Autonomie in mobilen Maschinen

Vor- und Nachteile einzelner Autonomie-Funktionen



25.09.2025 COREUM

© ifm • Autor: Kordovan, Michael

Welches Level an Autonomie streben wir an?



© ifm • Autor: Kordovan, Michael

Begriffsklärung Autonomie

Automatische Funktionen

- vordefinierte bzw. **vorprogrammierte Abläufe**
- Beispiele
  - Spurführung mittels kontinuierlich vorhandener, physischer Spur
  - automatisches Energiemanagement
  - automatisches Lastenhandling
  - geführte Kartierung (Erstinbetriebnahme)
  - situationsbedingte Verkehrsregelung

Autonome Funktionen

- **situatives Reagieren** auf sich verändernde Rahmenbedingungen
- nutzen mehrschichtige Sensorik, um Umgebungsbedingungen zu erfassen
- treffen eigenständig Entscheidungen
- Beispiele
  - Fahren auf freigegebenen Flächen ohne vorgegebene physische oder virtuelle Spur
  - Situatives Umfahren von Hindernissen durch Umfelderfassung
  - Verkehrsregelung unter Berücksichtigung des Mischverkehrs

© ifm • Kordovan, Michael

Automatisierungsstufen

Stufe 0	Keine Automation	Der Fahrer fährt selbst.
Stufe 1	Assistenz	Assistenzsysteme helfen bei der Bedienung (z.B. Abstandsregeltempomat)
Stufe 2	Teilautomatisierung	Automatisches Einparken, Stauassistent (Beschleunigen/Abbremsen)
Stufe 3	Bedingungsautomatisierung	Übernahme bestimmter Fahraufgaben (z.B. DrivePilot von Mercedes)
Stufe 4	Hochautomatisierung	Dauerhafte Übernahme der Fahrzeugführung, Eingreifen des Fahrers nur nach Aufforderung
Stufe 5	Vollautomatisierung	Kein Fahrer erforderlich

nach SAE J3016

© ifm • Kordovan, Michael

Automatisierungsstufen

Stufe 0	Keine Automation	Der Fahrer fährt selbst.
Stufe 1	Assistenz	Assistenzsysteme helfen bei der Bedienung (z.B. Abstandsregeltempomat)
Stufe 2	Teilautomatisierung	Automatisches Einparken, Stauassistent (Beschleunigen/Abbremsen)
Stufe 3	Bedingungsautomatisierung	Übernahme bestimmter Fahraufgaben (z.B. DrivePilot von Mercedes)
Stufe 4	Hochautomatisierung	Dauerhafte Übernahme der Fahrzeugführung, Eingreifen des Fahrers nur nach Aufforderung
Stufe 5	Vollautomatisierung	Kein Fahrer erforderlich

nach SAE J3016

Autonomie

© ifm • Kordovan, Michael

Vorteile autonomer mobiler Maschinen

- Automatisierung monotoner Routineaufgaben/-abläufe
- Vermeidung körperlicher und gesundheitlicher Belastung für Menschen unter extremen Bedingungen
- Reduktion menschlicher Fehler
- schnelle und wirtschaftliche Umsetzung komplexer Abläufe
- hohe Auslastung (24/7) und hohe Arbeitspräzision → Effizienzsteigerung
- Optimierung von Kraftstoffverbrauch und Leistung → Effizienzsteigerung
- datenbasierte Entscheidung

→ **schnellere Umsetzung von Bauprojekten bei geringeren Herstellungskosten**

© ifm • Kordovan, Michael

Beispiel: VTE Projekt

- Verfahrenstechnische Einheit (VTE) von Krone & Lemken
- GPS gesteuerte, autonome Zugeinheit
- Remote Steuerung und Monitoring
- unterschiedliche Anbaugeräte
- vielzählige Sensortechnologien





COMBINED POWERS - The next level in automated agriculture

© ifm • Kordovan, Michael

Voraussetzungen für vollautonome mobile Maschinen

Komplettsystem erforderlich

- vollumfängliches Sicherheitskonzept
- 360° Umfelderfassung
- Genaue und aktuelle Kartendaten
- Planung der Maschinentrajektorie auf Grundlage des Geländeprofils
- Arbeits- und Flottenmanagement über Backend
- Genaue Lokalisierung der Maschine
- Analyse der Situation zur Entscheidungsfindung
- Sichere, schnelle und präzise Bewegungskontrolle
- Architektur und Security-Konzept nach dem aktuellen Stand der Technik

nach Whitepaper “Vollautomatisierte Baumaschinen” von Bosch

© ifm • Kordovan, Michael

Vor-/Nachteile autonomer mobiler Maschinen

Dynamische Aktualisierung der Karte

- ⊕ keine manuelle Nachkartierung
- ⊖ Einschleichen von Ungenauigkeiten

Freies Fahren

- ⊕ geringerer Inbetriebnahmeaufwand
- ⊖ größerer Flächenbedarf,

  ggf. Irritation der Mitarbeiter
- PL/SIL Sicherheitsabstände gemäß Norm

Umfahren von Hindernissen (mit 3D-Umfelderfassung)

- ⊕ keine Störung durch temporäre Hindernisse
- ⊖ chaotischerer Ablauf, ggf. Irritation der Mitarbeiter
- PL/SIL Sicherheitsabstände gemäß Norm, sensorische Ausstattung mindert organisatorische Maßnahmen

nach Ullrich & Albrecht, Technische Logistik, 2022

© ifm • Kordovan, Michael

Vor-/Nachteile autonomer mobiler Maschinen

Agieren mit Objekterkennung und -klassifizierung

- ⊕ angepasste Reaktionen
- ⊖ chaotischerer Ablauf, ggf. Irritation der Mitarbeiter
- PL/SIL sensorische Ausstattung mindert organisatorische Maßnahmen

Umplanen von Routen im Mischbetrieb

- ⊕ keine Störung durch Hindernisse auf geplanter Route
- ⊖ ggf. Zeitzuschlag für Alternativroute, bedarfsgerechte Anlieferung erschwert

Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugszustandsdaten

- ⊕ höherer Durchsatz für verbliebene Fahrzeuge
- ⊖ zusätzliche Sensorik inkl. Auswertung nötig

nach Ullrich & Albrecht, Technische Logistik, 2022

© ifm • Kordovan, Michael

Vor-/Nachteile autonomer mobiler Maschinen

Leitsteuerungsfunktionen in den Fahrzeugen

- ⊕ verteilte Funktion auf mehrere Rechner
- ⊖ jedes Fahrzeug benötigt leistungsfähigen Rechner und Kommunikationssystem → ggf. höhere Kosten
- PL/SIL ggf. Zertifizierung für das ganze System

nach Ullrich & Albrecht, Technische Logistik, 2022

© ifm • Kordovan, Michael

Negativbeispiel: Mischbetrieb

Risikoakzeptanz bei manuell gesteuerten Fahrzeugen höher als bei autonomen.





© ifm • Kordovan, Michael

Messbarkeit der Autonomie

Applikationsabhängigkeit

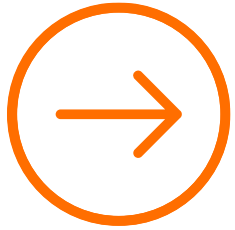
Systemhersteller

- bietet Autonomiefunktionen an



Applikation

- erwünschte Funktionen
- unerwünschte Funktionen.



Erfüllungsgrad

- Passt die Lösung zur Anwendung?

© ifm • Kordovan, Michael

Messbarkeit der Autonomie

Applikationsabhängigkeit

Systemhersteller

- bietet Autonomiefunktionen an

Applikation

- erwünschte Funktionen
- unerwünschte Funktionen.

Erfüllungsgrad

- Passt die Lösung zur Anwendung?

Autonomie-Index (AIx)
Klassifizierung eines Systems hinsichtlich seiner Autonomie

Anforderungserfüllungs-Index (AEIx)
Beurteilung der Lösung hinsichtlich der Eignung für eine konkrete Aufgabenstellung

nach Ullrich & Albrecht, Technische Logistik, 2022

© ifm • Kordovan, Michael

Messbarkeit der Autonomie

Beispiel – FTF in Produktion

	Funktion lt. System-hersteller		**Funktion** in der Applikation		**Erfüllungsgrad**
Autonome Funktion	ja/nein	erwünscht	nicht relevant	unerwünscht	
Dynamische Aktualisierung der Karte	1	x			1
Freies Fahren	0			x	1
Umfahren von Hindernissen	0			x	1
Agieren mit Objekterkennung & -klassifizierung	0			x	1
Umplanen von Routen im Mischbetrieb	1	x			1
Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugszustandsdaten	0		x		0
Leitsteuerungsfunktionen in Fahrzeugen	1		x		0
Autonomiefunktionen	**3 (von 7)**	**2**	**2**	**3**	**5 (von 5)**
	43%				100%
	AIx				AEIx

nach Ullrich & Albrecht, Technische Logistik, 2022

© ifm • Kordovan, Michael

Messbarkeit der Autonomie

Beispiel – Putzroboter

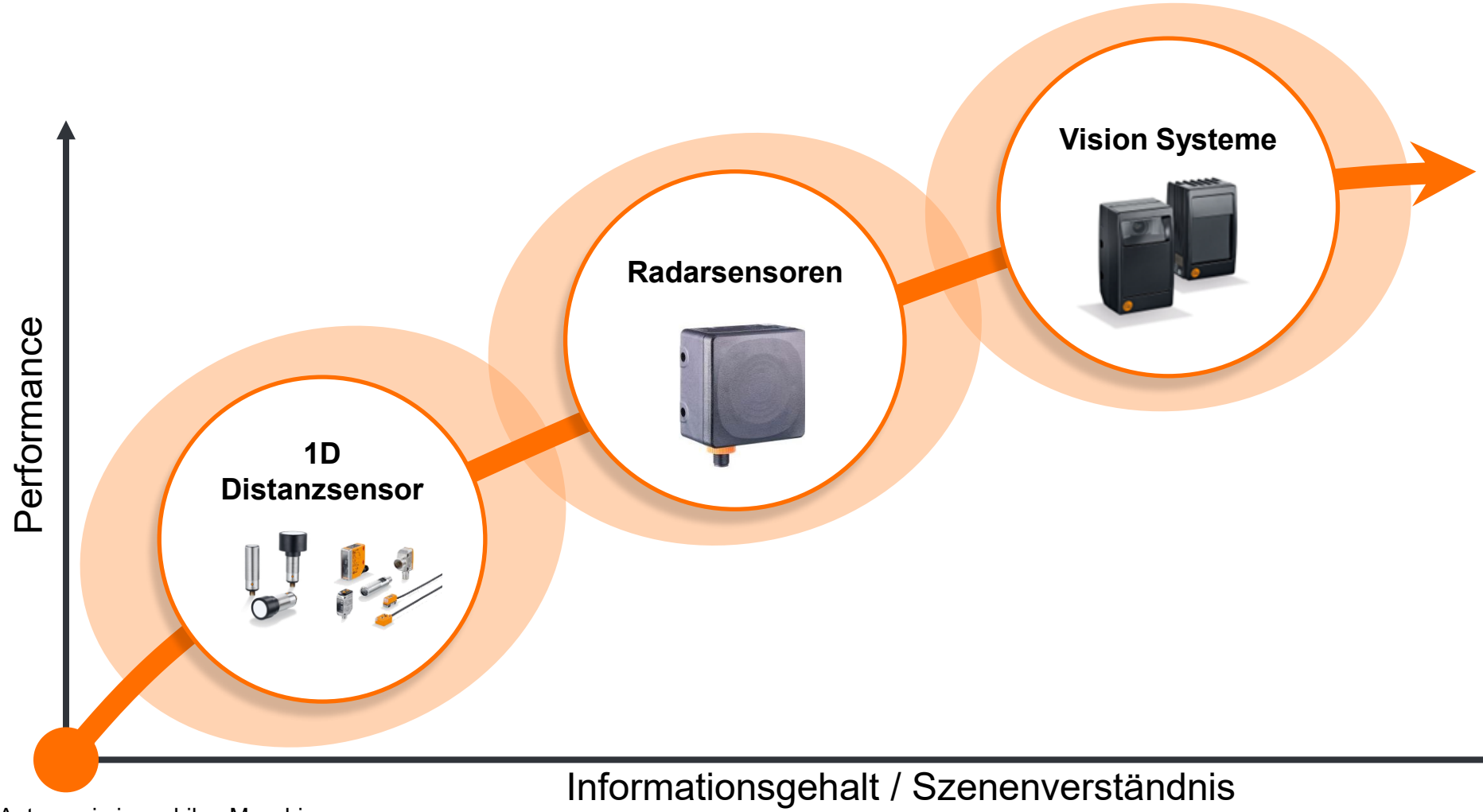
	Funktion lt. System-hersteller	**Funktion** in der Applikation			**Erfüllungsgrad**
Autonome Funktion	ja/nein	erwünscht	nicht relevant	unerwünscht	
Dynamische Aktualisierung der Karte	1	x			1
Freies Fahren	1	x			1
Umfahren von Hindernissen	1	x			1
Agieren mit Objekterkennung & -klassifizierung	0	x			0
Umplanen von Routen im Mischbetrieb	1	x			1
Erkennen und Reagieren auf Fahrzeugszustandsdaten	0	x			0
Leitsteuerungsfunktionen in Fahrzeugen	1		x		0
Autonomiefunktionen	**5 (von 7)**	**2**	**2**	**3**	**4 (von 6)**
	71%				67%
	AIx				AEIx

nach Ullrich & Albrecht, Technische Logistik, 2022

© ifm • Kordovan, Michael

Sensoren für Umfelderfassung

Welche Technologien können eingesetzt werden?



© ifm • Kordovan, Michael

Umfeldüberwachung an mobilen Arbeitsmaschinen

Mobile Perception Systemüberblick



O3M1 and O3M2
3D smart sensor and 2D/3D smart camera
Ethernet / CAN / PAL analogue video



O3M372
2D/3D smart camera **with AI and human detection**
Ethernet / CAN / video over Eth



R1D radar distance sensor
R2D radar range sensor
CAN / IO-link / digital out



O2M2
Analogue video camera
PAL analogue video



O2M5
2D smart camera **with AI and human detection**
Video over Eth / AHD / CVBS / PAL / NTSC / Ethernet / CAN



UIT ultrasonic sensor
IO-link / digital out

© ifm • Kordovan, Michael

ecomat*mobile*

Systemüberblick

35 Jahre Erfahrung in mobilen Maschinen



© ifm

Mobile Roboter

Umfelderfassung

O3R – vereint alle Sinne

- Zentrale Verarbeitung von Bild- und Sensorinformationen
- Synchronisierung von mehreren Kameras zur 360° Abdeckung
- Standartisierte SDKs zur Docker-Architektur sowie Python, C++, CUDA, und ROS
- Neueste Time-of-Flight Sensortechnologie



© ifm • Kordovan, Michael

Fazit



1 Applikation verstehen

Welche Autonomie-Funktionen sind erforderlich, bzw. erwünscht? Welche sind unerwünscht?

2 Autonomie-Level identifizieren

Welche Automatisierungsstufe wird umgesetzt? Welche Anforderungen bringt diese mit sich?

3 Sensorkonzept und Systemarchitektur erstellen

Welche Sensoren sind erforderlich? Wie werden die Daten fusioniert und verarbeitet? Wie werden autonom Entscheidungen getroffen?

© ifm • Kordovan, Michael

ifm.com



© ifm • Autor: Kordovan, Michael