

Autonomiestufen-Modell für Fahrerlose Transportsysteme

Dominik Ulrich HOPPE¹, Edgar SCHERSTJANOI², Daniel GRÖLLICH³

¹ *Schindler Digital Group AG
Schindler-Platz, D-12105 Berlin*

² *TU Dresden, Professur für Arbeitswissenschaft
Institut Technische Logistik und Arbeitssysteme
Marschnerstr. 39, D-01307 Dresden*

Kurzfassung: Im allgemeinen Sprachgebrauch fällt häufig der Autonomiebegriff im Zusammenhang mit Fahrerlosen Transportsystemen. Der Begriff wird jedoch inkonsistent verwendet. Im vorliegenden Paper wird ein Vorschlag für ein Autonomiestufen-Modell gegeben, um die Navigationstechniken der Transportroboter eindeutigen Autonomiestufen zuordnen zu können.

Schlüsselwörter: Fahrerlose Transportsysteme, FTS, Autonomie, Navigation, Autonomiestufen, Navigationstechnologien

1. Einleitung

Seit ihrer Erfindung in den 1950er Jahren haben Fahrerlose Transportsysteme (FTS) über die Zeit zahlreiche technologische Errungenschaften vorweisen können, sei es auf Seiten der Navigations- oder auf Seiten der Sicherheitstechnik. Haupteinsatzgründe für automatisierte Warentransporte sind die Reduktion von Kosten durch gezielte Effizienzsteigerungen, die Erhöhung der Qualität, Sicherheit und Nachvollziehbarkeit der Transporte sowie die Verbesserung der Arbeitsbedingungen des Werkers. In der Industrie wird aufgrund niedriger Kosten bis heute größtenteils auf einfache Spurfolgetechniken, wie z.B. Magnet- oder Kontraststreifen, gesetzt. Diverse Hersteller werben jedoch bereits am Markt mit Transportrobotern, die neben hohen Freiheitsgraden nicht nur mehr Flexibilität als konventionelle FTS versprechen, sondern auch deutlich höhere Intelligenz. Vereinzelt ist sogar von „Vollautonomie“ die Rede. Inwieweit es nach aktuellem Stand der Technik um den Autonomiegrad, der Betriebssicherheit, einem möglichen Mehrwert autonomer FTS-Produkte sowie ethischer Fragestellungen bestellt ist, soll in diesem Paper geklärt werden.

2. Definitiorische Abgrenzung: FTS und Autonomie

In der Literatur sind etwaige Definitionen zu autonomen FTS vertreten. Beispielsweise gilt nach VDI 2510 (2005) ein FTS als autonom, wenn der Fahrweg nicht vom Menschen vorgegeben wird, für Stenzel (2002) hingegen erst dann, wenn es „ohne steuernde Eingriffe von außen [...] gemäß eigenen Verhaltensregeln handelt“. Hertzberg et al. (2012) gehen sogar noch einen Schritt weiter, indem sie den Begriff der Autonomie von Robotern mit dem der Kybernetik, also der Lehre von der Regelung bzw. Steuerung, verknüpfen. Ihnen zufolge ist unter einer solchen Anwendung eine

„frei programmierbare Maschine [zu verstehen], die auf Basis von Umgebungssensordaten in geschlossenen Regelungen in Umgebungen agiert, die zur Zeit der Programmierung nicht genau bekannt, und/oder dynamisch und/oder nicht vollständig erfassbar sind“. Oftmals ist auch zu lesen, dass FTS autonom agieren, wenn sie lediglich ihre Umgebung kontinuierlich erfassen (Scheffler et al. 1998). Ebenfalls werden von FTS-Herstellern vermehrt Schlagworte rund um das Thema Autonomie genutzt, um eigene Produkte gegenüber denen der Konkurrenz abzugrenzen und anzupreisen. Innerhalb der VDI-Regelwerke wird auf autonome FTS lediglich in VDI 4451 Blatt 6 im Abschnitt 6.1.3 (2006) näher eingegangen. Dort erfolgt jedoch nur eine recht vage und unpräzise Beschreibung der Systeme.

Hieraus wird deutlich, dass der Autonomiebegriff häufig in völlig unterschiedlichen Kontexten verwendet wird. Eine definitorische Differenzierung unterschiedlicher Autonomiestufen ist deshalb für einen konsistenten Sprachgebrauch notwendig. Auf Grundlage von Sheridan & Verplank (1978), Botthof & Bovenschulte (2011) und Hoppe (2018) wird in Abbildung 1 ein Vorschlag für ein Autonomiestufen-Modell unterbreitet, wie gängige FTS-Navigationstechnologien unterschiedlichen Stufen der Autonomie und Automatisierung anhand spezifischer Merkmale zugeordnet werden können.

	System Charakteristika	Praxisbeispiele
Basisautonome FTS	eigenständig agierende Systeme in eng definierten Umgebungen mit geringer Variabilität und Komplexität der Parameter	Konventionelle Navigation durch: <i>Passive Leitlinie</i>
	Handlungsautonomie bestimmt durch hinterlegte Informationen (z.B. Bodenmarken)	- Kontrastband
	nur aufgabenspezifische Sensorik	- Magnetband
	Mobilität durch das System technisch begrenzt (starr)	- Führungsschiene
	Systemmerkmale der Automatisierung	<i>Aktive Leitlinie</i>
	das FTS trifft keine eigenständigen Entscheidungen der Mensch definiert vorweg FTS-Aktionen	- induktive Stromleitung (Ein- oder Mehrfrequenzsystem)
Teilautonome FTS	System Charakteristika	Praxisbeispiele
	eigenständig agierende Systeme in sich beschränkt ändernden Umgebungen mit mittlerer Variabilität und Komplexität der Parameter	Alle konventionellen FTS, die sich innerhalb vorgegebener
	Handlungsautonomie auf Grundlage von Regeln unter Verarbeitung von variierenden	Mobilitätsgrenzen mit reaktiver
	Fusion unterschiedlicher Sensor-Informationen	Bahnführung bewegen können,
	eigenständige Mobilität innerhalb eines vorgegebenen Bereichs	beispielsweise mit:
	Systemmerkmale der Automatisierung	- Rasternavigation
das FTS schlägt von selbst Handlungsalternativen vor, schränkt die Auswahl auf einige wenige ein	- Navigation durch Abtastung künstlicher gesetzter Marken	
führt einen Handlungsvorschlag aus, wenn der Mensch ihn bestätigt	- GPS- bzw. Indoor-GPS-Navigation mit simpler Sensorik	
erlaubt dem Menschen eine begrenzte Zeit, ein Veto einzulegen, um eine automatische Ausführung zu verhindern		
Beschränkt vollautonome FTS	System Charakteristika	Praxisbeispiele
	eigenständig agierende Systeme in unbekanntem, meist statischen Umgebungen mit hohem Maß an Variabilität und Komplexität von zum Teil unbekanntem Parametern	Alle FTS, die sich anhand natürlicher Marken navigieren (Konturnavigation) und/oder mithilfe ermittelter
	Handlungsautonomie auf Grundlage von Regeln unter Verarbeitung von variierenden	Tiefendaten Objekte (Menschen, Gegenstände, etc.) erkennen.
	Sensor- und Datenfusion (hauptsächlich 2D, weniger 3D-Scanner)	- FTS-Navigation mit einfacher künstlicher Intelligenz, bspw. Innovation Forklift von ZF
	begrenzte Intelligenz, Lernfähigkeit und Fähigkeit zur Abschätzung unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten (z.B. bei der Wahl verschiedener Fahrrouten)	- Sonderfall: GPS-Navigation mit komplexer Sensorik
	uneingeschränkte Mobilität und energetische Unabhängigkeit	
Systemmerkmale der Automatisierung		
das FTS führt Handlungen automatisch aus und informiert den Menschen der Mensch wird nur über eine Ausführung informiert, wenn er eine Anfrage stellt		
Vollautonome FTS	System Charakteristika	Praxisbeispiele
	eigenständig agierende Systeme in unbekanntem, sich ändernden, dynamischen Umgebungen mit hohem Maß an Variabilität und Komplexität unbekannter Parameter	Alle FTS, die sich anhand natürlicher Marken navigieren (Konturnavigation) und/oder mithilfe ermittelter
	Handlungsautonomie anhand eines „Weltmodells“, das nur die Aufgabe, nicht aber den Lösungsweg vorgibt	Tiefendaten Objekte (Menschen, Gegenstände, etc.) erkennen.
	Komplexe Sensorik und Datenfusion (sowohl 2D, als auch 3D-Sensoren; insbes. Kameras)	
	Lernfähigkeit und Fähigkeit zur Abschätzung unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten	- FTS-Navigation mit hoher künstlicher Intelligenz ("FTS-Ideal"): bisher nur in der Theorie.
	„Self-X“ (Selbstorganisation, -diagnose, -heilung, -verortung etc.)	
uneingeschränkte Mobilität und energetische Unabhängigkeit		
Systemmerkmale der Automatisierung		
der Mensch wird nur über eine Ausführung informiert, wenn er eine Anfrage stellt der Mensch wird nur vom FTS über eine Ausführung informiert, wenn das FTS dies entscheidet das FTS entscheidet alles und handelt komplett selbstständig, der Mensch wird ignoriert		

Abbildung 1: Autonomiestufen-Modell für Fahrerlose Transportsysteme in Anlehnung an Sheridan & Verplank (1978), Botthof & Bovenschulte (2011) und Hoppe (2018)

Die erste Stufe bilden „basisautonome FTS“. Aufgrund systemtechnischer Mobilitätsbeschränkungen – beispielsweise in Form von Magnet- oder Kontraststreifen am Boden – ist das FTS gezwungen, sich entlang dieser vorgegebenen Linien fortzubewegen. Der Roboter agiert damit in eng definierten Umgebungen mit geringer Variabilität und Komplexität der Parameter. Am Vehikel selbst befindet sich nur aufgabenspezifische Sensorik. Ein Beispiel wäre ein einfacher Sensor zum Folgen der Spur. Spezielle Handlungen, wie z.B. das Abbiegen oder Abladen, werden durch fest definierte Aktionspunkte (z.B. Bodenmarken) eingeleitet. Innerhalb dieser Aktionen agiert das FTS selbstständig.

Auf der zweiten Stufe stehen „teilautonome FTS“. Innerhalb einer abgegrenzten Fläche kann der Roboter sich frei navigieren. Technisch ermöglichen kann dies zum einen ein aufgespanntes Raster aus Magneten, Transpondern etc.. Zum anderen können im Umgebungsbereich des Transportfahrzeugs künstliche Orientierungsmarken genutzt werden, an denen sich der Roboter entlang navigiert. Für einen sicheren Betrieb werden unterschiedliche Sensordaten zusammengeführt. Das System wägt eigenständig mehrere Handlungsalternativen ab. Entweder bestätigt der Mensch die vorgeschlagene Aktion oder es wird eine Veto-Option gegeben, die es dem Menschen erlaubt, innerhalb einer bestimmten Zeit den Vorgang abubrechen. Für fahrerlose LKW und Busse ist letzteres im Wiener Übereinkommen für den Straßenverkehr geregelt (Schlimme 2016). Die Navigationsumgebung teilautonomer FTS ist geprägt durch sich beschränkt ändernde Umgebungen mit mittlerer Variabilität und Komplexität der Parameter.

Die dritte Modellstufe wird gebildet durch „beschränkt vollautonome FTS“. Es handelt sich um eigenständig agierende Systeme in unbekanntem, meist statischen Umgebungen mit hohem Maß an Variabilität und Komplexität von zum Teil unbekanntem Parametern. Das FTS ist in seiner Mobilität, ebenfalls aufgrund energetischer Unabhängigkeit, nicht eingeschränkt. Es führt Handlungen automatisch aus und informiert den Menschen von alleine oder auf Anfrage.

Anders als bei den zuvor vorgestellten Autonomiestufen benötigt die (beschränkt) vollautonome FTS-Navigation keine vorherige Präparation der Navigationsumgebung. Das FTS ist von ortsfesten Installationen (z.B. Marken, Leitlinien etc.) unabhängig, da es sich mithilfe umfassender Sensorik an prägnanten Raumkonturen orientiert, beispielsweise an Säulen, Wänden oder Regalen. Man spricht auch von der sog. „konturbasierten Navigation“. Die einzige Ausnahme für Installationen besteht, wenn man in einem bestimmten Bereich (z.B. Lastübergabebereich) eine sehr hohe Positioniergenauigkeit des FTS benötigt. In diesen Bereichen kann die (beschränkt) vollautonome Navigation durch Komponenten anderer Navigationstechniken ergänzt werden, beispielsweise durch künstliche Orientierungsmarken oder Magnete.

In Pandey & Pandey (2017) wird eine ausführliche Übersicht über den Entwicklungsgang verschiedener Techniken der Hindernisvermeidung und Navigation mobiler Roboter gegeben. Im Bereich der mobilen Robotik ist vor allem der neuartige Navigationsansatz namens „SLAM“ (engl. Simultaneous Localization and Mapping) beliebt. Mittels anfänglicher Lehrfahrten exploriert das Vehikel unbekanntes Umgebungen zunächst und dokumentiert diese samt charakteristischer Raummerkmale in einer virtuellen 2D- oder 3D-Karte (Kartierung; engl. 2D/3D-Mapping). Wird die Umgebung mithilfe von Kamerasystemen dokumentiert, spricht man auch von „visueller Kartierung“. Die erstellten Umgebungskarten können – sofern notwendig – um die CAD-Daten der Anlage ergänzt werden. Während der Navigation vergleicht das Fahrzeug neu wahrgenommene Umgebungsinformationen mit der bereits erstellten

Umgebungskarte und kann sich auf diese Weise selber orten sowie seine Lage bestimmen (probabilistisch-allozentrische Lokalisation). Die erhobenen Daten erlauben die flexible und intelligente Planung von Pfaden. Der ganze Prozess verläuft in einem kontinuierlich iterativen Prozess, um Veränderungen in der Umgebung, die Einfluss auf die Navigation haben (wie z.B. das Verschieben von Regalen), frühstmöglich wahrzunehmen und zu dokumentieren. Im FTS-Bereich kann die Kartierung auch kooperativ oder durch einzelne Lead-FTS erfolgen.

In einer in Hoppe (2018) durchgeführten Marktrecherche wurde analysiert, dass erste Vehikel dieser Art bereits erhältlich sind, beispielsweise das FTS-Modell TORU von Magazino oder TORsten. Bisher sind die ersten Anwendungen darauf beschränkt abzuwägen, welcher Weg der kürzeste und effektivste ist, z.B. durch das Vermeiden von Hindernissen, die sich auf der Route befinden. Hauptsächlich basieren sie noch auf 2D- und weniger auf 3D-Scanner. Letztere haben den Vorteil, dass sie nicht nur punktuell die Umgebung abtasten, wie es die 2D-Scanner tun, sondern ein Großteil des Raumvolumens erfassen und die Tiefendaten abbilden können. 3D-Scanner haben jedoch den Nachteil, dass sie wesentlich teurer sind.

Die Konturnavigation funktioniert allerdings nur in aufgeräumten Umgebungen mit vorwiegend statischen Hindernissen. Technische Grundlage hierfür sind Algorithmen künstlicher Intelligenz, wie z.B. „Rapid Exploring Random Trees“ (RRT) oder A*, sowie die sog. „Fuzzy Logic“ (Chen & Mooney 2011; Sheth et al. 2016; Gola & Klosowski 2017). Weitere Techniken der Bahn- und Bewegungsplanung werden ausführlich in Gonzales et al. (2016) dargelegt. Nach Gonzales et al. sei das Ausweichen gegenüber dynamischen Hindernissen aber immer noch ein ungelöstes Problem. Hauptproblematik sei, dass die Verarbeitungszeit der Algorithmen häufig zu lange dauere, wodurch ein Ausweichen in Echtzeit nicht rechtzeitig erfolgen kann. Nach Wang et al (2017) befinde sich künstliche Intelligenz für FTS demnach größtenteils noch auf experimenteller Ebene. Alonso-Mora et al. (2017) haben beispielsweise ein IT-Framework vorgestellt, mit dem die virtuelle Fahrspur der Roboter – auch in engen, frequentierten Bereichen mit statischen und dynamischen Hindernissen – an die Umgebungssituation angepasst werden könne. Das Ziel liege hierbei darin, möglichst effizient und ressourcensparend Deadlock-Szenarien zu lösen und Livelock-Situationen gar nicht erst entstehen zu lassen, damit das FTS nicht von seiner eigentlichen Aufgabe abgehalten wird. Dieser Ansatz ist deshalb weniger konservativ als viele andere, da er für dynamische Bereiche anwendbar ist und mehrere FTS in denselben, engen Operationsbereichen zur selben Zeit zulässt. Für die Lösung derselben Problemstellung haben Ferrara et al. (2017) deshalb einen Algorithmus namens SWAP entwickelt, der jedoch vorläufig erst an einrädriigen Robotern erprobt wurde. Schenkt man den Presseberichten Glauben, dann ist dieses Problem zwar beim Innovation Forklift von ZF gelöst worden, allerdings wird dieses Modell bisher nicht in laufenden Industrieanwendungen eingesetzt, sodass man an dieser Stelle noch keine weiteren eindeutigen Aussagen treffen kann. Die Intelligenz der Systeme, z.B. die Lernfähigkeit, steckt im Allgemeinen noch in den Kinderschuhen.

Die vierte Stufe des Modells steht für das theoretische Ideal der Vollautonomie. Wie zuvor erklärt wurde, sind derzeitige Anwendungen bisher nur „beschränkt vollautonom“. Vollautonome FTS zeichnet es aus, sich vollkommen frei zu bewegen. Sie agieren eigenständig in unbekanntem, sich ändernden, dynamischen Umgebungen mit hohem Maß an Variabilität und Komplexität unbekannter Parameter. Sowohl statische als auch dynamische Hindernisse werden eindeutig und sicher erkannt. Dazu wird eine komplexe Rundumabsicherung durch verschiedene 2D- und 3D-Sensoren benötigt, die eine starke Rechenleistung des Systems voraussetzen. Ins-

besondere bildverarbeitende Kameras werden zukünftig bei der Entwicklung intelligenter vollautonomer FTS-Varianten eine größere Rolle spielen (Hoppe 2018). Die Intelligenz des FTS ist hochkomplex und die Lernfähigkeit hoch. Es wird lediglich eine Aufgabe vorgegeben, jedoch nicht der Lösungsweg zum Vervollständigen einer Aufgabe. Außerdem ist der Roboter dazu in der Lage, sich selbst zu verwalten („Self-X“). Der Mensch wird nur über Ausführungen des FTS informiert, wenn er eine Anfrage stellt oder wenn der Roboter dies entscheidet.

3. Problemfelder der Vollautonomie von FTS

Sobald FTS so intelligent würden, dass sie komplett unabhängig vom Menschen agieren, kommen ethische Fragestellungen auf. Hinsichtlich des automatisierten und vernetzten Automobilverkehrs hat die Ethik-Kommission des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur bereits Mitte 2017 zwanzig ethische Regeln formuliert (BMVI 2017). Ein entsprechender Ethik-Leitfaden müsste ebenfalls für FTS angefertigt werden.

Ein weiteres Problem ist die Haftbarkeit von autonomen Maschinen. Roboter, die ihren „eigenen Kopf“ besitzen, können nicht bestraft werden. Aktuelle, nicht so intelligente Anwendungen werden noch von der Maschinenrichtlinie erfasst (Hoppe 2018). Zukünftig müsste deshalb auch über Neuerungen und Anpassungen in den Produktsicherheitsrechtlichen Regelwerken nachgedacht werden.

FTS, die sich vollautonom durch die Produktionshalle im Mischbetrieb navigieren, würden durch ihre Neuartigkeit Unsicherheiten beim Menschen hervorrufen. Die Konsequenz wäre, dass es zu Störungen im Verkehrsfluss kommt, z.B. zu ungewollten Stopps mit anderen Verkehrsteilnehmern, besonders in stark frequentierten Bereichen. Ein effizientes Verkehrsmanagement mit zu beachtenden Verhaltensregeln, z.B. mit Vorfahrtsrechten, und ein übergeordnetes Controlling mit Deckenkameras würde zur notwendigen Voraussetzung werden. Eine Analyse der Unfalldaten der gesetzlichen Unfallversicherungen aus Deutschland (DGUV), Österreich (AUVA) und Schweiz (SUVA) hat ergeben, dass konventionelle FTS mit simpler Sensorik bereits überaus sicher sind, da keine nennenswerten Unfälle in den letzten fünf Jahren mit FTS aufgetreten sind (Hoppe 2018). Vollautonome FTS benötigen eine komplexe Sensorik und sind in ihrer Anschaffung damit deutlich teurer. Damit stellt sich die Frage, ob der Aufwand einer Umsetzung von einer Produktionslandschaft mit (beschränkter) vollautonomen FTS im Verhältnis zum Nutzen steht.

Die Nutzung von 3D-Sensoren und bildverarbeitenden Kameras für die Navigation und Hinderniserkennung steht grundsätzlich im Konflikt mit dem Datenschutz. Da sich FTS häufig in der Nähe von Menschen befinden, die durch die Messungen erfasst werden, treten diverse datenschutzrechtliche Problematiken in Kraft, die folgende Punkte betreffen können (Woltmann 2018): Vermessung von Arbeitnehmern, Videoüberwachung im Betrieb, Frage nach der Verfügungsgewalt über Daten, grenzüberschreitende Datenübermittlung oder Diskriminierung durch Algorithmen.

4. Zusammenfassung

Mithilfe des vorgestellten Autonomiestufen-Modells können Fahrerlose Transportsysteme ihrer technologischen Entwicklung entsprechend eindeutig einer spezifischen Autonomiestufe zugeordnet werden. Eine konsistente, allgemeingültige Ver-

wendung des Autonomiebegriffs im Kontext von FTS hilft nicht nur dabei Missverständnisse im Sprachgebrauch zu vermeiden, sondern auch zukünftige FTS-Entwicklungen besser zu kategorisieren. Dies ist mitunter besonders für Hersteller und Händler, die Gesetzgebung und die Unfallerrfassung durch die gesetzlichen Unfallversicherungen interessant. Zukünftige Handlungsfelder in Zusammenhang mit der vollautonomen FTS-Navigation wurden aufgezeigt.

5. Literatur

- Alonso-Mora J et al. (2017) Reactive Mission and Motion Planning with Deadlock Resolution avoiding dynamic Obstacles. *Autonomous Robots*, Vol.42, 4:801-824.
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017) Ethik Kommission: Automatisiertes und vernetztes Fahren, Bericht Juni 2017.
- Botthof A, Bovenschulte M (2011) Die Automatik als integratives Technologieparameter. In: *iit Perspektive*, No. 2, 1-9.
- Chen DL, Mooney RJ (2011) Learning to Interpret Natural Language Navigation Instructions from Observations. *Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Austin: 859-865.
- Ferrera E et al. (2017) Decentralized Safe Conflict Resolution for multiple Robots in dense Scenarios. *Robots and autonomous Systems*, 91:179-193.
- Gola A, Klosowski G (2017) Application of Fuzzy Logic and Genetic Algorithms in Automated Works transport Organization. In: *Distributed Computing and Artificial Intelligence, 14th International Conference, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Band 620. Springer Verlag, 29-36.
- Gonzales D et al. (2016) A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles. *IEEE Transactions on intelligent Transportation Systems*, Vol. 17, 4:1135-1145.
- Hertzberg J, Lingemann K, Nüchter A (2002) *Mobile Roboter: Eine Einführung aus Sicht der Informatik*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Hoppe DU (2018) *Vollautonome FTS-Navigation in Produktion und Logistik: Eine sicherheitsorientierte Untersuchung über Stand der Technik, Hindernisse und Meinungen*. Techn. Univ. Dresden: Professur für Arbeitswissenschaft, Masterarbeit.
- Pandey A, Pandey S (2017) Mobile Robot Navigation and Obstacle Avoidance Techniques: A Review. *International Robotics and Automation Journal*, Vol. 2, 3:1-12.
- Scheffler M et al. (1998) *Fördermaschinen, Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge*. Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- Schlimme H C (2016) *Zulassungsrechtliche Probleme automatisierter Kraftfahrzeuge: Eine Betrachtung der jüngsten rechtlichen Entwicklungen*. Berlin: BWV Verlag.
- Sheridan TB, Verplank WL (1978) *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators*. Cambridge: MIT.
- Sheth S. et al. (2016) Design and Development of Intelligent AGV Computer Vision and Artificial Intelligence. In: *Soft Computing: Theories and Applications, Proceedings of SoCTA*, Band 1. Kolkata: Springer Verlag, 337-350.
- Stenzel R (2002) *Steuerungsarchitekturen für autonome mobile Roboter*. RWTH Aachen: Dissertation.
- Wang L et al. (2017) Differential Drive and Steering Control Technology of Automatic Navigation and Handling Tool based on PLC. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2:134-138.
- VDI 2510:2005-10 *Fahrerlosen Transportsysteme (FTS)*.
- VDI 4451 Blatt 6:2003-01 *Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS)*.
- Woltmann N (2018) *Rechtsfragen im Zusammenhang mit Industrie 4.0. Vortrag auf Einladung der Fachvereinigung Arbeitssicherheit e.V. vom 25.01.2018*. Würzburg: Julius-Maximilians-Universität.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de