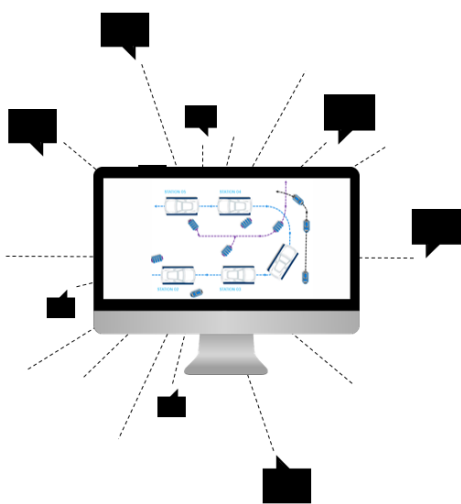


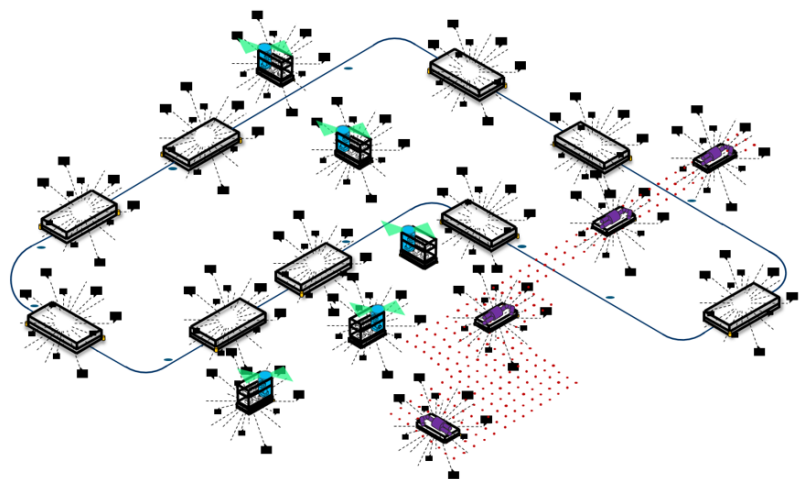
Schnittstelle zur Kommunikation zwischen Fahrerlosen Transportfahr- zeugen (FTF) und einer Leitsteuerung

VDA 5050

Version 1.1, Juni 2020



Leitsteuerung



Fahrerlose Transportfahrzeuge

Kurzinformation

Definition einer Kommunikationsschnittstelle für Fahrerlose Transportsysteme (FTS).

Nachstehende Ausführungen beschreiben die Kommunikationsschnittstelle zum Austausch von Auftrags- und Statusdaten zwischen einer zentralen Leitsteuerung und Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) für intralogistische Prozesse.

Haftungsausschluss

Die nachfolgenden Ausführungen dienen als Anhaltspunkt zur Ausführung einer Schnittstelle zur Kommunikation zwischen Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) und einer, die jedermann frei zur Anwendung stehen und unverbindlichen Charakter aufweisen. Dieses Dokument stellt einen unverbindlichen Ansatz dar. Wer es nutzt, hat für die richtige Anwendung im konkreten Fall Sorge zu tragen.

Sie berücksichtigen den zum Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe herrschenden Stand der Technik. Durch das Anwenden der Vorschläge entzieht sich niemand der Verantwortung für sein eigenes Handeln. Die Ausführungen erheben weder einen Anspruch auf Vollständigkeit, noch auf die exakte Auslegung der bestehenden Rechtsvorschriften. Sie dürfen nicht das Studium der relevanten Richtlinien, Gesetze und Verordnungen ersetzen. Weiter sind die Besonderheiten der jeweiligen Produkte, sowie deren unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten zu berücksichtigen. Jeder handelt insoweit auf eigene Gefahr. Eine Haftung des VDA und derjenigen, die an der Entwicklung oder Anwendung der Vorschläge beteiligt sind, ist ausgeschlossen.

Sollten Sie bei der Anwendung der Vorschläge auf Unrichtigkeiten oder die Möglichkeit einer unrichtigen Auslegung stoßen, bitten wir Sie darum, dies dem VDA umgehend mitzuteilen, damit etwaige Mängel beseitigt werden können.

Herausgeber Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de

Copyright Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)

Nachdruck und jede sonstige Form der Vervielfältigung ist
nur mit Angabe der Quelle gestattet.

Stand Juni 2020

Version Version 1.1

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort.....	5
2	Ziel des Dokuments.....	5
3	Geltungsbereich	6
3.1	Mitgeltende Dokumente.....	7
4	Anforderungen und Protokolldefinition.....	7
5	Prozess und Inhalt der Kommunikation	7
6	Protokollspezifikation	9
6.1	Tabellensymbole und Bedeutung der Formatierung	9
6.1.1	Optionale Felder	10
6.1.2	Zulässige Zeichen und Feldlängen	10
6.1.3	Schreibweise von Enumerationen.....	10
6.1.4	JSON Datentypen	10
6.2	Handhabung der MQTT-Verbindung, Sicherheit und QoS	10
6.3	MQTT-Themenebenen	11
6.4	Kopfzeile (engl. „Header“).....	11
6.5	Subtopics für die Kommunikation (engl. „Subtopics“).....	12
6.6	Subtopic order.....	12
6.6.1	Konzept und Logik	12
6.6.2	Aufträge und Aktualisierung von Aufträgen	13
6.6.3	Stornieren eines Auftrags (durch die Leitsteuerung)	18
6.6.4	Ablehnung eines Auftrags	20
6.6.5	Karten	21
6.7	Implementierung der Auftragsmeldung („order“).....	21
6.8	Aktionen (engl. „Actions“).....	26
6.8.1	Vordefinierte Definition, Parametrierung, Effekte und Anwendungsfall von Aktionen	27
6.8.2	Vordefinierte Aktionen und deren Status	29
6.9	Topic: instantActions (von der Leitsteuerung zum FTF).....	31
6.10	Topic: state (von der Leitsteuerung zum FTF)	32
6.10.1	Konzept und Logik	32
6.10.2	Durchquerung von Knoten und Ein-/Ausfahren von Kanten, Auslösen von Aktionen	32
6.10.3	Anfragen an der Base	33
6.10.4	Informationen	34
6.10.5	Errors.....	34

6.10.6	Implementierung.....	34
6.11	actionStates.....	41
6.12	Action Blocking Types und sequence.....	42
6.13	Topic „Visualization“.....	43
6.14	Topic „connection“.....	44
7	Praktische Beispiele.....	45
7.1	Fehlerreferenz.....	45
7.2	Parameterformat.....	45
8	Glossar.....	45
8.1	Begriffsbeschreibung (deutsch).....	45
8.2	Glossar englisch - deutsch.....	46

1 Vorwort

Die Schnittstelle wurde in Kooperation zwischen dem Verband der Automobilindustrie e. V. (Abk. VDA) und VDMA Fachverband Fördertechnik und Intralogistik (Abk. VDMA) entwickelt. Die Bestrebung der beiden Parteien ist es, eine universell geltende Schnittstelle zu erzeugen. Änderungsvorschläge an der Schnittstelle sind beim VDA einzureichen, werden gemeinsam mit dem VDMA bewertet und bei positiver Entscheidung in einen neuen Versionsstand übernommen.

2 Ziel des Dokuments

Zielsetzung der Schnittstelle ist es, zukünftig die Anbindung neuer Fahrzeuge an einen bestehenden Leitstand und damit die Integration in ein bestehendes FTS bei Einsatz in der Automobilindustrie zu vereinfachen und den parallelen Betrieb mit FTF verschiedener Hersteller und herkömmlicher Systeme (Bestandssysteme) in demselben Arbeitsumfeld zu ermöglichen.

Es sollen Möglichkeiten für die Definition einheitlicher Schnittstellen zwischen der Leitsteuerung und den fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) aufgezeigt werden. Im Einzelnen soll dies durch folgende Punkte erreicht werden:

- Beschreibungen der Kommunikation zwischen FTF und Leitsteuerung und damit einer Basis für die Integration von Transportsystemen in eine durchgängige Prozessautomatisierung mittels kooperierender Transportfahrzeuge
- Steigerung der Flexibilität durch u. a. erhöhte Autonomie der Fahrzeuge, Prozessbausteine und Schnittstellen sowie vorzugsweise dem Ablösen einer starren Abfolge von ereignisgesteuerten Befehlsketten. Hardware und Software werden gebraucht, um Autonomie zu erhöhen.
- Verringerung der Implementierungszeit durch hohe „Plug & Play“ Fähigkeit, da benötigte Informationen (z.B. Karten) durch zentrale Services zur Verfügung gestellt werden und allgemeingültig sind. Fahrzeuge sollen möglichst herstellerunabhängig mit einem gleichen Implementierungsaufwand unter Berücksichtigung der Anforderungen der Arbeitssicherheit in Betrieb genommen werden können.
- Komplexitätsreduzierung und Erhöhung der „Plug & Play“ Fähigkeit der Systeme durch den Einsatz einer einheitlichen, übergreifenden Koordinationsebene mit den entsprechenden Logiken für alle Transportfahrzeuge, Fahrzeugtypen und Hersteller
- Erhöhung der Herstellerunabhängigkeit mittels gemeinsamer Schnittstellen zwischen Fahrzeugsteuerung und Koordinationsebene
- Einbindung proprietärer FTS-Bestandssysteme durch Umsetzung einer vertikalen Kommunikation zwischen der proprietären Leitsteuerung sowie der übergeordneten FTS-Leitsteuerung (vgl. Abbildung 1)

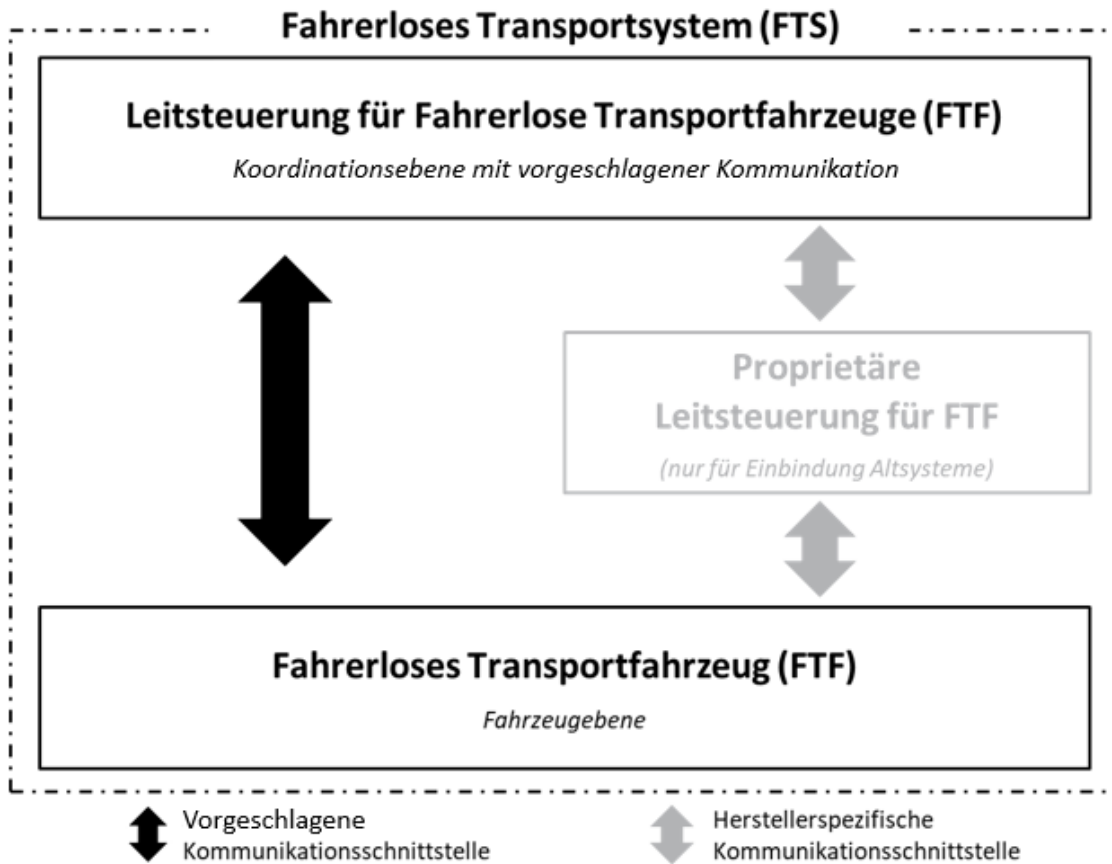


Abbildung 1: Einbindung von FTS-Bestandssystemen

Zur Umsetzung der oben genannten Ziele wird mit dem vorliegenden Dokument eine Schnittstelle für die Kommunikation von Auftrags- und Statusinformationen zwischen FTF und Leitsteuerung beschrieben.

Weitere für den Betrieb erforderliche Schnittstellen zwischen FTF und Leitsteuerung (z.B. für den Austausch von Karteninformationen, Berücksichtigung besonderer Fähigkeiten frei navigierender Fahrzeuge hinsichtlich Pfadplanung etc.) oder zur Kommunikation mit anderen Systemkomponenten (z.B. externer Peripherie, Brandschutztoren etc.) sollen in weiteren Teilen der VDA 5050 beschrieben werden.

3 Geltungsbereich

Dieses Dokument enthält Definitionen und Best Practices hinsichtlich der Kommunikation zwischen Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) und einer Leitsteuerung. Ziel ist es, dass FTF mit verschiedenen Charakteristiken (z.B. Unterfahrschlepper oder Gabelhochhub-FTF) in einer einheitlichen Sprache mit einer Leitsteuerung sprechen. Hiermit wird die Grundlage geschaffen, eine beliebige Kombination von FTF in einer Leitsteuerung zu betreiben. Die Leitsteuerung sorgt für eine Auftragsvergabe und Koordinierung des FTF-Verkehrs (vgl. Kapitel 5).

Die Schnittstelle orientiert sich an den Anforderungen aus der Produktions- und Werkslogistik in der Automobilindustrie. Entsprechend decken die dargelegten Anforderungen die Bedarfe der Intralogistik (d. h. der logistischen Prozesse vom Wareneingang über die Produktionsversorgung bis hin zum Warenausgang) zur Steuerung von frei navigierenden und geführten Fahrzeugen ab.

In Abgrenzung zu automatisierten Fahrzeugen lösen autonome Fahrzeuge auftretende Probleme auf Basis von entsprechender Sensorik und Algorithmen eigenständig und können dementsprechend auf Abweichungen in einem dynamischen Umfeld reagieren bzw. kurzfristig darauf angepasst werden. Autonome Eigenschaften wie das eigenständige Umfahren von Hindernissen können sowohl frei

navigierende als auch geführte Fahrzeuge aufweisen. Sobald allerdings die Pfadplanung auf dem Fahrzeug selbst durchgeführt wird, ist in diesem Dokument von frei navigierenden Fahrzeugen die Rede (siehe Glossar). Autonome Systeme sind nicht komplett dezentral gesteuert (Schwarmintelligenz) und weisen durch vorgegebene Regeln ein definiertes Verhalten auf.

Im Sinne einer zukunftsfähigen Lösung wird im Folgenden eine Schnittstelle beschrieben, die in ihrer Struktur erweiterbar ist. Dies soll eine vollständige Abdeckung der Steuerung geführter Fahrzeuge ermöglichen. Aspekte frei navigierender Fahrzeuge können in die erweiterbare Struktur integriert werden, eine hierfür erforderliche detaillierte Spezifikation ist nicht Bestandteil dieses Dokuments.

Für die Integration von proprietären Bestandssystemen sind ggf. individuelle Definitionen von Schnittstellen erforderlich, die im Rahmen dieses Dokuments nicht betrachtet werden.

3.1 Mitgeltende Dokumente

Dokument	Beschreibung
VDI-Richtlinie 2510	Fahrerlose Transportsysteme (FTS)
VDI-Richtlinie 4451 Blatt 7	Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) - Leitsteuerung für FTS
DIN EN ISO 3691-4	Flurförderzeuge - Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung - Teil 4: Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme

4 Anforderungen und Protokolldefinition

Die Kommunikationsschnittstelle ist darauf ausgelegt, folgende Anforderungen zu unterstützen:

- Steuerung von min. 1000 Fahrzeugen
- Ermöglichung der Integration von Fahrzeugen mit unterschiedlichem Autonomiegrad
- Ermöglichung von Entscheidungen, z.B. hinsichtlich der Auswahl von Routen oder das Verhalten an Kreuzungen

Die Fahrzeuge sollen ihren Status in einem regelmäßigen Intervall oder bei einer Veränderung ihres Status sofort übertragen.

Die Kommunikation erfolgt über kabellose Netzwerke, sodass die Einflüsse von Verbindungsfehlern und des Verlustes von Nachrichten berücksichtigt wurden.

Als Nachrichtenprotokoll wird MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) verwendet, das in Verbindung mit einer JSON-Struktur genutzt werden soll. Als zu nutzende Version wird MQTT 3.1.1 definiert. Eine Nutzung von MQTT 5 ist möglich, sobald dies weiterverbreitet ist und getestet wurde. MQTT erlaubt die Verteilung von Nachrichten an Unterkanäle, die im englischen „topics“ genannt werden. Teilnehmer am MQTT Netzwerk abonnieren diese topics und erhalten so Informationen, die sie betreffen oder interessieren.

Die JSON-Struktur ermöglicht eine zukünftige Erweiterung des Protokolls um weitere Parameter. Die Parameter werden in englischer Sprache beschrieben, um zu gewährleisten, dass das Protokoll auch außerhalb des deutschen Sprachraums lesbar, verständlich und anwendbar ist.

5 Prozess und Inhalt der Kommunikation

Im Rahmen des Informationsflusses zum Betrieb von FTF gibt es, wie in Abbildung 2 dargestellt, mindestens folgende Akteure:

- Der Betreiber stellt grundlegende Informationen zur Verfügung,

- die Leitsteuerung organisiert und verwaltet den Betrieb und
- das FTF führt die Aufträge aus.

Abbildung 2 beschreibt die Kommunikationsinhalte während der Betriebsphase. Während der Implementierung oder Änderung werden FTF und Leitsystem manuell konfiguriert.

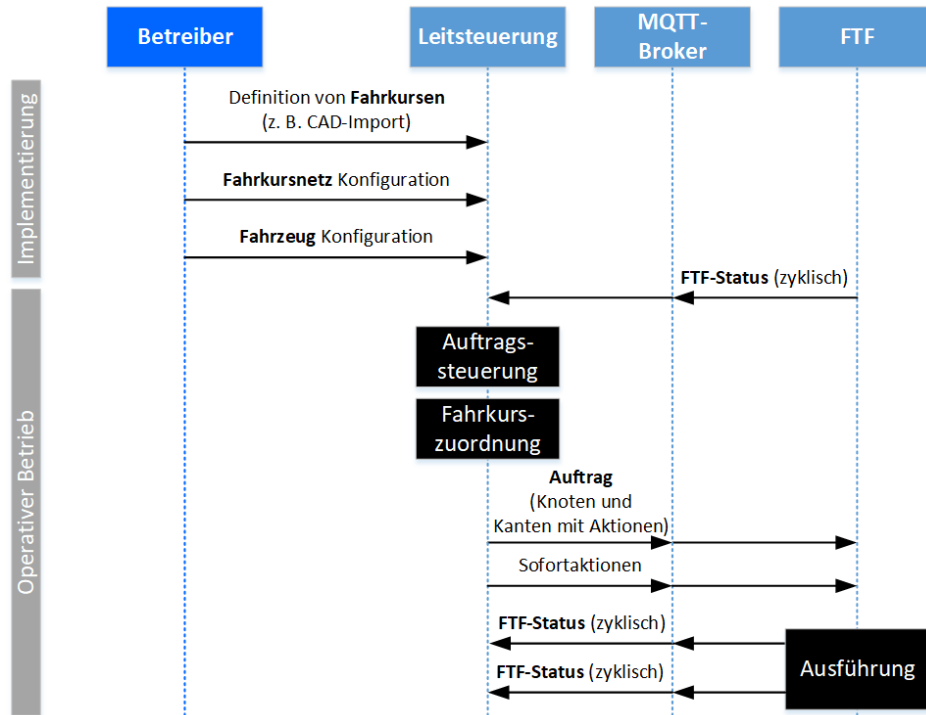


Abbildung 2: Prozess und Kommunikation während Implementierung und Betrieb

Während der Implementierungsphase wird das FTS bestehend aus der Leitsteuerung und den FTF eingerichtet. Die hierfür notwendigen Rahmenbedingungen werden durch den Betreiber definiert und die erforderlichen Informationen von ihm entweder manuell eingepflegt oder durch einen Import aus anderen Systemen in der Leitsteuerung hinterlegt. Im Wesentlichen betrifft dies die folgenden Inhalte:

- **Definition von Fahrkursen:** Mittels CAD-Import können Fahrkurse in der Leitsteuerung übernommen werden. Alternativ können Fahrkurse auch manuell in der Leitsteuerung vom Betreiber implementiert werden. Fahrkurse können Einbahnstraßen, Fahrkurse für bestimmte Fahrzeuggruppen (auf Basis der Größenverhältnisse) etc. sein.
- **Fahrkursnetz Konfiguration:** Innerhalb des Fahrkurses werden Stationen zum Be- und Entladen, Batterieladestationen, Peripherieumgebungen (Tore, Aufzüge, Schranken), Wartepositionen, Pufferplätze etc. definiert.
- **Fahrzeug Konfiguration:** Die physikalischen Eigenschaften eines FTF (Größe, verfügbare Ladungsträgeraufnahme, etc.) werden vom Betreiber hinterlegt.

Die oben beschriebene Konfiguration des FTS ist nicht Bestandteil dieses Dokuments. Sie bildet aber die Basis, um auf diesen Informationen und den zu erledigenden Transportbedarfen eine Auftragssteuerung und Fahrkurszuordnung durch die Leitsteuerung zu ermöglichen. Die so entstehenden Aufträge für ein FTF werden dann über einen MQTT-Nachrichtenbroker an das Fahrzeug übertragen. Dieses meldet anschließend parallel zur Ausführung des Auftrags kontinuierlich seinen Status an die Leitsteuerung zurück. Auch dies erfolgt mithilfe des MQTT-Nachrichtenbrokers.

Funktionen der Leitsteuerung sind:

- Zuweisung von Aufträgen an FTF

- Streckenberechnung und -führung von FTF (unter Berücksichtigung der Einschränkungen der individuellen physikalischen Eigenschaften jedes FTF, z.B. Größe, Manövrierfähigkeit usw.)
- Erkennung und Auflösung von Blockaden (engl. „deadlocks“)
- Energiemanagement: Ladeaufträge können Transportaufträge unterbrechen
- Verkehrssteuerung: Pufferstrecken und Wartepositionen
- (vorübergehende) Änderungen in der Umgebung wie z.B. Freifahren bestimmter Bereiche oder Änderung der Höchstgeschwindigkeit
- Kommunikation mit peripheren Anlagen wie z.B. Türen, Toren, Aufzügen, etc.
- Erkennung und Auflösung von Kommunikationsfehlern

Funktionen des FTF sind:

- Lokalisierung
- Navigation entlang zugeordneter Routen (geführt bzw. autonom)
- Kontinuierliche Übertragung des Fahrzeugstatus

Zusätzlich muss bei der Konfiguration des Gesamtsystems folgendes durch den Integrator berücksichtigt werden (unvollständige Liste):

- Kartenkonfiguration: Die Koordinatensysteme der Leitsteuerung und der FTF müssen aufeinander abgestimmt werden
- Drehpunkt: Die Verwendung verschiedener Punkte des FTF oder Punkte der Ladung als Drehpunkt führt zu unterschiedlichen Hüllkurven des Fahrzeugs. Der Referenzpunkt kann je nach Situation variieren, z.B. kann er für FTF, die eine Last tragen, und für FTF, die keine Last tragen, unterschiedlich sein.

6 Protokollspezifikation

Der folgende Abschnitt beschreibt die Details des Kommunikationsprotokolls. Das Protokoll gibt die Kommunikation zwischen der Leitsteuerung und den FTF an. Die Kommunikation zwischen dem FTF und Peripheriegeräten, z.B. einem Tor, ist ausgeschlossen.

Die verschiedenen Nachrichten werden in Tabellen dargestellt, die den Inhalt der Felder des JSONs beschreiben, das als Befehl, Zustand usw. gesendet wird.

Zusätzlich sind JSON-Schemata zur Validierung in einem öffentlichen Git-Repository (<https://github.com/MaximilianRies/vd-m-a-5050>) verfügbar. Der Branch zur vorliegenden Dokumentenversion ist 5.00. Die JSON-Schemata sind der „einige Punkt der Wahrheit“ und gelten als allgemeingültiger Datenbestand mit dem Anspruch auf Korrektheit auf den man sich als Entwickler der Schnittstelle verlassen kann.

6.1 Tabellensymbole und Bedeutung der Formatierung

Die Tabelle enthält den Namen des Identifikators, gegebenenfalls dessen Einheit, seinen Datentyp und eine Beschreibung.

Identifikation	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
standard	Variable is an elementary data type	Die Variable ist ein elementarer Datentyp

fett	Variable is a non-elementary data type (e.g. JSON-object or array) and defined separately	Die Variable ist ein nicht-elementarer Datentyp und wird separat definiert (z.B. JSON-Objekt, Feld)
<i>kursiv</i>	Variable is optional	Die Variable kann optional verwendet werden
arrayName [squareBrackets]	Variable (here arrayName) is an array of the data type included in the square brackets (here the data type is squareBrackets)	Die Variable (hier arrayName) ist ein Datenfeld des Datentyps in den eckigen Klammern (hier squareBrackets)

6.1.1 Optionale Felder

Wenn eine Variable als optional gekennzeichnet ist, bedeutet dies, dass sie für den Sender optional ist, da die Variable in bestimmten Fällen nicht anwendbar sein kann (z.B. wenn die Leitsteuerung einen Auftrag an ein FTF sendet, planen einige FTF ihre Route selbst und das Feld „Trajektorie“ kann innerhalb des Kantenobjekts somit ausgelassen werden).

Wenn ein FTF eine Nachricht mit einem Feld erhält, das in diesem Protokoll als optional gekennzeichnet ist, wird erwartet, dass sich das FTF entsprechend verhält und das Feld nicht ignoriert. Wenn das FTF die Nachricht nicht entsprechend verarbeiten kann, wird erwartet, dass es dies in einer Fehlermeldung mitteilt und den Auftrag ablehnt.

Die Leitsteuerung soll nur optionale Informationen senden, die das FTF unterstützt. Beispiel: Trajektorien sind optional. Wenn ein FTF keine Trajektorie verarbeiten kann, darf die Leitsteuerung keine Trajektorie an das Fahrzeug senden.

6.1.2 Zulässige Zeichen und Feldlängen

Die gesamte Kommunikation ist in UTF-8 kodiert, um eine internationale Anpassung der Beschreibungen zu ermöglichen. Der Zeichensatz wird hierbei auf die Unicode Basic Multilingual Plane (Ebene 0) beschränkt. Projektspezifische Beschränkungen der Inhalte von Description-Feldern auf den ASCII-Bereich von 0x00 bis 0x7f sind zulässig. Die Empfehlung lautet, dass für IDs nur die folgenden Zeichen verwendet werden:

A-Z a-z 0-9 _ - . :

Eine maximale Nachrichtenlänge ist nicht definiert.

Wenn der Speicher eines FTF nicht ausreicht, um einen eingehenden Auftrag zu verarbeiten, muss es den Auftrag ablehnen. Die Anpassung der maximalen Feldlängen, Zeichenkettenlängen oder Wertebereiche ist Sache des Integrators.

6.1.3 Schreibweise von Enumerationen

Enumerationen sind grundsätzlich in Großschrift. Dazu zählen Schlüsselwörter wie die Zustände der Aktionen (WAITING, FINISHED, etc...) oder auch Werte des „direction“-Feldes (LEFT, RIGHT, 443MHZ, etc...).

6.1.4 JSON Datentypen

Wo möglich, sind JSON Datentypen zu verwenden. Ein boolescher Wert wird somit mittels „true / false“ codiert, NICHT mit einer Enumeration (TRUE, FALSE) oder magischen Zahlen (1, 0 o.ä.).

6.2 Handhabung der MQTT-Verbindung, Sicherheit und QoS

Das MQTT-Protokoll bietet die Möglichkeit, eine letzte Nachricht (engl. „last will“) für einen Client zu setzen. Wenn der Client die Verbindung aus irgendeinem Grund unerwartet unterbricht, wird der letzte

Wille vom Broker an definierte andere Clients verteilt. Die Verwendung dieser Funktion wird in Kapitel 6.14 beschrieben.

Wenn die Verbindung zwischen einem FTF und dem Broker unterbricht, behält das Fahrzeug alle Auftragsinformationen und führt den Auftrag bis zum letzten freigegebenen Knoten aus.

Die Protokollsicherheit muss bei der Brokerkonfiguration berücksichtigt werden.

Um den Kommunikationsaufwand zu reduzieren, ist für die gesamte Kommunikation die MQTT-QoS-Stufe 0 zu verwenden.

6.3 MQTT-Themenebenen

Die MQTT-Themenstruktur ist aufgrund der Ermangelung an Konfigurationsmöglichkeiten der Wurzelstruktur bei Cloud-Anbietern nicht streng definiert. Für einen cloud-basierten MQTT-Broker muss die Wurzelstruktur (schwarz) individuell angepasst werden.

Bei einem lokalen Broker wird folgende MQTT-Themenstruktur vorgeschlagen:

interfaceName/majorVersion/manufacturer/serialNumber/topic

Beispiel: uagv/v2/KIT/0001/order

MQTT Topic Level	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
interfaceName	string	Name of the used interface	Name der Schnittstelle
majorVersion	string	Major version number, prepended with a "v"	Hauptversionsnummer, beginnend mit „v“
manufacturer	string	Manufacturer of the AGV (e.g. RobotCompany)	Fahrzeughersteller (z.B. RobotCompany)
serialNumber	string	Unique AGV Serial Number consisting of the following characters: A-Z a-z 0-9 – . : _	Eindeutige FTF Seriennummer bestehen aus den folgenden Zeichen: A-Z a-z 0-9 – . : _
topic	string	Topic (e.g. Order or System State) see Kap. 6.5	Topic(z.B. Order oder System State) siehe Kap. 6.5

6.4 Kopfzeile (engl. „Header“)

Jede JSON-Datei des MQTT-Protokolls startet mit einer Kopfzeile (engl. „Header“). In den folgenden Abschnitten wird die Kopfzeile aus Gründen der Lesbarkeit als header referenziert. Die Kopfzeile besteht aus den folgenden einzelnen Elementen und ist kein JSON-Objekt.

Objekt Struktur/ Identifier	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
headerId	uint32	header ID of the message. The headerId is defined per topic and incremented by 1 with each sent (but not necessarily received) message.	Kopfzeilennummer einer Nachricht. Sie wird je Thema separat definiert und mit jeder gesendeten (aber nicht zwingend empfangenen) Nachricht um 1 erhöht.
timestamp	string	Timestamp (ISO8601, UTC); YYYY-MM-DDTHH:mm:ss.ssZ (e.g. "2017-04-15T11:40:03.12Z")	Zeitstempel (ISO8601, UTZ); JJJJ-MM-TTTHH:mm:ss.ssZ (z.B. "2017-04-15T11:40:03.12Z")
version	string	Version of the protocol [Major].[Minor].[Patch] (e.g. 1.3.2)	Version des Protokolls [Hauptversion].[Nebenversion].[Patchversion] (z.B. 1.3.2)
manufacturer	string	Manufacturer of the AGV	Hersteller des FTF
serialNumber	string	Serial number of the AGV	Seriennummer des FTF

Protokollversion

Die semantische Versionierung wird als Versionierungsschema genutzt.

Beispiele:

- für größere Versionsänderungen: neue nicht-optionale Felder
- für kleinere Versionsänderungen: ein zusätzliches Thema für die Visualisierung
- für die Patch-Version: höhere Präzision für z.B. den Batterieladestand

6.5 Subtopics für die Kommunikation (engl. „Subtopics“)

Das Protokoll verwendet die folgenden Themen für den Informationsaustausch zwischen Leitsteuerung und den Fahrzeugen:

Subtopic	Veröffentlicht durch	abonniert durch	genutzt für	Implementierung	Schema (Git-Repository)
order	Leitsteuerung	FTF	Kommunikation von Fahrbefehlen von der Leitsteuerung zum FTF	verbindlich	order.schema
instantActions	Leitsteuerung	FTF	Kommunikation von Aktionen, die sofort durchgeführt werden müssen	verbindlich	instantActions.schema
state	FTF	Leitsteuerung	Kommunikation des FTF-Status	verbindlich	state.schema
visualization	FTF	Visualisierungssystem	Hochfrequente Übertragung der Position und Geschwindigkeit für Visualisierungszwecke	optional	visualization.schema
connection	Broker/FTF	Leitsteuerung	Zeigt an, wenn die Verbindung zum FTF verloren gegangen ist. Nicht durch die Leitsteuerung zu nutzen, um den FTF-Zustand zu prüfen. Hinzugefügt für eine Überprüfung der Verbindung auf MQTT-Protokollebene.	verbindlich	connection.schema

6.6 Subtopic order

Das subtopic „order“ ist ein MQTT-topic, über das das FTF einen als JSON ausgedrückten Auftrag von der Leitsteuerung erhält.

6.6.1 Konzept und Logik

Die Grundstruktur eines Auftrags ist ein Graph aus Knoten (engl. „node“) und Kanten (engl. „edges“). Die Knoten sind fest definierte Punkte, die das FTF anfährt. Kanten sind Verbinder zu den Knoten. Knoten und Kanten werden für die Abarbeitung des Auftrags benötigt. Die Leitsteuerung kennt den vollständigen Graphen aller verbundenen Knoten und Kanten.

Die Graphendarstellung in der Leitsteuerung enthält Einschränkungen, z.B. welches FTF welche Kante nicht überfahren darf. Diese Einschränkungen werden dem FTF nicht mitgeteilt. Stattdessen berücksichtigt die Leitsteuerung nur die Kanten im Auftrag eines FTF, die das betreffende FTF durchfahren darf und überträgt diesen Auftrag an das Fahrzeug.

Es ist zu vermeiden, dass die Leitsteuerung für jeden FTF-Typ eine eigene grafische Darstellung hat. Wann immer möglich sollte eine Stelle, z.B. eine Warteposition vor einer Feuertür, nur einen Knoten für alle Arten von FTF haben. Aufgrund der unterschiedlichen Größen und Spezifikationen der FTF kann es jedoch in bestimmten Situationen notwendig sein, von dieser Norm abzuweichen.

Abbildung 3 zeigt den Unterschied zwischen Leitsteuerungs- und FTF-Informationen.

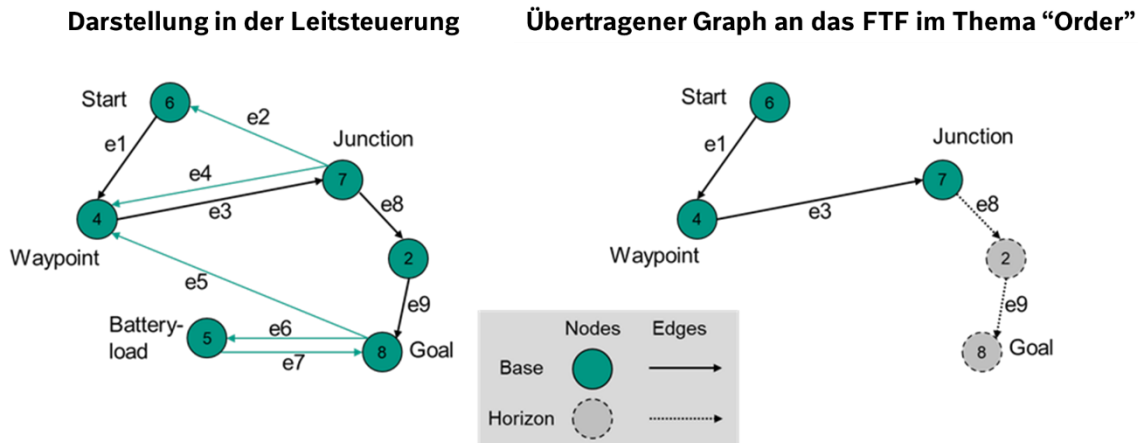


Abbildung 3: Unterschied zwischen Leitsteuerungs- und FTF-Informationen

Die Knoten und Kanten werden als zwei Listen in der Auftragsmeldung übergeben. Die Reihenfolge innerhalb dieser Listen bestimmt auch, in welcher Reihenfolge die Knoten und Kanten durchfahren werden müssen.

Für eine gültige Reihenfolge muss mindestens ein Knoten vorhanden sein. Die Anzahl der zulässigen Kanten ist exakt die Anzahl der Knoten minus eins.

Knoten und Kanten haben beide ein boolesches Attribut "released". Wenn ein Knoten oder eine Kante freigegeben wird, wird erwartet, dass das FTF diesen Knoten oder diese Kante durchquert. Wenn ein Knoten oder eine Kante nicht freigegeben wird, darf das FTF diese nicht überqueren. Eine Kante kann nur freigegeben werden, wenn sowohl der Start- als auch der Endknoten der Kante freigegeben sind. Nach einer nicht freigegebenen Kante können keine freigegebenen Knoten oder Kanten in der Reihenfolge folgen.

Die Menge der freigegebenen Knoten und Kanten wird als Basis (engl. „Base“) bezeichnet. Die Menge der nicht freigegebenen Knoten und Kanten wird als Horizon (engl. „Horizon“) bezeichnet. Ein Auftrag kann auch ohne „Horizon“ gesendet werden.

Der erste Knoten einer order muss für das FTF trivial erreichbar sein. Das bedeutet, dass entweder das FTF bereits auf dem Knoten steht, sich im Abweichungsbereich des Knoten befindet oder der Knoten das Ende der aktuellen Basis ist.

Eine Auftragsmeldung beschreibt nicht unbedingt den vollständigen Transportauftrag. Für die Verkehrssteuerung und zur Unterbringung ressourcenbeschränkter Fahrzeuge kann der vollständige Transportauftrag (der aus vielen Knoten und Kanten bestehen kann) in viele Unteraufträge aufgeteilt werden, die über ihre orderId und orderUpdateId miteinander verbunden sind. Der Prozess der Aktualisierung eines Auftrags wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

6.6.2 Aufträge und Aktualisierung von Aufträgen

Um in unvorhersehbaren Situationen, z.B. bei hohem Verkehrsaufkommen in bestimmten Bereichen, die ideale Fahrroute sicherzustellen, wird der Fahrauftrag in zwei Bestandteile unterschieden. Damit wird sichergestellt, dass vor einem auftretenden Stau der Verkehr über eine andere Strecke geleitet werden kann. Die Stelle an der die Entscheidung getroffen wird, in welche Richtung der Verkehr geleitet wird, nennt man Entscheidungspunkt (engl. „Decision Point“). Die zwei Bestandteile sind:

- Fahrt zum Entscheidungspunkt (engl. „Base“): Die „Base“ ist die fest definierte Fahrroute, die das FTF fährt. Alle Knoten und Kanten der Fahrroute „Base“ sind bereits von der Leitsteuerung für das Fahrzeug freigegeben.

- Voraussichtliche Fahrt ab dem Entscheidungspunkt (engl. „Horizon“): Der „Horizon“ ist die Fahrroute, die das FTF wahrscheinlich fahren wird, wenn kein Stau auftritt. Die Fahrroute „Horizon“ ist noch nicht von der Leitsteuerung freigegeben.

Das FTF wird aber zunächst nur bis zum letzten Knoten der Fahrroute „Base“ fahren.

Da es sich bei MQTT um ein asynchrones Protokoll handelt und die Übertragung mittels WLAN als nicht zuverlässig anzusehen ist, ist es wichtig, zu beachten, dass die "Base" nicht mehr geändert werden kann. Die Leitsteuerung kann somit davon ausgehen, dass die "Base" vom FTF ausgeführt wird. In einem späteren Abschnitt wird ein Vorgehen zur Stornierung eines Auftrags beschrieben, dieses ist aber aufgrund von den oben genannten Kommunikationsbeschränkungen ebenfalls als unzuverlässig anzusehen.

Die Leitsteuerung hat die Möglichkeit, die Fahrbefehle der Fahrroute „Horizon“ zu ändern. Bevor das FTF über die Fahrroute „Base“ am Entscheidungspunkt angekommen ist, wird die Leitsteuerung eine aktualisierte Fahrroute an das FTF schicken, in der die weiteren Knoten beinhaltet sind. Das Vorgehen zur Änderung der Fahrroute „Horizon“ ist in Abbildung 4 dargestellt.

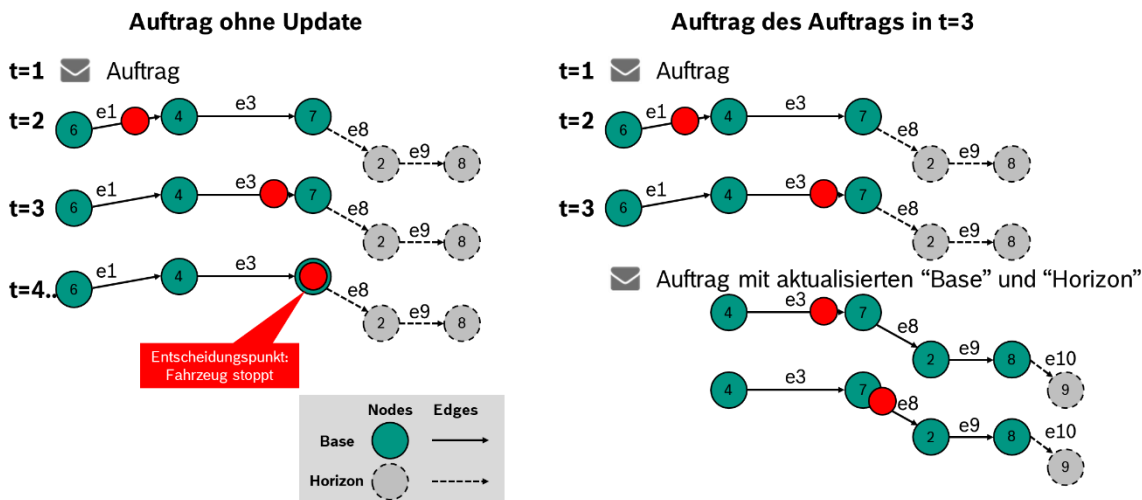


Abbildung 4: Auftrag ohne (links) und mit Aktualisierung (rechts) (e3 wird nicht mit der Aktualisierung des Auftrags in $t=3$ gesendet)

In Abbildung 4 wird zunächst ein initialer Auftrag von der Leitsteuerung zum Zeitpunkt $t = 1$ gesendet. Abbildung 5 zeigt den Pseudocode eines möglichen Auftrags. Aus Gründen der Lesbarkeit wurde auf ein komplettes JSON Beispiel hier verzichtet.

```
{
  orderId: "1234",
  orderUpdateId: 0,
  nodes: [
    6 {released: True},
    4 {released: True},
    7 {released: True},
    2 {released: False},
    8 {released: False}
  ],
  edges: [
    e1 {released: True},
    e3 {released: True},
    e8 {released: False},
    e9 {released: False}
  ]
}
```

Abbildung 5: Pseudocode eines Auftrags

Zum Zeitpunkt $t = 3$ wird der Auftrag durch das Senden einer Erweiterung des Auftrags aktualisiert (vgl. Beispiel in Abbildung 6). Zu beachten ist, dass die "orderUpdateId" erhöht wird und dass der erste Knoten der Auftragsaktualisierung dem letzten freigegebenen Basisknoten der vorangegangenen order-Nachricht entspricht.

Hierdurch wird sichergestellt, dass das FTF die Auftragsaktualisierung auch ausführen kann, d.h. dass der erste Knoten der Auftragsaktualisierung über die Ausführung der dem FTF bereits bekannten Kanten erreichbar ist.

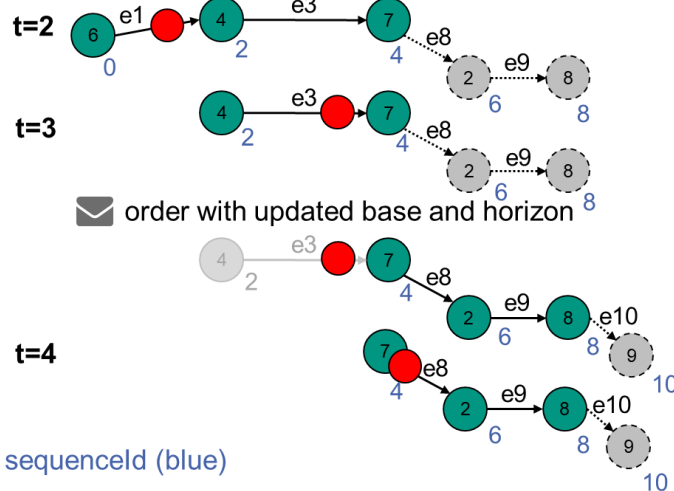
```
{
  orderId: 1234,
  orderUpdateId: 1,
  nodes: [
    7 {released: True},
    2 {released: True},
    8 {released: True},
    9 {released: False}
  ],
  edges: [
    e8 {released: True},
    e9 {released: True},
    e10 {released: False}
  ]
}
```


Abbildung 6: Pseudocode einer Auftragsaktualisierung. Bitte Änderung der „orderUpdateId“ beachten

Dieses Vorgehen ist auch dann hilfreich, wenn ein "orderUpdate" (z.B. wegen einer unzuverlässigen WLAN-Übertragung) verloren geht. Das FTF kann jederzeit prüfen, ob der letzte bekannte Basisknoten die gleiche "nodeId" (sowie „nodeSequencId“, dazu später mehr) wie der erste neue Basisknoten hat.

Weiterhin ist zu beachten, dass in diesem Beispiel der Knoten 7 der einzige Basisknoten ist, der erneut gesendet wird. Da die "Base" nicht geändert werden kann, ist eine erneute Übertragung von Knoten 6 und 4 nicht zulässig. Zudem darf der Inhalt des Verbindungsknotens (im Beispielfall Knoten 7) nicht geändert werden. Für Aktionen, Abweichungsbereiche o.ä. muss das FTF die im ersten Auftrag angegebene Reihenfolge der Anweisungen verwenden (Abbildung 5, orderUpdateId 0).

t=1  Order:



 orderId: 1234
orderUpdateId: 0
Base nodes: 6, 4, 7
Base edges: e1, e3
Horizon nodes: 2, 8
Horizon edges: e8, e9


 orderId: 1234
orderUpdateId: 1
Base nodes: 7, 2, 8
Base edges: e8, e9
Horizon nodes: 9
Horizon edges: e10

Abbildung 7: Regulärer Aktualisierungsprozess - Auftragserweiterung

Die Erweiterung eines regulären Auftrags wird in Abbildung 7 dargestellt. Sie zeigt die Informationen, die im Rahmen der Aktualisierung dem FTF übermittelt werden. Die „orderId“ bleibt hierbei gleich, während die „orderUpdated“ erhöht wird.

Der letzte Knoten der bisherigen „Base“ ist der erste Basisknoten des aktualisierten Auftrags. Mit diesem Knoten kann das FTF den aktualisierten Auftrag dem bisherigen Auftrag hinzufügen („Stitching“). Die anderen Knoten und Kanten aus der vorherigen „Base“ werden nicht erneut versendet.

Die Reihenfolge der Knoten und Kanten wird durch ihre Position in den jeweiligen Listen definiert.

Um Schleifen in der Reihenfolge zu ermöglichen (z.B. von Knoten 1 zu 2 und dann wieder zurück zu 1), wird dem Knoten- und Kantenobjekt eine "sequenceId" zugewiesen. Diese "sequenceId" verläuft über die Knoten und Kanten, wobei der erste Knoten eines Auftrags mit der Kennung „0“ beginnt. Die erste Kante erhält dann den Wert „1“, der zweite Knoten den Wert „2“ und so weiter, so dass eine leichtere Verfolgung des Auftragsfortschritts ermöglicht wird.

Sobald eine "sequenceId" einmal zugewiesen wurde, ändert sie sich bei Auftragsaktualisierungen nicht mehr (siehe Abbildung 7). Dies ist notwendig, um auf der FTF-Seite festzustellen, auf welchen Knoten sich die Leitsteuerung bezieht.

In Abbildung 8 werden alle notwendigen Schritte beschrieben, die ein FTF durchführen muss, um einen neuen Auftrag oder eine Auftragsaktualisierung zu bestätigen.

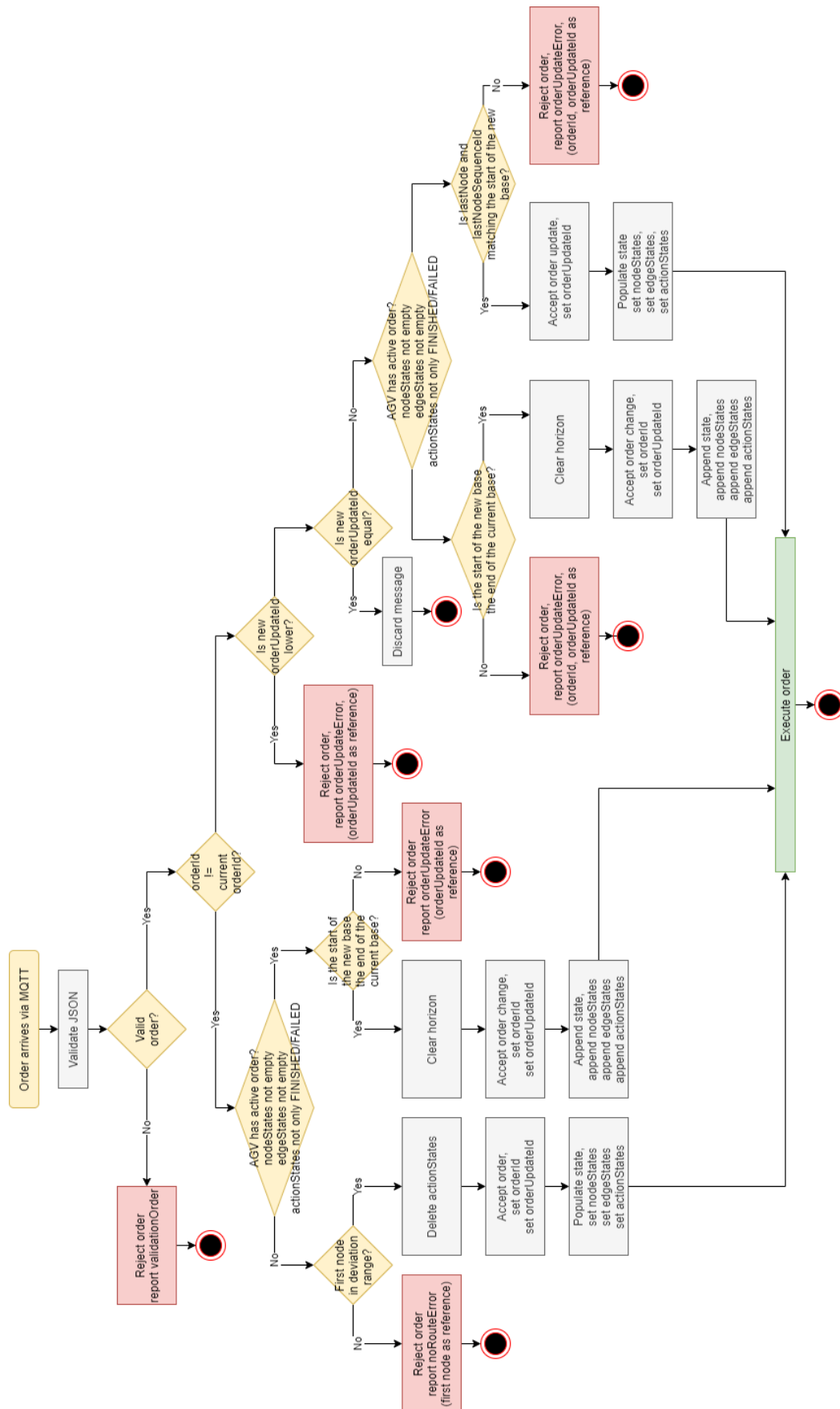


Abbildung 8: Prozessbeschreibung zur Bestätigung einer Auftragsaktualisierung

6.6.3 Stornieren eines Auftrags (durch die Leitsteuerung)

Im Falle einer notwendigen Änderung der Basisknoten muss der Auftrag mit der Sofortaktion Auftragsabbruch ("instantAction cancelOrder") storniert werden.

Nach Erhalt der instantAction cancelOrder hält das Fahrzeug an. Abhängig von den Fähigkeiten des FTF kann dies dort sein, wo es sich nach einem eingeleiteten Bremsmanöver befindet, oder ggf. erst am nächsten Knoten.

Sollten auf diesem Knoten Aktionen geplant sein, müssen diese abgebrochen werden und das FTF sollte in seiner Statusmeldung "fehlgeschlagen" („actionStatus failed“) zurückmelden.

Sofern laufende Aktionen betroffen sind, müssen diese abgebrochen und ebenfalls über eine Statusmeldung "fehlgeschlagen" zurückgemeldet werden. Falls bei der Integration notwendig, soll der Zustand vor der begonnenen Aktion wiederhergestellt werden (z.B. soll ein Hubtisch, der mitten zwischen zwei Zuständen war, wieder zurückgefahren werden.).

Wenn eine Aktion nicht unterbrochen werden kann, soll der Status dieser Aktion dies widerspiegeln, indem der entsprechende Status zurückgemeldet wird ("actionState running", sofern die Aktion tatsächlich noch läuft) beziehungsweise jeden anderweitigen Status ("beendet" im Fall von erfolgreich, "fehlgeschlagen" im Fall von nicht erfolgreich).

Während Aktionen ausgeführt werden, muss die Aktion Auftragsabbruch den Status „läuft“ ("cancelOrder running") zurückmelden, bis alle Aktionen abgebrochen/beendet sind. Nachdem alle Fahrzeugbewegungen und alle Aktionen beendet sind, muss der Status der Aktion Auftragsabbruch den Status „abgeschlossen“ ("cancelOrder finished") zurückmelden.

Die „orderId“ sowie „orderUpdateId“ werden beibehalten. Abbildung 9 zeigt das erwartete Verhalten für verschiedene FTF-Fähigkeiten.

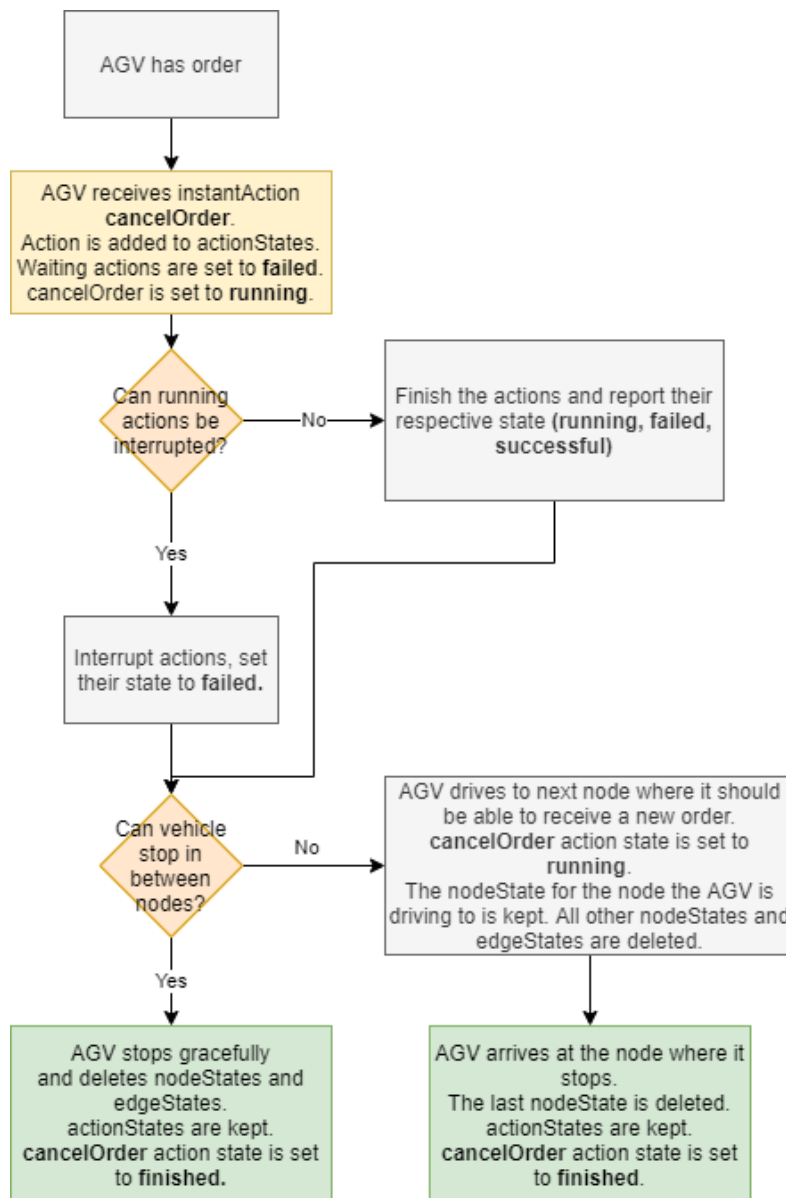


Abbildung 9: Erwartetes Verhalten nach der Stornierung eines Auftrags

6.6.3.1 Empfangen eines neuen Auftrags nach einer Stornierung

Nach dem Stornieren eines Auftrags muss sich das Fahrzeug in einem Zustand befinden, in dem es einen neuen Auftrag entgegennehmen kann.

Im Falle eines FTF, das sich über ein Tag auf Knoten lokalisiert, muss der neue Auftrag an dem Knoten beginnen, auf dem das FTF zu diesem Zeitpunkt steht (siehe auch Abbildung 8).

Im Falle eines FTF, das zwischen zwei Knoten anhalten kann, liegt die Entscheidung bei der Leitsteuerung, wie bzw. wo der nächste Auftrag gestartet werden soll. Das FTF muss beide Methoden akzeptieren.

Es gibt zwei Möglichkeiten:

- Senden eines Auftrags, bei dem der erste Knoten ein temporärer Knoten ist, der an der Stelle positioniert ist, an der das FTF geradesteht. Das FTF muss in diesem Fall in der Lage sein, zu erkennen, dass dieser Knoten problemlos erreichbar ist und den Auftrag annehmen.
- Senden eines Auftrags, bei dem der erste Knoten dem letzten durchquerten Knoten des vorherigen Auftrags entspricht. In diesem Fall muss der zulässige Abweichungsbereich so groß

angegeben werden, dass die aktuelle Position des FTF innerhalb dieses Bereichs liegt. Somit kann es diesen Knoten als durchfahrenen Knoten erkennen und den Auftrag annehmen.

6.6.3.2 Empfangen einer Stornierung eines Auftrags, wenn das FTF über keinen Auftrag verfügt

Wenn das FTF den Befehl Auftragsabbruch ("cancelOrder") erhält, das FTF aber derzeit über keinen Auftrag verfügt oder der vorherige Auftrag bereits storniert wurde, muss der Auftragsabbruch als fehlgeschlagen zurückgemeldet werden.

Das FTF muss in diesem Fall die Fehlermeldung "noOrderToCancel" zurückmelden, wobei der Status "errorLevel" auf Warnung gesetzt wird. Die actionId der instantAction muss als errorReference übergeben werden.

6.6.4 Ablehnung eines Auftrags

Es sind mehrere Situationen denkbar, in denen ein Auftrag („order“) abgelehnt werden muss. Diese werden ebenfalls in Abbildung 8 erläutert.

6.6.4.1 Fahrzeug erhält einen fehlerhaft aufgebaute order.

Empfehlung:

- a) Fahrzeug übernimmt die neue Reihenfolge NICHT in seinen internen Puffer.
- b) Das Fahrzeug meldet die Warnung "validationError".
- c) Die Warnung muss wiederholt gemeldet werden, bis das Fahrzeug einen neue order angenommen hat.

6.6.4.2 Fahrzeug erhält eine order mit Aktionen, die es nicht ausführen kann (z.B. Hubhöhe höher als maximale Hubhöhe, oder Hubaktionen obwohl kein Hub verbaut), oder mit Feldern, die es nicht benutzen kann (z.B. Trajektorie)

Empfehlung:

- a) Fahrzeug übernimmt die neue order NICHT in seinen internen Puffer
- b) Fahrzeug meldet die Warnung "orderError" mit Verweis auf die fehlerhaften Felder
- c) Die Warnung muss wiederholt gemeldet werden, bis das Fahrzeug eine neue order angenommen hat.

6.6.4.3 Fahrzeug erhält eine neue order mit derselben orderId, aber einer niedrigeren orderUpdateId als die aktuelle orderUpdateId

Empfehlung:

- a) Fahrzeug übernimmt die neue order NICHT in seinen internen Zwischenspeicher.
- b) Fahrzeug behält die bisherige order in seinem Zwischenspeicher.
- c) Das Fahrzeug meldet die Warnung "orderUpdateError".
- d) Das Fahrzeug führt die bisherige order weiter aus.

Wenn das FTF eine order mit derselben "orderId" und "orderUpdateId" doppelt erhält, wird die zweite order ignoriert. Dies kann passieren, wenn die Leitsteuerung die order erneut sendet, weil es die Statusmeldung zu spät empfangen hat und sie nicht verifizieren konnte, ob die erste order empfangen wurde oder nicht.

6.6.5 Karten

Um eine durchgängige Navigation unter verschiedenen FTF-Typen zu gewährleisten, ist die Position in Bezug auf das projektspezifische Kartenkoordinatensystem anzugeben (siehe Abb. Abbildung 10). Für die Unterscheidung zwischen verschiedenen Ebenen wird eine eindeutige Kartenkennung (mapId) verwendet. Das Kartenkoordinatensystem ist als Rechtskoordinatensystem mit der z-Achse nach oben anzugeben. Eine positive Drehung ist daher als Drehung gegen den Uhrzeigersinn zu verstehen. Das Fahrzeugkoordinatensystem ist ebenfalls als Rechtskoordinatensystem mit der x-Achse in Richtung des Fahrzeugs und der z-Achse nach oben angegeben. Diese Definition entspricht Kapitel 2.11 in DIN ISO 8855.

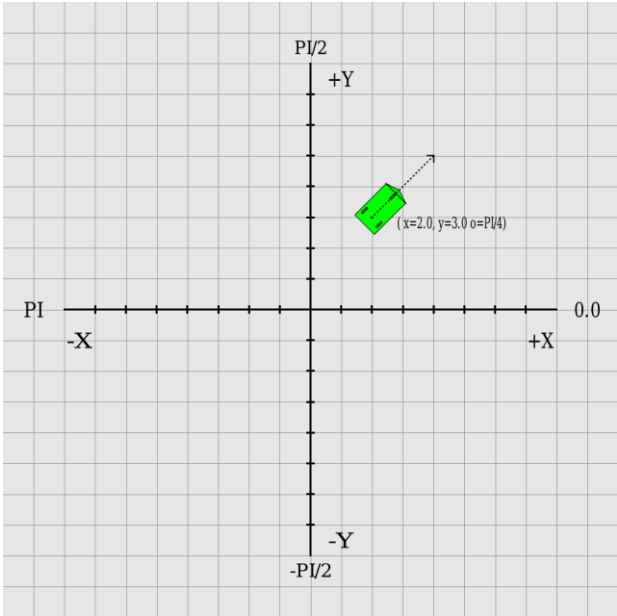


Abbildung 10: Koordinatensystem mit Muster-FTF und Orientierung

Die x-, y- und z-Koordinaten müssen in Metern angegeben werden. Die Orientierung muss im Bogenmaß erfolgen und innerhalb von +Pi und -Pi liegen.

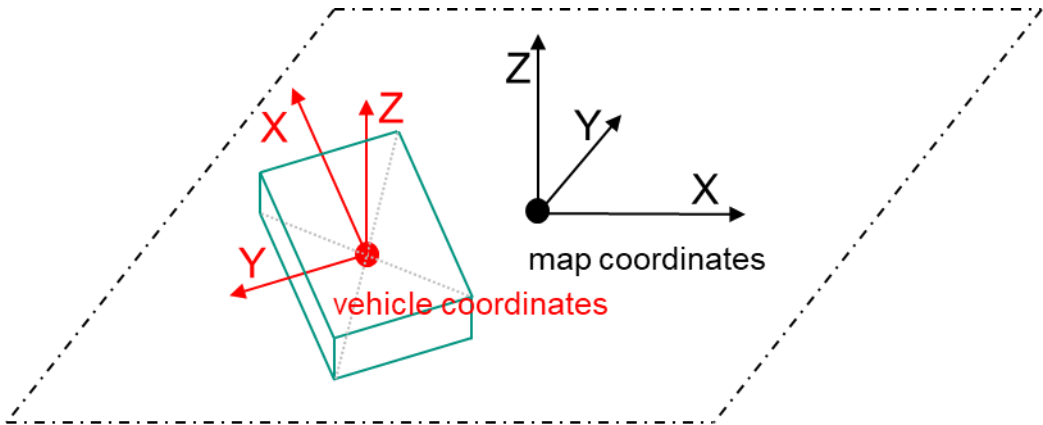


Abbildung 11: Koordinatensysteme für Karte sowie Fahrzeug

6.7 Implementierung der Auftragsmeldung („order“)

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
header		N/A	For header information see 6.4 "Protocol Header"	Information der Kopfzeile (siehe Kapitel 6.4).
orderId		string	Order identification. This is to be used to identify multiple	Auftragsidentifikation. Sie dient der Identifizierung mehrerer

orderUpdateId zoneSetId nodes [node] edges [edge]			order messages that belong to the same order.	Auftragsnachrichten, die zum selben Auftrag gehören.
		Integer	orderUpdate identification. Is unique per orderId. If an order update is rejected, this field is to be passed in the rejection message	orderUpdate Identifikation. Einzigartig pro order. Wenn ein orderUpdate abgelehnt wird, muss dieses Feld in einer Fehlermeldung übertragen werden
		String	Unique identifier of the zone set that the AGV has to use for navigation or that was used by MC for planning. Optional: Some MC systems do not use zones. Some AGVs do not understand zones. Do not add to message if no zones are used.	Eindeutige Kennung des Zonensatzes, den das FTF für die Navigation verwenden muss oder der von der Leitsteuerung für die Planung verwendet wurde. Optional: Einige Leitsteuerungen verwenden keine Zonen. Einige FTF verstehen Zonen nicht. Nicht zur Meldung hinzufügen, wenn keine Zonen verwendet werden.
		array	Array of nodes objects to be traversed for fulfilling the order. One node is enough for a valid order. Leave edge list empty for that case.	Array von abzufahrenden Knoten zur Erfüllung des Auftrags. Ein Knoten reicht für einen gültigen Auftrag. In diesem Fall ist die Kantenliste leer zu lassen.
		array	Array of edge objects to be traversed for fulfilling the order. May be empty in case only one node is used for an order.	Array von Kanten, die zur Erfüllung des Auftrags abzufahren sind. Kann leer sein, sofern nur ein Knoten für einen Auftrag verwendet wird.
node { nodeId sequenceId nodeDescription released }		JSON-object		
		string	Unique node identification.	Eindeutige Identifikation der Knoten
		Integer	Number to track the sequence of nodes and edges in an order and to simplify order updates. The main purpose is to distinguish between a node which is passed more than once within one orderId. The variable sequenceId runs across all nodes and edges of the same order and is reset when a new orderId is issued.	Nummer um die Sequenz an Knoten und Kanten in einer Order zu verfolgen und die Aktualisierung der Order zu vereinfachen. Ziel ist die eindeutige Identifizierung eines Knotens, der mehr als einmal innerhalb einer OrderId übergeben wird. Die variable sequenceId verläuft über alle Knoten und Kanten derselben order und wird zurückgesetzt wenn ein neue orderId ausgegeben wird
		string	Additional information on the node	Zusätzliche Informationen zu den Knoten
		boolean	"true" indicates that the node is part of the base. "false" indicates that the node is part of the horizon.	„true“: Der Knoten ist Teil der „Base“. „false“: Der Knoten ist Teil des „Horizon“.

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
nodePosition actions [action] }		JSON-object	Node position. Optional for vehicle-types that do not require the node position (e.g. line-guided vehicles).	Position des Knotens. Optional für Fahrzeugtypen, die die Position des Knotens nicht benötigen (z.B. spurgeführte Fahrzeuge)
		array	Array of actions to be executed on a node. Empty array if no actions required.	Array von actionIDs, die bei einem Knoten ausgeführt werden sollen. Leeres Array, wenn keine Aktionen notwendig sind.
nodePosition {		JSON-object	Defines the position on a map in a global projectspezifische world coordinate system. Each floor has its own map. All maps must	Definiert die Position auf einer Karte im projektspezifischen globalen Koordinatensystem. Jede Ebene hat eine eigene Karte. Alle verwendeten

<div> <div>x</div> <div>y</div> <div>theta</div> <div>allowedDeviationXY</div> </div>			use the same project specific global origin.	Karten müssen den selben globalen, projektspezifischen Ursprung haben.
	m	Float64	X-position on the map in reference to the map coordinate system. Precision is up to the specific implementation.	Die X-Position auf der Karte in Relation zum Karten-Koordinatensystem. Die Genauigkeit hängt von der spezifischen Implementierung ab.
	m	Float64	Y-position on the map in reference to the map coordinate system. Precision is up to the specific implementation.	Die Y-Position auf der Karte in Relation zum Karten-Koordinatensystem. Die Genauigkeit hängt von der spezifischen Implementierung ab.
	rad	float64	Range: [-Pi ... Pi] Orientation of the AGV on the node. Optional: vehicle can plan the path by itself. If defined, the AGV has to assume the theta angle on this node. If previous edge disallows rotation, the AGV must rotate on the node. If following edge has a differing orientation defined but disallows rotation, the AGV is to rotate on the node to the edges desired rotation before entering the edge.	Wertebereich: [-Pi ... Pi] Ausrichtung des FTF auf dem Knoten. Optional: Fahrzeug kann den Weg selbst planen. Falls definiert, muss das FTF den Theta-Winkel auf diesem Knotenpunkt annehmen. Wenn die vorhergehende Kante eine Rotation nicht zulässt, muss das FTF auf dem Knoten drehen. Wenn die nachfolgende Kante eine andere Ausrichtung definiert hat, aber keine Rotation zulässt, muss das FTF auf dem Knoten die Drehung in die für die Kante definierte Ausrichtung durchführen, bevor es in die Kante einfährt.
		Float64	Indicates how exact an AGV has to drive over a node in order for it to count as traversed. If = 0: no deviation is allowed (no deviation means within the normal tolerance of the AGV manufacturer). If > 0: allowed deviation-radius in meters. If the AGV passes a node within the deviation-radius, the node is considered to have been traversed.	Gibt an, wie genau ein FTF über einen Knoten fahren muss, damit er als durchfahren gilt. Wenn = 0: keine Abweichung erlaubt (keine Abweichung bedeutet innerhalb der normalen Toleranz des FTF-Herstellers). Wenn > 0: zulässiger Abweichungsradius in Metern. Passiert das FTF einen Knoten innerhalb des Abweichungsradius, gilt der Knoten als überfahren.

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
<div> <div>allowedDeviationTheta</div> <div>mapId</div> <div>mapDescription</div> <div>}</div> </div>		Float64	Range: [0 ... Pi] Indicates how big the deviation of theta angle can be. The lowest acceptable angle is theta - allowedDeviationTheta and the highest acceptable angle is theta + allowedDeviationTheta.	Bereich: [0 ... Pi] Gibt an, wie groß die Abweichung des Theta-Winkels sein darf. Der kleinste akzeptable Winkel ist Theta - allowedDeviationTheta und der größte akzeptable Winkel ist Theta + allowedDeviationTheta.
		string	Unique identification of the map in which the position is referenced. Each map has the same project specific global origin of coordinates. When an AGV uses an elevator, e. g. leading from a departure floor to a target floor, it will disappear off the map of the departure floor and spawn in the related lift node on the map of the target floor.	Eindeutige Identifikation der Karte auf die sich die Position referenziert. Jede Karte hat dieselben projektspezifischen globale Ursprungskordinaten. Wenn ein FTF den Aufzug benutzt, z.B. bei der Fahrt von einer Start- zu einer Ziel-Etage, wird das FTF von der Karte der Start-Etage ausgeblendet und am Knoten der Karte auf der Ziel-Etage eingeblendet.
		string	Additional information on the map	Zusätzliche Informationen zur Karte
<div> <div>action {</div> <div>actionType</div> </div>		JSON-object	Describes an action that the AGV can perform.	Beschreibt eine Aktion, die das FTF umsetzen kann
		string	Name of action as described in the first column of "Actions and Parameters".	Bezeichnung der Aktion wie in der ersten Spalte von "Aktionen und Parameter" beschrieben.

<div>actionId</div> <div>actionDescription</div> <div>blockingType</div> <div>actionParameters [actionParameter]</div> <div>}</div>			Identifies the function of the action.	Identifiziert die Funktion der Aktion.
		string	Unique ID to identify the action and map them to the actionState in the state. Suggestion: Use UUIDs.	Eindeutige ID zur Identifizierung der Aktion und zur Zuordnung zum actionState im Status. Vorschlag: Verwenden Sie UUIDs.
		string	Additional information on the action	Zusätzliche Informationen zur Aktion
		string	Enum {NONE, SOFT, HARD} "NONE" – allows driving and other actions "SOFT" – allows other actions, but not driving "HARD" – is the only allowed action at that time.	Aufzählungstyp {NONE, SOFT, HARD} "NONE" – Erlaubt Fahren und weitere Aktionen gleichzeitig "SOFT" – erlaubt bis auf das Fahren weitere Aktionen "HARD" – ist zu diesem Zeitpunkt die einzige erlaubte Aktion
		array	Array of actionParameter-objects for the indicated action e. g. deviceId, loadId, external Triggers. See "Actions and Parameters".	Array von actionParameter -Objekten für die angegebene Aktion z.B. deviceId, loadId, externe Trigger. Siehe "Actions and Parameters ".
edge {		JSON-object	Directional connection between two nodes	Direkte Verbindung von zwei Knoten
edgeId		string	Unique edge identification	Eindeutige Kantenidentifikation

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
sequenceId		Integer	Number to track the sequence of nodes and edges in an order and to simplify order updates. The variable sequenceId runs across all nodes and edges of the same order and is reset when a new orderId is issued.	Nummer zum Verfolgen der Reihenfolge von Knoten und Kanten in einem Auftrag und zur Vereinfachung der Auftragsaktualisierung. Die Variable sequenceId läuft über alle Knoten und Kanten des gleichen Auftrags und wird beim Absetzen einer neuen orderId zurückgesetzt.
edgeDescription		string	Additional information on the edge	Zusätzliche Information zur Kante
released		boolean	"true" indicates that the edge is part of the base. "false" indicates that the edge is part of the horizon.	"true" bedeutet, dass die Kante Teil der „Base“ ist. „false“ bedeutet, dass die Kante Teil des „Horizon“ ist.
startNodeId		string	nodeID of startNode	nodeID von startNode
endNodeId		string	nodeID of endNode	nodeID von endNode
maxSpeed	m/s	Float64	Permitted maximum speed on the edge. Speed is defined by the fastest measurement of the vehicle.	Erlaubte maximale Geschwindigkeit auf der Kante. Die Geschwindigkeit wird durch den schnellsten durch das FTF gemessenen Wert definiert.
maxHeight	m	Float64	Permitted maximum height of the vehicle, including the load, on edge	Maximal erlaubte Höhe des Fahrzeuges an der jeweiligen Kante Knoten (Höhe des Fahrzeuges inkl. Ladegut)
minHeight	m	Float64	Permitted minimal height of the load handling device on the edge.	Minimal erlaubte Höhe des Lasthandhabungsgerätes auf der Kante.
orientation	rad	Float64	Orientation of the AGV on the edge relative to the global project specific map coordinate origin (for holonomic vehicles with more than one driving direction). Example: orientation Pi/2 rad will lead to a rotation of 90 degrees. If AGV starts in different orientation, rotate the vehicle on the edge to the desired	Ausrichtung des FTF auf der Kante relativ zum projektspezifischen globalen Koordinatenursprung (bei holonomen Fahrzeugen mit mehr als einer Fahrtrichtung). Beispiel: Die Orientierung Pi/2 rad führt zu einer Drehung von 90 Grad. Wenn das FTF in einer anderen Ausrichtung startet, dreht das FTF auf der Kante in die gewünschte Ausrichtung, sofern rotationAllowed auf „true“ gesetzt wurde.

			<p>orientation if rotationAllowed is set to "true".</p> <p>If rotationAllowed is "false", rotate before entering the edge. If that is not possible, reject the order.</p> <p>If a trajectory with orientation is defined, follow the trajectories orientation. If a trajectory without orientation and the orientation field here is defined, apply the orientation to the tangent of the trajectory.</p>	<p>Wenn rotationAllowed auf „false“ gesetzt ist, dreht das FTF vor dem Einfahren in die Kante. Ist dies nicht möglich, wird der Auftrag abgelehnt.</p> <p>Wenn eine Trajektorie mit Orientierung definiert ist, soll der Orientierung der Trajektorien gefolgt werden. Wenn für eine Trajektorie ohne Orientierung ein Wert für deren Orientierung definiert wurde, soll die Orientierung zur Tangente der Trajektorie angewendet werden.</p>
--	--	--	---	---

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
<i>direction</i>		string	Sets direction at junctions for line-guided or wire-guided vehicles, to be defined initially (vehicle-individual). Example: left, right, straight, 433MHz	Legt die Richtung an Kreuzungen für linien- oder drahtgeführte Fahrzeuge fest. Die Definition ist fahrzeugabhängig. Beispiel: links, rechts, geradeaus, 433MHz
<i>rotationAllowed</i>		boolean	<p>„true“: rotation is allowed on the edge.</p> <p>„false“: rotation is not allowed on the edge.</p> <p>Optional: Default to "false".</p>	<p>„true“: Rotation auf der Kante ist erlaubt</p> <p>„false“: Rotation auf der Kante ist nicht erlaubt</p> <p>Optional: Standardeinstellung auf „false“</p>
<i>maxRotationSpeed</i>	rad/s	Float64	<p>Maximum rotation speed</p> <p>Optional: No limit if not set.</p>	<p>Maximale Rotationsgeschwindigkeit</p> <p>Optional: Keine Beschränkung falls dieses Feld nicht auftaucht.</p>
<i>trajectory</i>		JSON-object	<p>Trajectory JSON-object for this edge as a NURBS. Defines the curve on which the AGV should move between startNode and endNode.</p> <p>Optional: Can be omitted if AGV cannot process trajectories or if AGV plans its own trajectory.</p>	<p>Trajektorie JSON-Objekt für diese Kante als NURBS. Definiert die Kurve, auf der das FTF zwischen startNode und endNode bewegen soll.</p> <p>Optional: Kann entfallen, wenn FTF keine Trajektorien verarbeiten kann oder FTF eigene Trajektorie plant.</p>
<i>length</i>	m	float64	<p>Length of the path from startNode to endNode.</p> <p>Optional: This value is used by line-guided AGVs to decrease their speed before reaching a stop position.</p>	<p>Länge des Pfades von startNode zu endNode.</p> <p>Optional: Dieser Wert wird von Linien-FTF genutzt, um die Geschwindigkeit vor Erreichen einer Stopposition zu verringern.</p>
actions [action]		array	<p>Array of actionIds to be executed on the edge. Empty array if no actions required. An action triggered by an edge will only be active for the time that the AGV is traversing the edge which triggered the action. When the AGV leaves the edge, the action will stop and the state before entering the edge will be restored.</p>	<p>Array von actionIds, die an einer Kante ausgeführt werden müssen. Array ist leer, sofern keine Aktionen erforderlich sind. Eine Aktion, die durch eine Kante entsteht, wird nur so lange aktiv sein, wie das Fahrzeug auf dieser Kante fährt. Wenn das Fahrzeug die Kante verlässt, wird die Aktion gestoppt und der Zustand vor der Fahrt auf der Kante wird wiederhergestellt.</p>
}				
trajectory {		JSON-object		

degree		Float64	Range: [1 ... ∞) Defines the number of control points that influence any given point on the curve. Increasing the degree increases continuity. If not defined, the default value is 1.	Bereich: [1 ... ∞) Definiert die Anzahl der Kontrollpunkte, die einen beliebigen Punkt auf der Kurve beeinflussen. Erhöhung des Grades erhöht Kontinuität. Wenn nicht definiert, ist der Defaultwert 1.
--------	--	---------	--	---

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
knotVector [float64]		array	Range: [0.0 ... 1.0] Sequence of parameter values that determines where and how the control points affect the NURBS curve. knotVector has size of number of control points + degree + 1.	Reichweite: [0.0 ... 1.0] Abfolge der Parameterwerte, die bestimmen, wo und wie die Kontrollpunkte die NURBS-Kurve beeinflussen. knotVector hat Anzahl der Kontrollpunkte + Grad + 1.
controlPoints [controlPoint]		array	List of JSON controlPoint objects defining the control points of the NURBS, which includes the beginning and end point.	Liste der JSON- controlPoint - Objekte, die die Kontrollpunkte der NURBS-Objekte definieren, die den Anfangs- und Endpunkt enthalten.
}				
controlPoint {		JSON-object		
x		float64	X coordinate described in the world coordinate system.	X-Koordinate im Weltkoordinatensystem beschrieben.
y		float64	Y coordinate described in the world coordinate system.	Y-Koordinate im Weltkoordinatensystem beschrieben.
orientation	rad	float64	Range: [- π ... π] Orientation of the AGV on this position of the curve. The orientation is in world coordinates. When not defined the orientation of the AGV will be tangential to the curve.	Reichweite: [- π ... π] Ausrichtung des FTF auf dieser Position der Kurve. Die Orientierung erfolgt in Weltkoordinaten. Wenn nicht definiert, ist die Orientierung des FTF tangential zur Kurve.
weight		float64	Range: (0 ... ∞) The weight with which this control point pulls on the curve. When not defined, the default will be 1.0.	Bereich: (0 ... ∞) Die Gewichtung, mit der dieser Kontrollpunkt auf die Kurve zugreift. Wenn nicht definiert, ist der Standardwert 1.0.
}				

6.8 Aktionen (engl. „Actions“)

Wenn das FTF andere Aktionen als das Fahren unterstützt, werden diese Aktionen über das Aktionsfeld ausgeführt, das entweder an einen Knoten oder eine Kante angefügt ist, oder über das separate „Topic“ „instantActions“ gesendet wird (siehe 6.9).

Aktionen, die auf einer Kante ausgeführt werden sollen, dürfen nur ausgeführt werden, wenn sich das FTF auf dieser Kante befindet (siehe 6.10.2). Aktionen, die auf Knoten ausgelöst werden, können so lange ausgeführt werden, wie sie ausgeführt werden müssen. Aktionen auf Knoten sollten selbstbeendend sein (z.B. ein Audiosignal, das fünf Sekunden dauert, oder eine Pick-Aktion, die nach dem Aufnehmen einer Last abgeschlossen ist) oder paarweise formuliert werden (z.B. WarningLights aktivieren und WarningLights deaktivieren), obwohl es Ausnahmen geben kann.

Im folgenden Abschnitt werden vordefinierte Aktionen dargestellt, die vom FTF verwendet werden müssen, wenn die FTF-Funktionen der Aktionsbeschreibung zugeordnet sind. Wenn es eine sinnvolle Möglichkeit

gibt, die definierten Parameter zu verwenden, müssen sie verwendet werden. Zusätzliche Parameter können definiert werden, wenn sie zum erfolgreichen Ausführen einer Aktion erforderlich sind.

Wenn es keine Möglichkeit gibt, einer der Aktionen des folgenden Abschnitts eine Aktion zuzuordnen, kann der FTF-Hersteller zusätzliche Aktionen definieren, die vom Leitsystem verwendet werden müssen.

6.8.1 Vordefinierte Definition, Parametrierung, Effekte und Anwendungsfall von Aktionen

general						scope			
Aktion (engl. action)	Gegenaktion (engl. counter action)	Beschreibung [DE]	Beschreibung [ENG]	Wichtig (engl. important)	Para- meter	linked state	instant	node	edge
startPause	stopPause	Aktiviert den Pausenmodus. Ein verknüpfter state ist erforderlich, da viele FTF über einen Hardware-Schalter angehalten werden können. Keine weiteren FTF-Fahrbewegungen - das Erreichen des nächsten Knotens ist nicht notwendig. Aktionen können fortgesetzt werden. Die Order kann wieder aufgenommen werden.	Activates the pause mode. A linked state is required because many AGVs can be paused by using a hardware switch. No more AGV driving movements - reaching next node is not necessary. Actions can continue. Order is resumable.	yes	-	.paused	yes	no	no
stopPause	startPause	Deaktiviert den Pausenmodus. Die Bewegung und alle anderen Aktionen werden (falls vorhanden) wieder aufgenommen. Ein verknüpfter Zustand ist erforderlich, da viele FTF über einen Hardware-Schalter angehalten werden können. stopPause kann auch Fahrzeuge neu starten, die mit einem Hardware-Schalter angehalten wurden, der startPause ausgelöst hat (falls konfiguriert).	Deactivates the pause mode. Movement and all other actions will be resumed (if any). A linked state is required because many AGVs can be paused by using a hardware switch. stopPause can also restart vehicles that were stopped with a hardware button that triggered startPause (if configured).	yes	-	.paused	yes	no	no
startCharging	stopCharging	Aktiviert den Ladevorgang. Das Laden kann an einer Ladestelle (Fahrzeug stehend) oder auf einer Ladespur (während der Fahrt) erfolgen. Der Schutz vor Überladung liegt in der Verantwortung des Fahrzeugs.	Activates the charging process. Charging can be done on a charging spot (vehicle standing) or on a charging lane (while driving). Protection against overcharging is responsibility of the vehicle.	yes	-	.batteryState.charging	yes	yes	no
stopCharging	startCharging	Deaktiviert den Ladevorgang, um einen neuen Auftrag zu senden. Der Ladevorgang kann auch durch das Fahrzeug / die Ladestation unterbrochen werden, z.B. wenn der Akku voll ist. Der Batteriezustand darf nur dann „false“ sein, wenn das FTF bereit ist, Aufträge zu empfangen.	Deactivates the charging process to send a new order. The charging process can also be interrupted by the vehicle / charging station e.g. if the battery is full. Battery state is only allowed to be "false" when AGV is ready to receive orders.	yes	-	.batteryState.charging	yes	yes	no

general						scope			
Aktion (engl. action)	Gegenaktion (engl. counter action)	Beschreibung [DE]	Beschreibung [ENG]	Wichtig (engl. important)	Para-meter	linked state	instant	node	edge

initPosition	-	Setzt (überschreibt) die Position des FTF mit den angegebenen Parametern zurück.	Resets (overrides) the pose of the AGV with the given parameters.	yes	x (float64) y (float64) theta (float64) mapId (String) lastNodeID (String)	.agvPosition.x .agvPosition.y .agvPosition.theta .agvPosition.mapId .lastNodeID	yes	yes (Elevator)	no
stateRequest	-	Fordert das FTF auf, einen neuen state report zu senden	Requests the AGV to send a new state report	yes		-	yes	no	no
logReport	-	Fordert das FTF auf, einen log report zu generieren und zu speichern	Request the AGV to generate and store a log report.	yes	reason (String)	-	yes	no	no
pick	drop (sofern automatisiert)	Fordert das FTF auf, eine Ladung auszuwählen. FTF mit mehreren Lastumschlaggeräten können mehrere Kommissioniervorgänge parallel verarbeiten. In diesem Fall muss der Parameter „lhd“ vorhanden sein (z.B. LHD1). Der parameter „stationType“ informiert detailliert darüber, wie die Kommissioniervorgänge behandelt werden (z.B. Bodenlage, Rackposition, passiver Förderer, aktiver Förderer, etc.). Der Lasttyp informiert über die Lasteinheit und kann zum Beispiel zum Schalten des Feldes (z.B. EPAL, INDU usw.) genutzt werden. Zur Vorbereitung der Lastabfertigungsvorrichtung (z.B. Prelift-Operationen auf Basis des Höhenparameters) konnte die Aktion im Vorfeld angekündigt werden. Pre-Lift-Vorgänge usw. werden jedoch nicht im FTF-Zustand als ausgeführt gemeldet, da der zugehörige Knoten noch nicht freigegeben wurde. Wenn das FTF auf einer Kante ist, kann das FTF sein Sensorgerät verwenden, um die Position für die Auswahl des Knotens zu erkennen	Request the AGV to pick a load. AGVs with multiple load handling devices can process multiple pick operations in parallel. In this case, the parameter lhd needs to be present (e.g. LHD1). The parameter stationType informs how the pick operation is handled in detail (e.g. floor location, rack location, passive conveyor, active conveyor, etc.). The load type informs about the load unit and can be used to switch field for example (e.g. EPAL, INDU, etc). For preparing the load handling device (e.g. pre-lift operations based on the height parameter), the action could be announced in the horizon in advance. But, pre-Lift operations etc. are not reported as running in the AGV state because the associated node is not released yet. If on an edge, the vehicle can use its sensing device to detect the position for picking the node.	no	lhd (String, optional) stationType (String) stationName (String, optional) loadType (String) loadId (String, optional) height (float64) (optional) defines bottom of the load related to the floor depth (float64) (optional) for forklifts side(string) (optional) e.g. conveyor	.load	no	yes	yes

general						scope			
Aktion (engl. action)	Gegenaktion (engl. counter action)	Beschreibung [DE]	Beschreibung [ENG]	Wichtig (engl. important)	Para-meter	linked state	instant	node	edge
drop	pick (sofern automatisiert)	Fordert das FTF auf, eine Last abzugeben. Siehe „action pick“ für weitere Informationen.	Request the AGV to drop a load. See action pick for more details.	no	lhd (String, optional) stationType (String, optional) stationName (String, optional) loadType (String, optional) loadId (String, optional) height (float64, optional) depth (float64, optional)	.load	no	yes	yes

					optional)				
					...				
detectObject	-	FTF erkennt Objekte (z.B. Last, Ladeplatz, freie Parkposition).	AGV detects object (e.g. load, charging spot, free parking position).	yes	objectType(String, optional)	-	no	yes	yes
finePositioning	-	Auf einem Knoten positionieren sich FTF genau auf einer Zielposition. Das FTF darf von seiner Knotenposition abweichen. An einer Kante richtet sich das FTF z.B. an stationären Geräten aus, während eine Kante durchquert wird. InstantAction: FTF beginnt, exakt auf einem Ziel zu positionieren.	On a node, AGV will position exactly on a target. The AGV is allowed to deviate from its node position. On an edge, AGV will e.g. align on stationary equipment while traversing an edge. InstantAction: AGV starts positioning exactly on a target.	yes	stationType(String, optional) stationName(String, optional)	-	no	yes	yes
waitForTrigger	-	Das FTF muss auf einen Auslöser am FTF warten (z.B. Tastendruck, manuelles Laden). Die Leiteuerung ist für die Bearbeitung des Timeouts verantwortlich und muss die order bei Bedarf stornieren.	AGV has to wait for a trigger on the AGV (e.g. button press, manual loading). MC is responsible to handle the timeout and has to cancel the order if necessary.	yes	triggerType(String)	-	no	yes	no
cancelOrder	-	Das FTF stoppt so schnell wie möglich. Entweder sofort oder auf dem nächsten Knoten. Dann wird der Auftrag gelöscht. Alle Aktionen werden abgebrochen.	AGV stops as soon as possible. This could be immediately or on the next node. Then the order is deleted. All actions are canceled.	yes	-	-	yes	no	no

6.8.2 Vordefinierte Aktionen und deren Status

Aktion (engl. action)	Aktions status (engl. action states)				
	Initialisierung (engl. initializing)	Betriebsbereit (engl. running)	Pause (engl. paused)	Erliegt (eng. finished)	Fehlgeschlagen (engl. failed)
startPause	-	Die Aktivierung des Modus erfolgt in der Präparation. Wenn das FTF einen sofortigen Übergang unterstützt, kann dieser Zustand weggelassen werden. (engl.: Activation of the mode is in preparation. If the AGV supports an instant transition, this state can be omitted.)	-	Das FTF steht still. Alle Aktionen werden angehalten. Der Pausenmodus ist aktiviert. Das FTF meldet „paused: true“. (engl. Vehicle stands still. All actions will be paused. The pause mode is activated. The AGV reports „paused: true.“)	Der Pausenmodus kann aus irgendeinem Grund nicht aktiviert werden (z.B. überschreiben durch den Hardware-Schalter) (engl. The pause mode can not be activated for some reason (e.g. overridden by hardware switch)).
stopPause	-	Die Deaktivierung des Modus befindet sich in Vorbereitung. Wenn das FTF einen sofortigen Übergang unterstützt, kann dieser Zustand weggelassen werden. (engl. Deactivation of the mode is in preparation. If the AGV supports an instant transition, this state can be omitted.)	-	Der Pausenmodus ist deaktiviert. Alle angehaltenen Aktionen werden fortgesetzt. Das FTF meldet „paused: false“. (engl. The pause mode is deactivated. All paused actions will be resumed. The AGV reports „paused: false.“)	Der Pausenmodus kann aus irgendeinem Grund nicht aktiviert werden (z.B. überschreiben durch den Hardware-Schalter) (engl. The pause mode can not be deactivated for some reason (e.g. overridden by hardware switch)).
startCharging	-	Die Aktivierung des Ladevorgangs ist im Gange (die Kommunikation mit dem Ladegerät läuft). Wenn	-	Der Ladevorgang wird gestartet. Das FTF meldet „batteryState.charging: true“.	Der Ladevorgang konnte aus irgendeinem Grund nicht gestartet werden (z.B. nicht auf Ladegerät ausgerichtet).

		das FTF einen sofortigen Übergang unterstützt, kann dieser Zustand ausgelassen werden. (engl. Activation of the charging process is in progress (communication with charger is running). If the AGV supports an instant transition, this state can be omitted.)		(engl. The charging process is started. The AGV reports "batteryState.charging: true.")	Ladeprobleme sollten mit einem Fehler übereinstimmen. (engl. The charging process could not be started for some reason (e.g. not aligned to charger). Charging problems should correspond with an error.)
stopCharging	-	Die Deaktivierung des Ladevorgangs ist im Gange (die Kommunikation mit dem Ladegerät läuft). Wenn das FTF einen sofortigen Übergang unterstützt, kann dieser state ausgelassen werden. (engl. Deactivation of the charging process is in progress (communication with charger is running). If the AGV supports an instant transition, this state can be omitted.)	-	Der Ladevorgang wird angehalten. Das FTF meldet „batteryState.charging: false“. (engl. The charging process is stopped. The AGV reports "batteryState.charging: false.")	Der Ladevorgang konnte aus irgendeinem Grund nicht gestoppt werden (z.B. nicht am Ladegerät ausgerichtet). Ladeprobleme sollten mit einem Fehler übereinstimmen. (engl. The charging process could not be stopped for some reason (e.g. not aligned to charger). Charging problems should correspond with an error.)

Aktion (engl. action)	Aktions status (engl. action states)				
	Initialisierung (engl. initializing)	Betriebsbereit (engl. running)	Pause (engl. paused)	Erledigt (eng. finished)	Fehlgeschlagen (engl. failed)
initPosition	-	Initialisierung der neuen Position in Bearbeitung (Vertrauensprüfungen usw.). Wenn das FTF einen sofortigen Übergang unterstützt, kann dieser Zustand weggelassen werden. (engl. Initializing of the new pose in progress (confidence checks etc.). If the AGV supports an instant transition, this state can be omitted.)	-	Die Pose ist zurückgesetzt. Das FTF berichtet .agvPosition.x = x, .agvPosition.y = y, .agvPosition.theta = theta .agvPosition.mapId = mapId .agvPosition.lastNodeID = lastNodeID (engl. The pose is reset. The AGV reports .agvPosition.x = x, .agvPosition.y = y, .agvPosition.theta = theta .agvPosition.mapId = mapId .agvPosition.lastNodeID = lastNodeID)	Die Pose ist ungültig oder kann nicht zurückgesetzt werden. Allgemeine Lokalisierungsprobleme sollten mit einem Fehler übereinstimmen. (engl. The pose is not valid or can not be reset. General localization problems should correspond with an error.)
stateRequest	-	-	-	Der Status wurde kommuniziert. (engl. The state has been communicated)	-
logReport	-	Der Bericht wird generiert. Wenn das FTF eine sofortige Generierung unterstützt, kann dieser Zustand weggelassen werden. (engl. The report is being generated. If the AGV supports an instant generation, this state can be omitted.)	-	Der Bericht ist gespeichert. Der Name des Protokolls wird im „Status“ gemeldet. (engl. The report is stored. The name of the log will be reported in status.)	Der Bericht kann nicht gespeichert werden (z.B. kein Leerzeichen). (engl. The report can not be stored (e.g. no space))
pick	Initialisierung des Pick-Prozess, z.B. ausstehende Liftvorgänge. (engl. Initializing of the pick process, e.g. outstanding lift operations.)	Der Pick-Prozess läuft (Das FTF bewegt sich in der Station, Lastenabfertigungsgerät ist ausgelastet, Kommunikations-WLAN-Station läuft, etc.). (engl. The pick process is running (AGV is moving into station, load handling device is busy, communication with station is running, etc.))	Der Pick-Prozess wird angehalten, z.B. wenn ein Sicherheitsfeld verletzt wird. Nach dem Entfernen der Verletzung wird der Pick-Prozess fortgesetzt (engl. The pick process is being paused e.g. if a safety field is violated. After removing the violation the pick process continues.)	Der Pick-Prozess ist erledigt. Die Ladung ist auf dem FTF und das FTF meldet einen neuen Ladezustand. (engl. Pick is done. Load has entered the AGV and AGV reports new load state.)	Pick fehlgeschlagen, z.B. Station ist unerwartet leer. Fehlgeschlagene Kommissionier-vorgänge sollten einem Fehler entsprechen. (engl. Pick failed, e.g. station is unexpected empty. Failed pick operations should correspond with an error.)
drop	Initialisierung des Fallvorgangs, z.B. ausstehende Liftvorgänge	Der Abladevorgang wird ausgeführt. (FTF bewegt sich in die Station, Lastabfertigungsgerät ist ausgelastet,	Der Abladevorgang wird angehalten, z.B. wenn ein Sicherheitsfeld verletzt wird. Nach dem Entfernen der	Abladevorgang ist beendet. Last hat das FTF verlassen und FTF meldet neuen Beladungszustand	Abladevorgang fehlgeschlagen, z.B. Station ist unerwartet besetzt. Fehlgeschlagene

	(engl. Initializing of the drop process, e.g. outstanding lift operations.)	Kommunikation mit der Station läuft, etc.). (engl. The drop process is running. (AGV is moving into station, load handling device is busy, communication with station is running, etc.))	Verletzung wird der Abladevorgang fortgesetzt (engl. The drop process is being paused e.g. if a safety field is violated. After removing the violation the drop process continues.)	(engl. Drop is done. Load has left the AGV and AGV reports new load state.)	Abladevorgänge sollten einem Fehler entsprechen (engl. Drop failed, e.g. station is unexpected occupied. Failed drop operations should correspond with an error.)
detectObject	-	Objekterkennung wird ausgeführt (engl. Object detection is running.)	-	Das Objekt wurde erkannt (engl. Object has been detected.)	FTF konnte das Objekt nicht erkennen (engl. AGV could not detect the Object.)

Aktion (engl. action)	Aktions status (engl. action states)				
	Initialisierung (engl. initializing)	Betriebsbereit (engl. running)	Pause (engl. paused)	Erledigt (eng. finished)	Fehlgeschlagen (engl. failed)
finePositioning	-	FTF positioniert sich genau auf dem Ziel (engl. AGV positions itself exactly on a target.)	Der Feinpositionierungs-prozess wird z.B. bei Verletzung eines Sicherheitsfelds angehalten. Nach dem Entfernen der Verletzung wird die Feinpositionierung fortgesetzt. (engl. The fine positioning process is being paused e.g. if a safety field is violated. After removing the violation the fine positioning continues.)	Die Zielposition in Bezug auf die Station wurde erreicht (engl. Goal position in reference to the station is reached.)	Die Zielposition in Bezug auf die Station konnte nicht erreicht werden. (engl. Goal position in reference to the station could not be reached.)
waitForTrigger	-	FTF wartet auf den Auslöser (engl. AGV is waiting for the Trigger)	-	Der Trigger wurde ausgelöst. (engl. Trigger has been triggered.)	waitForTrigger schlägt fehl, wenn der Auftrag abgebrochen wurde. (engl. waitForTrigger fails if order has been canceled)
cancelOrder	-	FTF hält an oder fährt, bis es den nächsten Knoten erreicht. (engl. AGV is stopping or driving until it reaches the next node.)	-	FTF steht still und hat den Auftrag storniert. (engl. AGV stands still and has canceled the order.)	-

6.9 Topic: instantActions (von der Leitsteuerung zum FTF)

In bestimmten Fällen ist es notwendig, Aktionen an ein FTF zu senden, die sofort durchgeführt werden müssen. Dies wird durch das Versenden einer Nachricht instantAction an das „Topic“ „instantActions“ ermöglicht. „instantActions“ dürfen nicht mit dem Inhalt des aktuellen Auftrags des FTF in Konflikt stehen (z.B. „instantAction“ zum Absenken der Gabel, während Auftrag sagt, dass die Gabel angehoben werden soll).

Einige Beispiele, für die „instantActions“ relevant sein könnten, sind:

- das FTF anhalten, ohne etwas an dem aktuellen Auftrag (engl. „Order“) zu verändern
- den Auftrag nach der Pause wiederaufnehmen
- ein Signal aktivieren (optisch, akustisch etc.).

Weitere Informationen finden Sie in Kapitel 7 Praktische Beispiele.

Objekt Struktur	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
header	N/A	For header information see 6.4 Protocol Header.	Nähere Informationen zur Kopfzeile vgl. Kapitel 6.4
instantActions [action]	array	Array of actions that need to be performed immediately and are not part of the regular order.	Eine Abfolge von Aktionen, die sofort ausgeführt werden müssen und nicht Teil des regulären Auftrags sind.

Wenn ein FTF eine instantAction empfängt, wird ein entsprechender „actionStatus“ zum „actionStates“-array der FTF „Status“ hinzugefügt. Der „actionStatus“ wird entsprechend dem Fortschritt der Aktion aktualisiert. Siehe auch Abbildung 12 für die verschiedenen Übergänge eines „actionStatus“.

6.10 Topic: state (von der Leitsteuerung zum FTF)

Der aktuelle Zustand eines FTFs („state“) wird nur zu einem „Topic“ übermittelt. Im Vergleich zu separaten Meldungen (z.B. für Aufträge, Batteriezustand und Fehler) reduziert die Verwendung eines „Topics“ die Arbeitsbelastung des Brokers und der Leitsteuerung für den Umgang mit Nachrichten und hält gleichzeitig die Informationen über den FTF-Zustand synchronisiert.

FTF Statusmeldungen werden mit Auftreten eines relevanten Ereignisses oder spätestens alle 30 Sekunden über MQTT-Broker zur Leitsteuerung übermittelt.

Ereignisse, die die Übertragung der Zustandsnachricht auslösen, sind:

- Erhalt einer order
- Erhalt eines order updates
- Veränderung des load status
- Fehler
- Fahrt über einen Knoten
- Schaltung des operationMode
- Veränderung im „driving“ Feld des state.
- Veränderung im nodeStates, edgeStates oder actionStates

Es sollte versucht werden, den Umfang der Kommunikation zu drosseln. Wenn zwei Ereignisse miteinander korrelieren (z.B. erzwingt der Empfang einer neuen Order in der Regel eine Aktualisierung der „node-“, und „edgeStates“; wie das Fahren über einen „Node“), ist es sinnvoll, eine Zustandsaktualisierung anstelle von mehreren auszulösen.

6.10.1 Konzept und Logik

Der Auftragsfortschritt wird über die „nodeStates“ und „edgeStates“ verfolgt. Zusätzlich kann das FTF, wenn es seine aktuelle Position bestimmen kann, diese über das Feld "position" übertragen.

Sofern das FTF seinen Pfad selbst plant, muss es seine berechnete Trajektorie (inklusive „Base“ und „Horizon“) in Form eines NURBS über das Trajektorien-Objekt in der Statusmeldung kommunizieren. Nach der Freigabe der Knoten durch die Leitsteuerung darf das FTF seine Trajektorie nicht mehr ändern.

Die „nodeStates“/„edgeStates“ umfasst alle Knoten/Kanten, die das FTF noch durchlaufen muss.

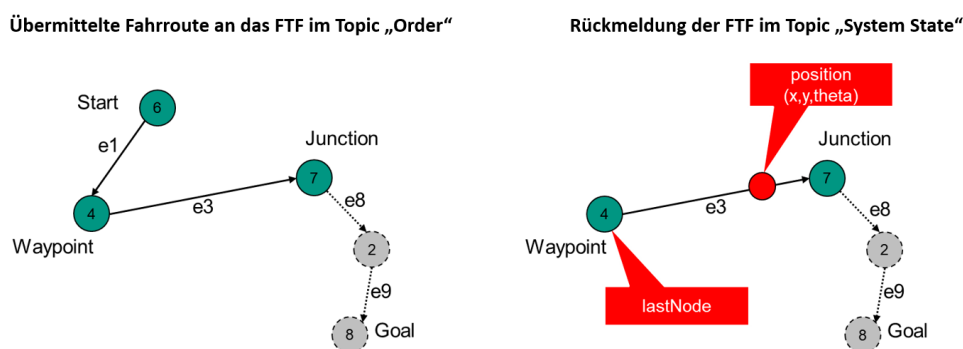


Abbildung 12: Übermittlung der Fahrtrouten und Rückmeldung der Positionsinformationen durch das FTF

6.10.2 Durchquerung von Knoten und Ein-/Ausfahren von Kanten, Auslösen von Aktionen

Das FTF entscheidet selbst, wann ein Knoten als durchquert gelten soll. Der Kontrollpunkt des FTF sollte innerhalb der zulässigen Abweichung des Knotens („deviationRangeXY“) und dessen Orientierung („deviationRangeTheta“) liegen.

Das FTF meldet die Durchquerung eines Knotens, indem er seinen nodeState aus dem nodeStates-Array entfernt und die lastNodeId, lastNodeSequenceNumber auf die Werte des durchlaufenen Knotens festlegt.

Sobald das FTF den Knoten als durchlaufen meldet, muss das FTF ggf. die dem Knoten zugeordneten Aktionen auslösen.

Die Durchquerung eines Knotens markiert auch das Verlassen der Kante, die zum Knoten führt. Die Kante muss dann aus den edgeStates entfernt werden, und die Aktionen, die auf der Kante aktiv waren, müssen abgeschlossen werden.

Die Durchquerung des Knotens markiert auch den Moment, in dem das FTF in die folgende Kante einfährt, falls diese vorhanden ist. Die Kantenaktionen müssen nun ausgelöst werden. Eine Ausnahme von dieser Regel ist, wenn das FTF an dem Knoten pausieren muss (wegen einer weichen oder harten Blockierung der Kante oder auf andere Weise) – dann tritt das FTF in die Kante ein, nachdem es sich wieder in Bewegung setzt.

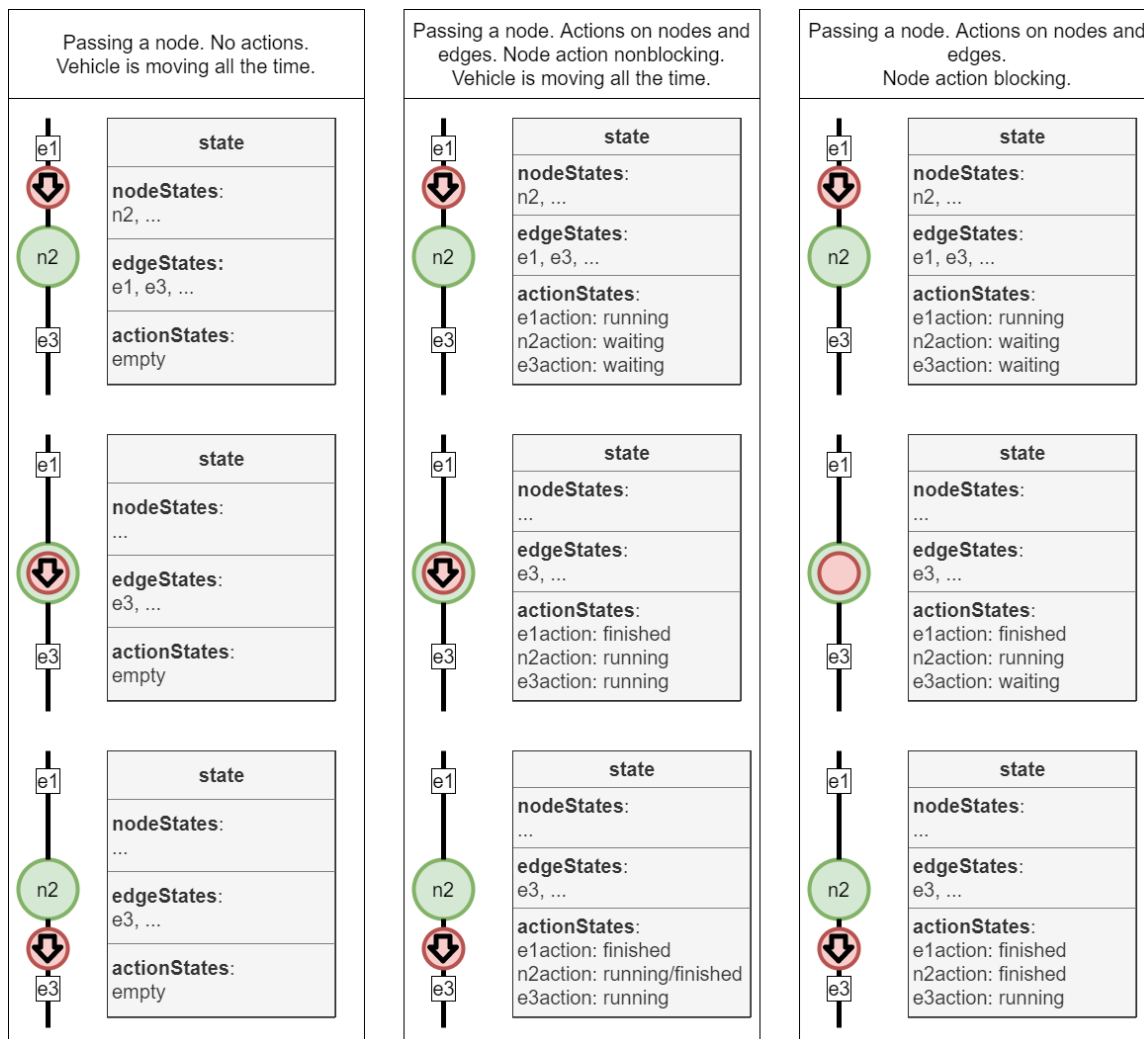


Abbildung 13: nodeStates, edgeStates, actionStates während des order handlings

6.10.3 Anfragen an der Base

Wenn das FTF erkennt, dass seine „Base“ knapp wird, kann er das „newBaseRequest“-Flag auf „true“ setzen, um unnötiges Abbremsen zu vermeiden.

6.10.4 Informationen

Das FTF kann über das Informations-Array beliebige Zusatzinformationen an die Leitsteuerung übermitteln. Es ist dem FTF überlassen, wie lange es Informationen über eine Informationsnachricht meldet.

Das Leitsystem darf die Infomeldungen nicht für eine Logik verwenden, sondern darf nur für Visualisierungs- und Debuggingzwecke verwendet werden.

6.10.5 Errors

Das FTF meldet Fehler über das Fehler-Array. Fehler haben zwei Stufen: Warnung (engl. warning) und Störung (engl. fatal). Eine Warnung ist ein Fehler nach dessen Behebung die order voraussichtlich fortgesetzt werden kann. Nach einer Störung kann eine order voraussichtlich nicht fortgesetzt werden. Fehler können Verweise übergeben, die bei der Suche nach der Fehlerursache über das errorReferences-Array helfen.

6.10.6 Implementierung

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
header		N/A	For header information see 6.4 Protocol Header	Die Beschreibung zum „header“ ist in Kapitel 6.4 aufgeführt
orderId		string	Unique order identification of the current order or the previous finished order. The orderId is kept until a new order is received. Empty string ("") if no previous orderId is available.	Eindeutige Identifizierung des aktuellen oder des vorhergehenden abgeschlossenen Auftrages. Die OrderId wird bis zum Eingang eines neuen Auftrages beibehalten. Es wird ein leerer String ("") verwendet, wenn keine vorherige orderId vorhanden ist.
orderUpdateId		UInt32	Order Update Identification to identify that an order update has been accepted by the AGV. "0" if no previous orderUpdateId is available.	Auftragsaktualisierungs-identifikation zur Kontrolle, dass eine Auftragsaktualisierung vom FTF akzeptiert wurde. "0", wenn keine vorherige OrderUpdateId verfügbar ist.
zoneSetId		String	Unique ID of the zone set that the AGV currently uses for path planning. Must be the same as the one used in the order, otherwise the AGV has to reject the order. Optional: If the AGV does not use zones, this field can be omitted.	Eindeutige Identifikation des Zonen-Satzes, den das FTF derzeit für die Routenplanung verwendet. Diese muss mit der im Auftrag verwendeten identisch sein, sonst muss das FTF den Auftrag ablehnen. Optional: Wenn das FTF keine Zonen verwendet, kann dieses Feld weggelassen werden.

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
lastNodeId		string	nodeId of last reached node or, if AGV is currently on a node, current node (e.g. „node7“). Empty string ("") if no lastNodeId is available.	Die nodeId des zuletzt erreichten Knotens oder, falls sich das FTF gerade auf einem Knoten befindet, die des aktuellen Knotens (z.B. "node 7"). Verwendung eines leeren Textfelds (""), falls keine lastNodeId verfügbar ist.
lastNodeSequenceId		UInt32	sequenceId of the last reached node or, if the AGV is currently on a node, sequenceId of current node. "0" if no lastNodeSequenceId is available.	Die sequenceId des zuletzt erreichten Knotens oder, falls sich das FTF gerade auf einem Knoten befindet, die sequenceId des aktuellen Knotens. "0", falls keine lastNodeSequenceId verfügbar ist.
nodeStates [nodeState]		array	Array of nodeState-Objects that need to be traversed for fulfilling the order	Array von nodeState-Objekten, die zur Erfüllung des Auftrags durchlaufen werden müssen. Das Array ist leer, falls das Fahrzeug wartet.

edgeStates [edgeState]			(empty list if idle)	
	array		Array of edgeState-Objects that need to be traversed for fulfilling the order (empty list if idle)	Array von edgeState-Objekten, die zur Erfüllung des Auftrags durchlaufen werden müssen. Die Array ist leer, falls das Fahrzeug wartet.
agvPosition		JSON-object	Current position of the AGV on the map. Optional: Can only be omitted for AGVs without the capability to localize themselves, e.g. line guided AGVs.	Aktuelle Position des FTF auf der Karte. Optional: Entfällt nur bei FTF ohne Lokalisierungsmöglichkeit, z.B. spurgeführten FTF.
velocity		JSON-object	The AGVs velocity in vehicle coordinates.	Die Geschwindigkeit des FTF in Fahrzeugkoordinaten.
loads [load]		Array	Loads that are currently handled by the AGV. Optional: If AGV cannot determine load state, leave the array out of the state. If the AGV can determine the load state, but the array is empty, the AGV is considered unloaded.	Die Ladung, die aktuell vom FTF gehandhabt wird. Optional: Falls das FTF nicht bestimmen kann, ob es beladen ist oder nicht, wird das Array nicht übertragen. Falls das FTF seinen Beladungszustand erkennen kann und das Array leer ist, heißt dies, dass das FTF unbeladen ist.
driving		boolean	„true“: indicates that the AGV is driving and/or rotating. Other movements of the AGV (e.g. lift movements) are not included here. „false“: indicates that the AGV is neither driving nor rotating.	„true“: Zeigt an, dass das FTF fährt und/oder sich dreht. Andere Bewegungen des FTF (z.B. Hubbewegungen) sind hier nicht abgebildet. „false“: Zeigt an, dass das FTF weder fährt noch sich dreht.
paused		Boolean	True: AGV is currently in a paused state, either because of the push of a physical button on the AGV or because of an instantAction. The AGV can resume the order. False: The AGV is currently not in a paused state.	Wahr: Das Fahrzeug ist pausiert. Die Pausierung kann entweder durch einen Schalter am Fahrzeug oder durch eine instantAction hervorgerufen worden sein. Das FTF kann die aktuelle Order fortsetzen. Falsch: Das FTF ist momentan nicht pausiert.

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
newBaseRequest		Bool	„true“: AGV is almost at the end of the base and will reduce speed if no new base is transmitted. Trigger for MC to send a new base. „false“: no base update required.	„true“: Das FTF ist kurz vor dem Ende der „Base“ und wird verlangsamen, sofern keine neue „Base“ übertragen wird. Auslöser für die Leitsteuerung, eine neue „Base“ zu senden. „false“: kein „Base“-Update erforderlich.
distanceSinceLastNode	meter	float64	Used by line guided vehicles to indicate the distance it has been driving past the „lastNodeIdd“. Distance is in meters.	Wird von einem spurgeführten Fahrzeug verwendet, um die Entfernung anzuzeigen, die es seit der letzten „lastNodeIdd“ zurückgelegt hat. Die Entfernung ist in Metern angegeben.
actionStates [actionState]		array	Contains a list of the current actions and the actions which are yet to be finished. This may include actions from previous nodes that are still in progress. When an action is completed, an updated state message is published with actionStatus set to finished	Enthält eine Liste der aktuellen und der noch zu erledigenden Aktionen. Dies kann Aktionen aus früheren Knoten umfassen, die noch nicht abgeschlossen sind. Falls eine Aktion abgeschlossen ist, wird eine aktualisierte Zustandsmeldung mit „actionStatus = finished“ und ggf. dem entsprechenden resultDescription gesetzt.

			and if applicable with the corresponding resultDescription. The action state is kept until a new order is received.	Der „actionStatus“ wird bis zum Erhalt eines neuen Auftrags beibehalten.
batteryState		JSON-object	Contains all battery-related information.	Enthält alle batteriebezogenen Informationen.
operatingMode		string	Enum {AUTOMATIC, SEMIAUTOMATIC, MANUAL, SERVICE, TEACHIN} For additional information, see the table OperatingModes in the chapter 6.10.6.	Enum {AUTOMATIC, SEMIAUTOMATIC, MANUAL, SERVICE, TEACHIN} Weitere Informationen siehe Kapitel 6.10.6 in der Tabelle zum OperatingMode.
errors [error]		array	Array of error-objects. All active errors of the AGV should be in the list. An empty array indicates that the AGV has no active errors.	Array der Fehlerobjekte. Alle aktiven Fehler des FTF sollten in dem Array stehen. Ein leeres Array besagt, dass das FTF keine aktiven Fehler hat.
informations [info]		Array	Array of info-objects. An empty array indicates that the AGV has no information. This should only be used for visualization or debugging – it must not be used for logic in master control.	Array von Informationsobjekten. Ein leeres Array besagt, dass keine Informationen vorhanden sind. Dieses Feld sollte nur für Anzeigen oder Fehlersuche benutzt werden. Dieses Feld darf nicht für Logik im Leitsystem verwendet werden.
safetyState		JSON-object	Contains all safety-related information.	Enthält alle sicherheitsrelevanten Informationen.

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
nodeState {		JSON-object		
nodeId		string	Unique node identification	Eindeutige Knotenidentifikation
sequenceld		integer	sequenceld to discern multiple nodes with same nodeId.	Eine eindeutige Id, um verschiedene Knoten mit derselben nodeId unterscheiden zu können.
nodeDescription		string	Additional information on the node	Zusatzinformationen zum Knoten
nodePosition		JSON-object	Node position. The object is defined in chapter 6.6 Optional: MC has this information. Can be sent additionally, e. g. for debugging purposes.	Position des Knotens (siehe Kapitel 6.6, Topic „Order“). (von der Leitsteuerung an das FTF zu übertragen.) Optional: Das Leitsystem hat diese Information vorliegen. Kann zusätzlich verschickt werden, z.B. für eine Fehlersuche.
released		bool	“true” indicates that the node is part of the base. “false” indicates that the node is part of the horizon.	“true” bedeutet, wenn der Knoten Teil der „Base“ ist. „false“ bedeutet, wenn der Knoten Teil des „Horizon“ ist.
}				
edgeState {		JSON-object		
edgeld		string	Unique edge identification	Eindeutige Identifikation der Kante
sequenceld		integer	sequenceld to differentiate between multiple edges with the same edgeld	Eine eindeutige Id, um verschiedene Kanten mit derselben edgeld unterscheiden zu können.
edgeDescription		string	Additional information on the edge	Zusätzliche Information zu einer Kante
released		boolean	“true” indicates that the edge is part of the base. “false” indicates that the edge is part of the horizon.	“true” bedeutet, wenn die Kante Teil der „Base“ ist. „false“ bedeutet, wenn die Kante Teil des „Horizon“ ist.
trajectory		JSON-object	The trajectory is to be communicated as a NURBS and is defined in chapter 6.4	Trajektorie JSON-Objekt als NURBS. Beschreibung siehe Kapitel 6.4 (Topic „order“) (von der Leitsteuerung an das FTF zu übertragen.)

			Trajectory segments are from the point where the AGV starts to enter the edge until the point where it reports that the next node was traversed.	Trajektorien-Segmente werden für den Punkt, an dem das FTF die Kante erreicht, bis zu dem Punkt definiert, an dem das FTF meldet, dass es den nächsten Knoten passiert hat.
agvPosition {		JSON-object	Defines the position on a map in world coordinates. Each floor has its own map.	Definiert die Position auf einer Karte in Weltkoordinaten. Jede Etage hat eine eigene Karte.
positionInitialized		boolean	<p>“false”: position is not initialized</p> <p>“true”: position is initialized</p>	<p>„false“: Position nicht initialisiert</p> <p>„true“: Position ist initialisiert</p>

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
<i>localizationScore</i>		float64	<p>Range: [0.0 ... 1.0]</p> <p>Describes the quality of the localization and therefore, can be used e. g. by SLAM-AGVs to describe how accurate the current position information is.</p> <p>0.0: position unknown</p> <p>1.0: position known</p> <p>Optional for vehicles that cannot estimate their localization score.</p> <p>Only for logging and visualization purposes.</p>	<p>Bereich: [0.0 ... 1.0]</p> <p>Beschreibt die Zuverlässigkeit der Lokalisierung und kann z.B. von FTF, die sich per SLAM lokalisieren, verwendet werden, um zu beschreiben, wie zuverlässig ihre aktuelle Positionsangabe ist.</p> <p>0.0: Position unbekannt</p> <p>1.0: Position bekannt</p> <p>Optional für FTF, die die Zuverlässigkeit ihrer Lokalisierung nicht angeben können.</p> <p>Nur für Logging und zur Anzeige zu verwenden.</p>
<i>deviationRange</i>	m	float64	<p>Value for the deviation range of the position in meters.</p> <p>Optional for vehicles that cannot estimate their deviation e.g. grid-based localization.</p> <p>Only for logging and visualization purposes.</p>	<p>Wert für die potentielle Abweichung der angegebenen Position von der echten in Metern.</p> <p>Optional für FTF, die die Zuverlässigkeit ihrer Lokalisierung nicht angeben können.</p> <p>Nur für Logging und zur Anzeige zu verwenden</p>
x	m	float64	X-position on the map in reference to the map coordinate system. Precision is up to the specific implementation.	X-Position auf der Karte bezogen auf das Kartenkoordinatensystem. Präzision hängt von der konkreten Umsetzung ab.
y	m	float64	Y-position on the map in reference to the map coordinate system. Precision is up to the specific implementation.	Y-Position auf der Karte bezogen auf das Kartenkoordinatensystem. Präzision hängt von der konkreten Umsetzung ab.
theta		float64	<p>Range: [-Pi ... Pi]</p> <p>Orientation of the AGV.</p>	<p>Reichweite: [- Pi ... Pi]</p> <p>Ausrichtung des FTF</p>
mapId		string	Unique identification of the map in which the position is referenced.	Eindeutige Kennzeichnung der Karte, auf die sich die Position bezieht.

<i>mapDiscription</i> }			Each map has the same origin of coordinates. When an AGV uses an elevator, e. g. leading from a departure floor to a target floor, it will disappear off the map of the departure floor and spawn in the related lift node on the map of the target floor.	Jede Karte hat den gleichen Koordinatenursprung. Falls ein FTF einen Aufzug benutzt, z.B. vom Quellstockwerk zum Zielstockwerk, verschwindet es von der Karte des Quellstockwerks und erscheint im zum Lift gehörenden Knoten auf der Karte des Zielstockwerks.
		string	Additional information on the map.	Weite Informationen zur Karte.

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
velocity {		JSON-object		
<i>vx</i>	m/s	Float64	The AGVs velocity in its x direction	Die Geschwindigkeit des FTF in X-Richtung.
<i>vy</i>	m/s	Float64	The AGVs velocity in its y direction	Die Geschwindigkeit des FTF in Y-Richtung.
<i>omega</i>	Rad/s	Float64	The AGVs turning speed around its z axis	Die Drehgeschwindigkeit des FTF (um die z-Achse).
}				
load {		JSON-object		
<i>loadId</i>		string	Unique identification number of the load (e. g. barcode or RFID). Empty field if the AGV can identify the load but didn't identify the load yet. Optional if the AGV cannot identify the load.	Eindeutige Identifikationsnummer der Ladung (z.B. Barcode oder RFID). Leeres Feld, falls das FTF in der Lage ist, eine Ladung zu identifizieren, aber momentan keine Ladung hat. Optional, falls das FTF nicht in der Lage ist, seine Ladung zu identifizieren.
<i>loadType</i>		string	Type of load	Art der Ladung
<i>loadPosition</i>		string	Indicates which load handling/carrying unit of the AGV is used, e. g. in case the AGV has multiple spots/positions to carry loads. For example: "front", "back", "positionC1", etc. Optional for vehicles with only one loadPosition	Gibt an, welche Lastaufnahme/Transporteinheit des FTF verwendet wird, z.B. bei mehreren Stellen/Positionen zur Lastenaufnahme. Zum Beispiel: "front", "back", "positionC1", etc. Optional für FTF mit nur einer Ladeposition.
<i>boundingBoxReference</i>		JSON-object	Point of reference for the location of the bounding box. The point of reference is always the center of the bounding box's bottom surface (at height = 0) and is described in coordinates of the AGV's coordinate system.	Bezugspunkt für die Position der Bounding Box. Der Bezugspunkt ist immer das Zentrum der Bodenfläche der Bounding Box (auf Höhe = 0) in Bezug auf das Koordinatensystem des FTF.
<i>loadDimensions</i>		JSON-object	Dimensions of the load's bounding box in meters.	Abmessungen der Bounding Box der Last in Metern.
<i>weight</i>	kg	uint32	Range: [0.0 ... ∞) Absolute weight of the load measured in kg.	Bereich: [0.0 ... ∞) Absolutes Gewicht der in kg gemessenen Last.
}				
boundingBoxReference {		JSON-object	Point of reference for the location of the bounding box. The point of reference is always the center of the bounding box's bottom surface (at	Bezugspunkt für die Position der Bounding Box. Der Bezugspunkt ist immer das Zentrum der Bodenfläche der

			height = 0) and is described in coordinates of the AGV's coordinate system.	Bounding Box (auf Höhe = 0) in Bezug auf das Koordinatensystem des FTF.
x		float64	x-coordinate of the point of reference.	X-Koordinate des Bezugspunktes.
y		float64	y-coordinate of the point of reference.	Y-Koordinate des Bezugspunktes.

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
z		float64	z-coordinate of the point of reference.	Z-Koordinate des Bezugspunktes.
theta		float64	Orientation of the loads bounding box. Important for tugger trains etc.	Ausrichtung der Bounding Box. Wichtig für Routenzüge etc.
}				
loadDimensions {		JSON-object	Dimensions of the load's bounding box in meters.	Abmessungen der Bounding Box der Last in Metern
length	m	float64	Absolute length of the load's bounding box.	Absolute Länge der Bounding Box der Ladung.
width	m	float64	Absolute width of the load's bounding box.	Absolute Breite der Bounding Box der Ladung.
height	m	float64	Absolute height of the load's bounding box. Optional: Set value only if known.	Absolute Höhe der Bounding Box der Ladung. Optional: Nur bei bekanntem Wert verwenden.
}				
actionState {		JSON-object		
actionId		string	action_ID	Eindeutige Id der Aktion.
actionType		String	actionType of the action. Optional: Only for informational or visualization purposes. Order knows the type.	Typ der Aktion. Optional: Nur zur Information und Anzeige zu verwenden. Die Order kennt den Typ der Aktion.
actionDescription		string	Additional information on the current action.	Weitere Informationen zur aktuellen Aktion.
actionStatus		string	Enum {waiting; initializing; running; paused; finished; failed} waiting: waiting for trigger (passing the node, entering the edge) Paused: paused by instantAction or external trigger failed: action could not be performed.	Enum {waiting; initializing; running; paused; finished; failed} waiting: Warten auf Trigger (Passieren eines Knotens, Erreichen einer Kante) Paused: pausiert durch eine instantAction oder einen externen Trigger failed: Aktion konnte nicht durchgeführt werden.
resultDescription		string	Description of the result, e.g. the result of a RFID-read. Errors will be transmitted in errors. Examples for results are given in 6.5	Beschreibung des Ergebnisses, z.B. Ergebnis eines RFID-Scans. Fehler werden in der Entität „errors“ übertragen. Für Beispiele für Ergebnisse siehe in 6.5
}				

batteryState{		JSON-object		
batteryCharge	%	float64	State of Charge: if AGV only provides values for good or bad battery levels, these will be indicated as 20% (bad) and 80% (good).	Ladelevel: Wenn FTF nur Werte für gute oder schlechte Ladelevel liefert, werden diese als 20% (schlecht) und 80% (gut) angezeigt.
batteryVoltage	V	float64	Battery Voltage	Batteriespannung

Objekt Struktur	Einheit	Datentyp	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
<i>batteryHealth</i>	%	int8	Range: [0...100] State of Health	Bereich: [0...100] Batteriezustand
charging		boolean	"true": charging in progress "false": AGV is currently not charging	„true“: Laden aktiv „false“: FTF lädt derzeit nicht
reach }	m	uint32	Range: [0.0 ... ∞) Estimated reach with current State of Charge	Bereich: [0.0 ... ∞) Geschätzte Reichweite mit aktuellem Batterieladestand
error {		JSON-object		
errorType		string	Type / name of error	Typ/ Name des Fehlers
errorReferences [errorReference]		array	Array of references to identify the source of the error (e. g. headerId, orderId, actionId, ...). For additional information see „Praktische Beispiele“ chapter 7	Array um die Ursache des Fehlers zu identifizieren (z.B. headerId, orderId, actionId,...). Für zusätzliche Informationen siehe „Praktische Beispiele“ Kapitel 7.
errorDescription		string	Error description	Fehlerbeschreibung
errorLevel		string	Enum {warning, fatal} warning: AGV is ready to start (e.g. maintenance cycle expiration warning) fatal: AGV is not in running condition, user intervention required (e.g. laser scanner is contaminated)	Enum {warning, fatal} warning:: FTF ist startbereit (z.B. Wartungszyklus-Überschreitungswarning) fatal: FTF ist nicht fahrbereit, Bedienereingriff erforderlich (z.B. Laserscanner verschmutzt)
}				
errorReference {		JSON-object		
referenceKey		string	References the type of reference (e. g. headerId, orderId, actionId, ...).	Verweis auf Art der Referenz (z.B. headerId, orderId, actionId, ...).
referenceValue		string	References the value, which belongs to the reference key.	Der Wert, der zum referenceKey gehört.
}				
info {		JSON-object		
infoType		string	Type / name of information	Typ / Name der information
infoReferences [infoReference]		array	Array of references	Array von Verweisen
infoDescription		string	Info description	Ergänzende Beschreibung
infoLevel		string	Enum {DEBUG, INFO} DEBUG: used for debugging INFO: used for visualization	Enum {DEBUG, INFO} DEBUG: Für Debugging INFO: Zur Anzeige
}				
safetyState {		JSON-object		
eStop		string	Enum {autoAck, manual, remote, none} Acknowledge-Type of eStop: autoAck: auto-acknowledgeable e-stop is activated e.g. by bumper or protective field manual: e-stop has to be acknowledged manually at the vehicle	Enum { autoAck, manual, remote, none } Quittierung des eStop: autoAck: automatisches Quittieren des e-stop, wird z.B. durch Stoßfänger oder Schutzfeld aktiviert manual: E-Stop muss am Fahrzeug manuell quittiert werden

fieldViolation }			remote: facility e-stop has to be acknowledged remotely none: no e-stop activated	remote: Facility e-Stop muss remote quittiert werden none: Kein E-Stop aktiviert
		boolean	Protective field violation. "true": field is violated "false": field is not violated	Schutzfeldsverletzung. „true“: Feld ist verletzt „false“: Feld nicht verletzt

In der nachfolgenden Beschreibung sind die operatingMode des Topic „states“ aufgeführt.

Identifikator	Datentyp	Typ	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
operatingMode	string	AUTOMATIC	AGV is under full control of the MC. AGV drives and executes actions based on orders from the MC	FTF steht unter Kontrolle der Leitsteuerung. FTF fährt und führt Aktionen auf Basis von Aufträgen der Leitsteuerung aus.
		SEMIAUTOMATIC	AGV is under control of the MC. AGV drives and executes actions based on orders from the MC. The driving speed is controlled by the HMI. (speed can't exceed the speed of automatic mode) The steering is under automatic control. (non-safe HMI possible)	FTF wird über die Leitsteuerung gesteuert. FTF fährt und führt Aktionen auf Basis von Aufträgen der Leitsteuerung aus. Die Fahrgeschwindigkeit wird durch das HMI gesteuert. (Geschwindigkeit kann die Geschwindigkeit des Automatikmodus nicht überschreiten) Die Lenkung wird automatisch gesteuert. (Nicht sicheres HMI möglich)
		MANUAL	MC is not in control of the AGV. Supervisor doesn't send driving order or actions to the AGV. HMI can be used to control the steering and velocity and handling device of the AGV. Location of the AGV is send to the MC. When AGV enters or leaves this mode, it immediately clears all the orders. (safe HMI required)	Das FTF wird nicht über die Leitsteuerung gesteuert. Die Leitsteuerung sendet keine Fahraufträge oder Aktionen an das FTF. HMI kann die Steuerung und Geschwindigkeit des Handlinggeräts des FTF kontrollieren. Position des FTF wird an die Leitsteuerung gesendet. Wenn FTF in diesen Modus eintritt oder diesen verlässt, löscht es sofort alle Aufträge. (Safe HMI erforderlich)
		SERVICE	MC is not in control of the AGV. MC doesn't send driving order or actions to the AGV. Authorized personal can reconfigure the AGV.	Das FTF wird nicht über die Leitsteuerung gesteuert. Leitsteuerung sendet keine Fahrbefehle oder sonstige Aktionen an das FTF. Autorisiertes Personal kann das Fahrzeug rekonfigurieren.
		TEACHIN	MC is not in control of the AGV. Supervisor doesn't send driving order or actions to the AGV. The AGV is being taught, e.g. mapping is done by a MC	Das FTF wird nicht über die Leitsteuerung gesteuert. Leitsteuerung sendet keine Fahrbefehle oder sonstige Aktionen an das FTF. Das FTF wird eingelernt, z.B. erfolgt das Mapping durch die Leitsteuerung

6.11 actionStates

Wenn ein FTF eine Aktion empfängt (entweder an einen Knoten oder eine Kante angehängt oder über eine instantAction), muss das FTF die Aktion mit einer actionState in seinem actionStates-Array darstellen. actionStates beschreiben über das Feld „actionStatus“ in welcher Phase des Aktionslebenszyklus sich die Aktion befindet. Tabelle 1 beschreibt, welche Werte das Enum „actionStatus“ enthalten kann.

actionStatus	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
--------------	--------------------	-------------------

WAITING	Action was received by AGV but the node where it triggers was not yet reached or the edge where it is active was not yet entered.	Eine Aktion wurde vom FTF empfangen, aber der Knoten, an dem die Aktion ausgelöst wird, ist noch nicht erreicht oder die Kante, an der die Aktion aktiv ist, ist noch nicht befahren.
INITIALIZING	Action was triggered, preparatory measures are initiated.	Eine Aktion wurde ausgelöst, vorbereitende Maßnahmen werden initialisiert.
RUNNING	The action is running.	Die Aktion läuft.
PAUSED	The action is paused because of a pause instantAction or external trigger (pause button on AGV)	Eine Aktion wird aufgrund einer Pause instantAction oder eines externen Auslösers (Pause-Taste am FTF) angehalten.
FINISHED	The action is finished. A result is reported via the resultDescription	Die Aktion ist erledigt. Das Ergebnis wird über das Attribut „resultDescription“ mitgeteilt.
FAILED	Action could not be finished for whatever reason.	Die Aktion konnte aus irgendeinem Grund nicht abgeschlossen werden.

Tabelle 1 Zulässige Werte für das Feld “actionStatus”

Ein Zustandsübergangsdiagramm ist in Abbildung 14 dargestellt.

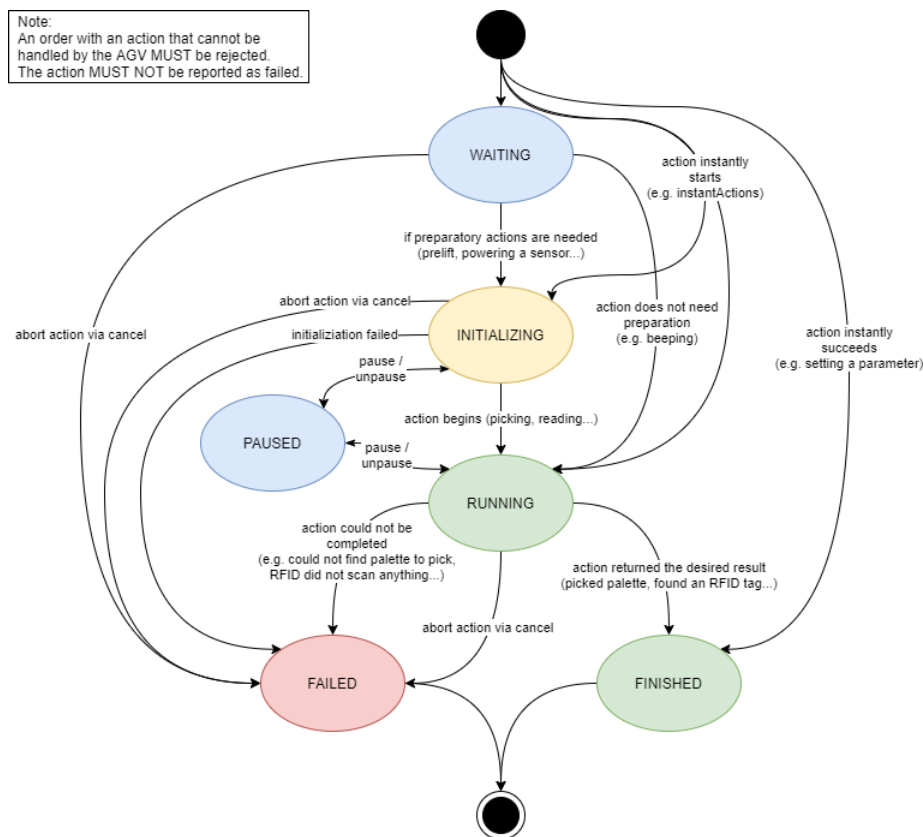


Abbildung 14 Alle möglichen Zustandsübergänge für actionStates

6.12 Action Blocking Types und sequence

Ein Auftrag mit mehreren Aktionen in einer Liste definiert eine Reihenfolge, anhand der die Aktionen auszuführen sind. Die parallele Ausführung der Aktionen wird durch ihren jeweiligen blockingType geregelt.

Aktionen können drei verschiedene Blockierungstypen haben, die in Tabelle 2 beschrieben sind.

actionStatus	Beschreibung [ENG]	Beschreibung [DE]
NONE	Action can be executed in parallel with other actions and while the vehicle is driving	Die Aktion kann parallel zu anderen Aktionen und während der Fahrt ausgeführt werden.

SOFT	Action can be executed in parallel with other actions. Vehicle must not drive.	Die Aktion kann parallel zu anderen Aktionen ausgeführt werden. Fahrzeug darf nicht fahren.
HARD	Action must not be executed in parallel with other actions. Vehicle must not drive.	Die Aktion darf nicht parallel zu anderen Aktionen ausgeführt werden. Fahrzeug darf nicht fahren.

Tabelle 2 Action blocking types

Wenn sich auf demselben Knoten mehrere Aktionen mit unterschiedlichen Blockierungstypen befinden, wird in Abbildung 15 beschrieben, wie das FTF mit diesen Aktionen umgehen soll.

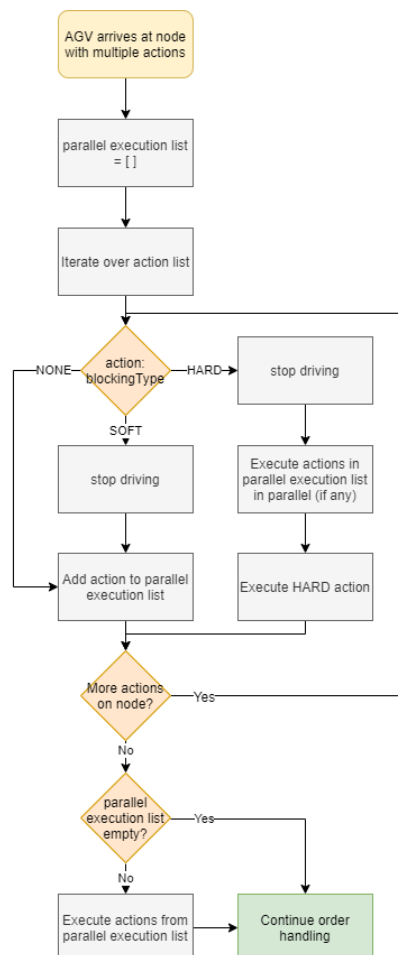


Abbildung 15 unterschiedliche Blockierungstypen

6.13 Topic „Visualization“

Für eine hochfrequentes Positions- und Geschwindigkeitsupdate kann das FTF seine Position auf dem Subtopic „visualization“ übertragen. Die Struktur der Positionsmeldung entspricht der Positionsmeldung im „state“. Weitere Informationen siehe Kapitel 6.7. Die Aktualisierungsrate für dieses topic wird durch den Integrator definiert.

6.14 Topic „connection“

Während der Verbindung zwischen einem FTF-Client und dem Broker werden ein „Last-Will-Topic“ (LWT) und „Last-Will-Message“ (LWM) eingestellt, welches von dem Broker sofort in das LWT veröffentlicht wird, nachdem der FTF-Client sich von dem Broker getrennt hat. Somit kann die Leitsteuerung ein Disconnection-Event erkennen, indem sie die LWTs aller FTF abonniert. Die Disconnection wird über einen Heartbeat erkannt, der zwischen dem Broker und dem Client ausgetauscht wird. Das Intervall ist in den meisten Brokern konfigurierbar und sollte auf etwa 15 Sekunden eingestellt werden.

Die vorgeschlagene „Last-Will-Topic“ Struktur ist:

uagv/v2/manufacturer/SN/connection

Das „Last-Will-Topic“ wird in Form von einer JSON-gekapselten Nachricht mit den folgenden Feldern definiert:

Identifier	Datentyp	Beschreibung [ENG]
headerId	uint32	header ID of the message. The headerId is defined per topic and incremented by 1 with each sent (but not necessarily received) message.
timestamp	string	Timestamp (ISO8601, UTC); YYYY-MM-DDTHH:mm:ss.ssZ (e.g. "2017-04-15T11:40:03.12Z")
version	string	Version of the protocol [Major].[Minor].[Patch] (e.g. 1.3.2)
manufacturer	string	Manufacturer of the AGV
serialNumber	string	Serial number of the AGV
connectionState	string	Enum{ONLINE, OFFLINE, CONNECTIONBROKEN} ONLINE: connection between AGV and broker is active. OFFLINE: connection between AGV and broker has gone offline in a coordinated way. CONNECTIONBROKEN: The connection between AGV and broker has unexpectedly ended.

Die Last-Will-Message wird nicht verschickt, wenn eine Verbindung ordnungsgemäß mithilfe eines MQTT-Disconnection-Befehls beendet wird. Die Last-Will-Message wird vom Broker nur verschickt, wenn die Verbindung unerwartet unterbrochen wird.

Ein FTF will die Verbindung ordnungsgemäß beenden.

1. Das FTF schickt „uagv/v2/manufacturer/SN/connection“ mit connectionState = „offline“.
2. Beenden der MQTT-Verbindung mit einem Disconnect-Befehl.

Ein FTF geht online:

1. Setzen des „Last-Will-Topic“ auf „uagv/v2/manufacturer/SN/connection“ mit dem Feld „connectionState“ = „connectionBroken“, wenn die MQTT-Verbindung hergestellt wird.
2. Senden des „Topics“ „uagv/v2/manufacturer/SN/connection“ mit „connectionState“ = „online“.

Alle Nachrichten zu diesem „Topic“ sollten mit einem beibehaltenen Flag gesendet werden.

Wenn die Verbindung zwischen dem FTF und dem Broker unerwartet abbricht, sendet der Broker das „Last-Will-Topic“: „uagv/v2/manufacturer/SN/connection“ wobei das Feld „connectionState“ auf „connectionBroken“ gesetzt ist.

7 Praktische Beispiele

Dieser Abschnitt enthält zusätzliche Informationen, die helfen sollen, ein gemeinsames Verständnis mit der Logik des Protokolls zu erreichen.

7.1 Fehlerreferenz

Tritt aufgrund eines fehlerhaften Auftrags ein Fehler auf, sollte das FTF einen sinnvollen Fehlerbezug zurückgeben. Hierunter fallen folgende Informationen:

- headerId
- Topic (Auftrag oder instantAction)
- orderId und orderUpdateId, wenn Fehler durch Auftragsupdate verursacht wurde
- actionId, wenn Fehler durch eine Aktion verursacht wurde
- Liste der Parameter, wenn Fehler durch fehlerhafte Aktionsparameter verursacht wurde

Kann eine Aktion aufgrund externer Faktoren nicht durchgeführt werden (z.B. keine Last an erwarteter Stelle), sollte die actionId referenziert werden.

7.2 Parameterformat

Parameter für Fehler, Informationen und Aktionen sind als Array von JSON-Objekten mit Schlüssel-Wert-Paaren konzipiert. Ein Beispiel für das actionParameter von einer Aktion „someAction“ mit Schlüssel-Wert-Paar für stationType und loadType:

```
"actionParameters": [
  { "key": "stationType", "value": "floor" },
  { "key": "loadType", "value": "pallet_eu" }
]
```

Der Grund für die Verwendung des vorgeschlagenen Schemas “key”: “actualKey”, “value”: “actualValue” besteht darin, die Implementierung durchgängig zu halten. Dies ist in mehreren Sitzungen gründlich und kontrovers diskutiert worden.

8 Glossar

8.1 Begriffsbeschreibung (deutsch)

Begriff	Beschreibung
Frei navigierende Fahrzeuge	Fahrzeuge, die anhand einer Karte ihren Pfad selbst planen. Das Leitsystem schickt nur Start- und Zielkoordinaten. Das Fahrzeug schickt seinen Pfad an das Leitsystem. Beim Abbruch der Kommunikation zum Leitsystem ist es dem Fahrzeug möglich, seine Fahrt fortzusetzen. Frei navigierenden Fahrzeugen kann es erlaubt sein, lokale Hindernisse zu umfahren. Ebenso kann es möglich sein, dass eine Feinjustierung der Aufnahme-/Abgabeposition durch das Fahrzeug selbst durchgeführt wird.
geführte Fahrzeuge (physisch oder virtuell)	Fahrzeuge, die ihren Pfad vom Leitsystem geschickt bekommen. Die Berechnung des Pfads findet im Leitsystem statt. Beim Abbruch der Kommunikation zum Leitsystem beendet das Fahrzeug seine freigegebenen Knoten und Kanten (die „base“) und stoppt dann. Geführten Fahrzeugen kann es erlaubt sein, lokale Hindernisse zu umfahren. Ebenso kann es möglich sein, dass eine Feinjustierung der Aufnahme-/Abgabeposition durch das Fahrzeug selbst durchgeführt wird.

Zentrale Karte	Die Karte, die zentral im Leitsystem vorgehalten wird. Diese wird initial erstellt und anschließend verwendet. Eine zukünftige Version der Schnittstelle wird es ermöglichen, diese Karte an die Fahrzeuge (z.B. für freie Navigation) zu übertragen.
----------------	---

8.2 Glossar englisch - deutsch

Englisch	Deutsch
Base	Fahrt zum Entscheidungspunkt
Decision Point	Entscheidungspunkt
Edge	Kante
Event	Ereignis
Header	Kopfzeile
Horizon	Fahrt ab dem Entscheidungspunkt
Mastercontrol (MC)	Leitsteuerung
Node	Knoten
Order	Auftrag
Order Information	Auftragsinformation
System State	System Status
Topic	Themengebiet