendung bereitgestellt werden müssen (Bodenbeschaffenheit, Wartung, Bremswegtest, Warnhinweise usw.) in Form von
  - Signalen und Warneinrichtungen
  - Markierungen, Schildern und schriftlichen Warnhinweisen
  - Begleitenden Dokumenten (Anleitungen, Wartungs- und Anwendungsinformationen)

## 4. Sicherheitsaspekte von FTS-Systemen

Ein oder mehrere FTS, die in einer industriellen Umgebung installiert sind, bilden ein „FTS-System“, mit spezifischen Risiken, die vom FTS-Hersteller möglicherweise nicht in vollem Umfang berücksichtigt wurden. Beispiele für besondere Gefahrenzonen eines FTS-/AMR-Systems sind:

- ▶ **AUSLEGUNGSEIGNUNG**, um sicherzustellen, dass die einzelnen konstruktions-bezogenen Aspekte des FTS (siehe oben) mit der bestimmungsgemäßen Verwendung des FTS in der endgültigen Umgebung übereinstimmen
- ▶ **SCHUTZEFFIZIENZ** der Schutzeinrichtung, die aufgrund bestimmter, in der Anlagenumgebung nicht erkennbarer Objekte oder der Bodenbeschaffenheit, welche sich negativ auf die Bremsleistung des FTS/AMR auswirken, eingeschränkt sein kann
- ▶ **ZONENKLASSIFIZIERUNG** des Lagers, um festzustellen, wo zusätzliche Maßnahmen zur Risikominderung (z. B. langsamere Geschwindigkeiten oder Steuerungseinrichtungen für zusätzliche Stopps) erforderlich sind. Die Zonen werden unterschieden in:



- ▶ **LASTÜBERGABE/-HANDHABUNG**, wenn die Erkennungsmöglichkeiten zur Absicherung von Lade-/ Entladebereichen reduziert werden müssen oder bei Gefahren, die von der Ladung selbst und ihrer Stabilität in Bezug auf Fahrgeschwindigkeit, Lenkung und „harte“ Sicherheitsstopps ausgehen

- ▶ **GEFAHRENSTELLEN**, an denen z. B. der Zugang zur FTS-Route um Ecken herum möglich ist, oder Bereiche, in denen das FTS auf andere sich bewegende Objekte/ Fahrzeuge trifft (z.B. manuell betriebene Gabelstapler), oder zur Verhinderung eines FTS-Stopps an Notausgängen
  
- ▶ **ZUGEHÖRIGE AUSRÜSTUNG** wie Förderbänder, Lagerregale oder andere Warenlagersysteme, die in Verbindung mit den FTS arbeiten, und insbesondere, ob und wo Sicherheitsaspekte zwischen ihnen korrelieren
  
- ▶ **ENERGIEVERSORGUNG UND BATTERIEHANDLING** im Umgang mit Risiken im Zusammenhang mit der Energieversorgung, potenziell gespeicherten Energien (Lockout-Tagout), der Verwendung von Batterien und dem Laden derselben
  
- ▶ **ADMINISTRATIVE MASSNAHMEN**, die erforderlich sind, um das Restrisiko durch die Schaffung und Anwendung von Verfahren, Schulungen, regelmäßige Wartung und Inspektionen usw. zu verringern.

Abhängig von der Steuerung und dem Zusammenspiel der verschiedenen FTS in der Betriebsumgebung kann zudem die Kombination mehrerer FTS/AMRs innerhalb eines **FTS-Systems** in der EU die Notwendigkeit der CE-Kennzeichnung des Systems als Gesamtheit von Maschinen begründen.

Unabhängig davon liegt es in der Verantwortung des Endanwenders/Betreibers, für den Einsatz des **FTS-Systems** eine sichere Arbeitsumgebung in Übereinstimmung mit den lokalen Arbeitsschutzvorschriften zu schaffen. Dies kann die Notwendigkeit zusätzlicher administrativer Maßnahmen und regelmäßiger und spezifischer Validierungsaktivitäten beinhalten.

## 5. Sicherheitsbeispiel

Um einige der zuvor genannten Aspekte zu veranschaulichen, wird hier ein kleines Beispiel dargestellt.

Ein FTS, bei dem ein Sicherheits-Laserscanner und das ROS-Paket (Robot Operating System) aus dem Open Source Framework nicht nur zur sicheren und produktiven Raumüberwachung, sondern auch zur Erstellung von Karten für die dynamische Navigation und zum Ausweichen vor Hindernissen eingesetzt werden:



In diesem Beispiel bewegt sich das FTS in einem Gang an einer Seite einer Produktionshalle, um das für eine Maschine benötigte Material bereitzustellen. Der Gang ist breit genug, um als normale „Betriebszone“ zu gelten, wenn das FTS mit voller Betriebsgeschwindigkeit arbeitet, da Freiräume von 500 mm oder mehr zu jeder Seite erreicht werden können.

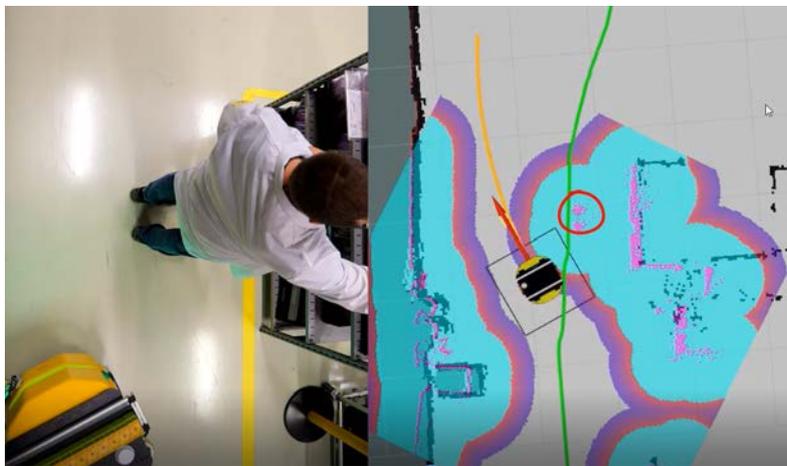


Mehrere Optionen sind möglich, wenn eine Person den Gang betritt:

- ▶ Die Person befindet sich in der Mitte des Gangs, so dass das FTS keine Möglichkeit hat, den Gang mit einem ausreichenden Freiraum von 500 mm zu umgehen. Die entsprechende Sicherheitsstopp-Funktion muss aktiviert und überprüft werden.
- ▶ Die Person befindet sich nahe einer Seite des Ganges. Die Hindernisvermeidungsfunktion (nicht sicherheitsbewertete Funktionalität) kann einen Weg finden, die Person zu umgehen und trotzdem 500 mm Freiraum zu erreichen. Damit das FTS um die Person herum navigie-

ren und dabei den in ISO 3691-4 geforderten Sicherheitsabstand einhalten kann, muss das FTS unter Umständen Sicherheitsfelder und Fahrgeschwindigkeit verringern. Die damit verbundene Funktionalität der Scanner-Feldumschaltung und der Geschwindigkeitsanpassung muss überprüft werden.

- Die Person befindet sich in der Nähe der Produktionsseite des Ganges. Die Hindernisvermeidungsfunktion (nicht sicherheitsbewertete Funktion) kann einen Weg finden, die Person zu umgehen, aber das FTS würde sich dabei in einem Abstand von 100 mm bis 500 mm von der Wand bewegen. Zusätzlich zu den Folgen der vorherigen Option würde diese Situation bedeuten, dass die Wandseite als „Betriebsgefahrenzone“ deklariert werden muss. Die Fahrgeschwindigkeit des FTS müsste auf 1,2 m/s begrenzt werden, und in diesem Bereich sind zusätzliche Warnhinweise und Beschilderungen erforderlich. Die damit verbundene Funktionalität der Scanner-Feldumschaltung und der Geschwindigkeitsanpassung muss überprüft werden.



- Die möglichen Optionen würden sich erweitern, wenn mehrere FTS in diesem Bereich fahren können, insbesondere wenn sie in mehrere Richtungen und um Eckenbereiche fahren.

Bei all diesen Szenarien müssen die beteiligten Arbeiter über den Betrieb des FTS vollständig informiert und gründlich unterwiesen sein und das damit verbundene Restrisiko verstehen.

Wie dieses Beispiel zeigt, müssen Sicherheits- und Produktionsanforderungen so früh wie möglich aufeinander abgestimmt werden. Es wäre Aufgabe des FTS-Projektteams, alle Anwendungsfälle zu definieren und – je nach Platzbedarf, Verkehrsanforderungen und Betriebsabläufen – zu entscheiden, ob es besser ist, mehrere Betriebsgefahrenbereiche zu deklarieren und daraus resultierende Geschwindigkeitsreduzierungen in Kauf zu nehmen oder alternativ das FTS anzuhalten, wenn Hindernisse im Weg sind, und ansonsten mit voller Geschwindigkeit zu fahren.

Im Zusammenhang mit diesem Beispiel könnte sich der Leser auch für das FTS-Beispiel in ISO/TR22100-5 interessieren, das sich mit der Beziehung zu ISO 12100 und Auswirkungen von maschinellem Lernen mit künstlicher Intelligenz auf die Risikobewertung befasst.

## 6. Schlussfolgerung/Zusammenfassung

Abschließend können folgende Empfehlungen ausgesprochen werden:

- ▶ Machen Sie sich mit den Details und Grenzen Ihrer FTS-Technologie vertraut (insbesondere in Bezug auf Sensorik und Sicherheitsfunktionen)
- ▶ Bereiten Sie die Umgebung Ihrer Einrichtung rechtzeitig vor. Nehmen Sie eine Risikobewertung vor, um sicherzustellen, dass die Umgebung für FTS geeignet ist, und um festzustellen, inwieweit sich Sicherheitsanforderungen auf die Produktivität auswirken (z. B. durch bereichsabhängige Geschwindigkeitsreduzierungen)
- ▶ „Weniger Platz“, „Höhere Geschwindigkeiten“ oder „Höherer Materialdurchsatz“ sind sicherheitstechnisch kontraproduktiv und erfordern passende Zonenklassifizierungen und zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen
- ▶ Berücksichtigen Sie das Risiko im Zusammenhang mit den Schnittstellen (z. B. Lastübergaben) des FTS innerhalb Ihrer bestehenden Infrastruktur und mögliche Anforderungen an die Einhaltung von Vorschriften
- ▶ Führen Sie regelmäßige Schulungen, Prozessaudits, Fahrzeuginspektionen und -wartungen durch, um die Sicherheit Ihres FTS-Systems zu gewährleisten

Wir sind international vertreten. Nähere Informationen entnehmen Sie bitte unserer Homepage [www.pilz.com](http://www.pilz.com) oder nehmen Sie Kontakt mit unserem Stammhaus auf.

Stammhaus: Pilz GmbH & Co. KG, Felix-Wankel-Straße 2, 73760 Ostfildern, Deutschland  
Telefon: +49 711 3409-0, Telefax: +49 711 3409-133, E-Mail: [info@pilz.de](mailto:info@pilz.de), Internet: [www.pilz.com](http://www.pilz.com)

**PILZ**  
THE SPIRIT OF SAFETY