



Sicherer Einsatz von mobilen Robotern im innerbetrieblichen Außenbereich

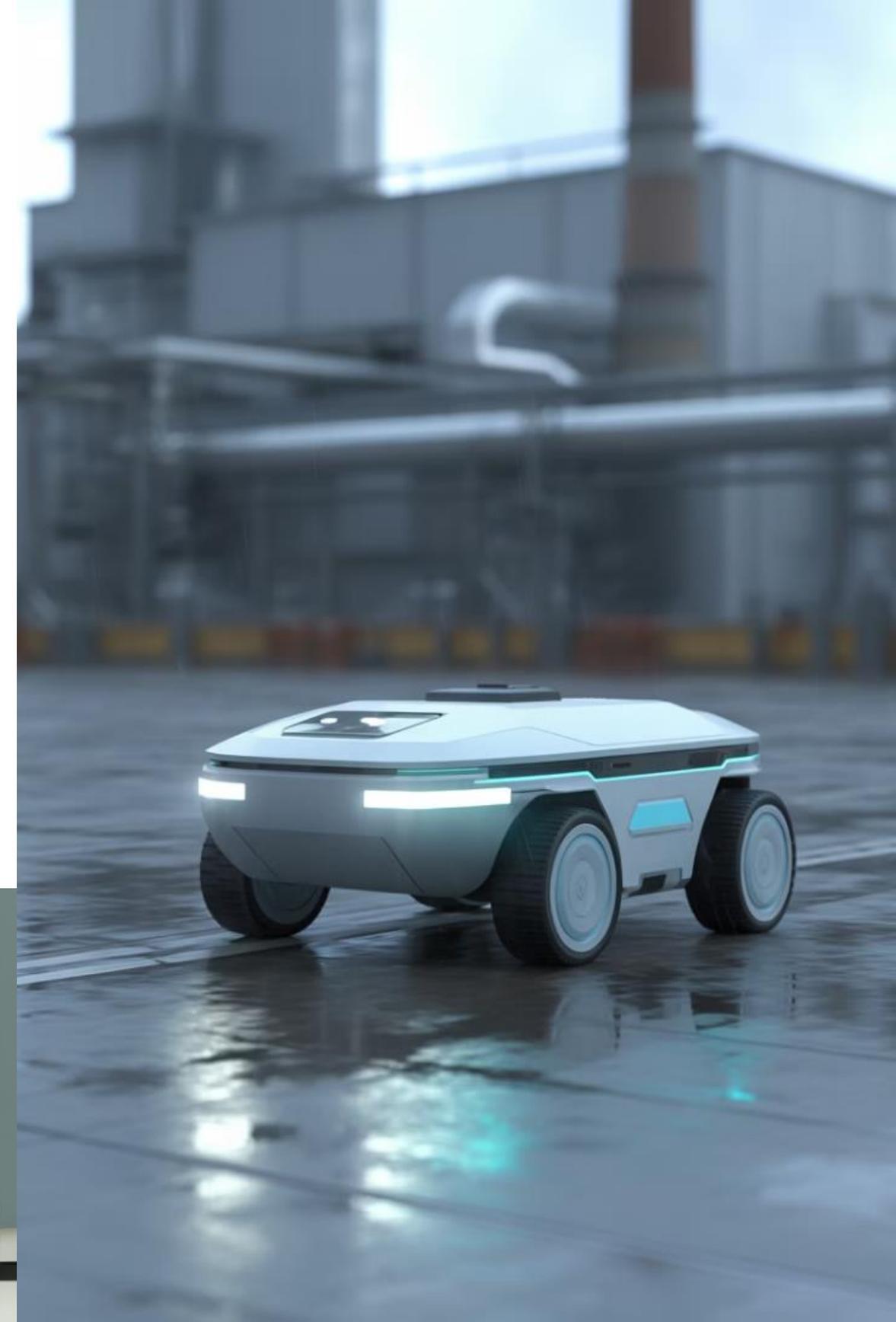
Dr. Günter Ullrich, Leiter VDI Fachausschuss FTS und Forum-FTS

11. Technologieforum

„Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter

– Chancen, Technologien, Wirtschaftlichkeit“

am Fraunhofer Institut IPA, Stuttgart, 24. September 2025.





Die Herausforderung: Outdoor-Einsatz

- Mechanische Einschränkungen**
Indoor-Fahrzeuge sind nicht für Regen und wechselnde Temperaturen ausgelegt.
- Betriebliche Limitierungen**
Energieversorgung und Datenübertragung reichen oft nicht aus.
- Sicherheitstechnische Probleme**
Personenschutz-Scanner verlieren draußen ihre Zulassung. Indoor-Fahrzeuge können nicht einfach rausfahren!
- Navigationsprobleme**
Indoor-Sensorik zur Lokalisierung funktioniert draußen nicht.

Anforderungskatalog: Erwartungen

Hohe Fahrgeschwindigkeit

Für wirtschaftlichen Einsatz bei langen Strecken zwischen Gebäuden.

Autonome Funktionen

Selbstständige Navigation und Hinderniserkennung im komplexen Umfeld.

Hohe Verfügbarkeit

Wenig Störungen trotz widriger Umgebungsbedingungen.

Sicherer Einsatz

Einhaltung der MVO und des Cyber Resilience Act (CRA).



Anforderungskatalog: Einsatzumgebung



Lange Wege

Verbindung zwischen Gebäuden auf weitläufigem Werksgelände.
Werksgelände.



Freie Flächen

Mit diversen Hindernissen und öffentlich zugänglichen Bereichen.
Bereichen.

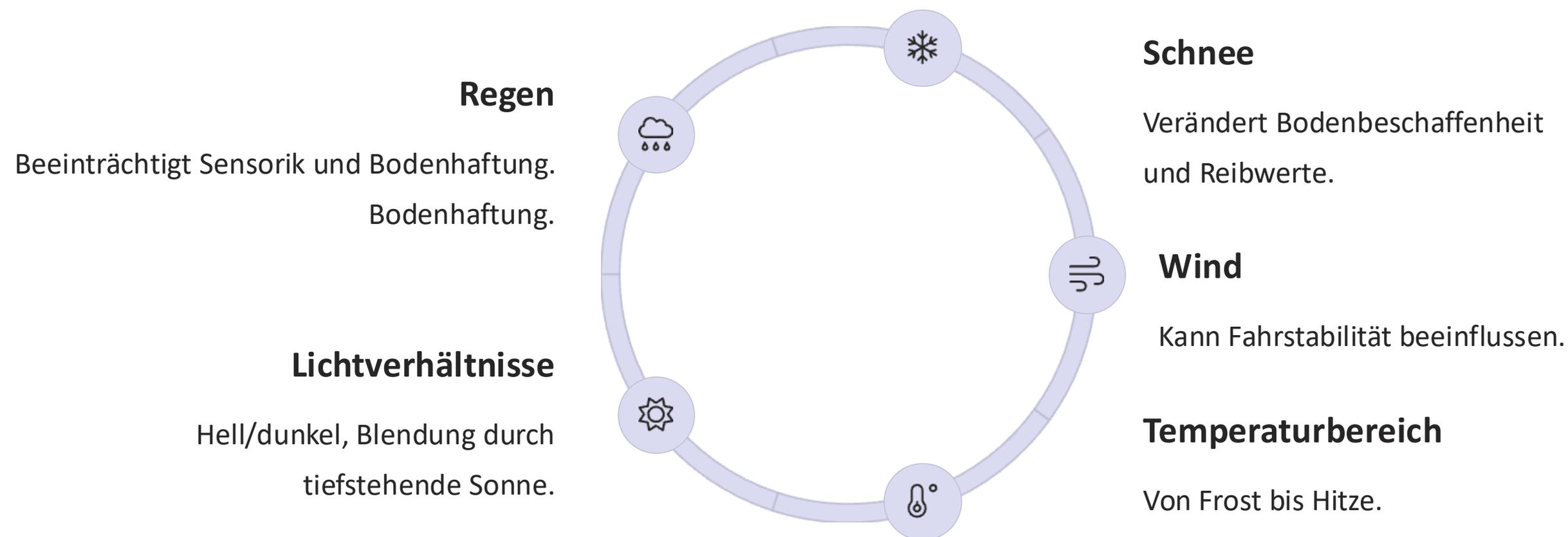


Unebener Boden

Mit Schmutz und Blättern als zusätzliche Herausforderung.



Anforderungskatalog: Wetterphänomene





Technische Lösungsansätze



Robusteres Fahrzeug

Größer als Indoor-FTF



Angepasstes Fahrwerk

Für unebene Outdoor-Wege



Verbesserte Energieversorgung

Für längere Strecken



Hoher Schutzgrad

IP44 oder höher für Wasserschutz

Auswirkungen auf die Konstruktion



Mechanische und elektrische Konstruktion

Robuste Ausführung für Außeneinsatz



Ladungssicherung

Angepasst an unebene Fahrbahnen



Lokalisierung/Navigation

Outdoor-taugliche Sensorik



Sicherheits-Ausstattung

3D-Absicherung und Reibwertbestimmung

Herausforderungspaket 1: Outdoor-Mischbetrieb

Vielfältiger Verkehr

Im Gegensatz zur abgeschotteten Werkshalle sind draußen draußen diverse Verkehrsteilnehmer unterwegs:

- Fahrräder und Stapler
- PKWs und LKWs
- Besucher und Besuchergruppen

Konsequenzen

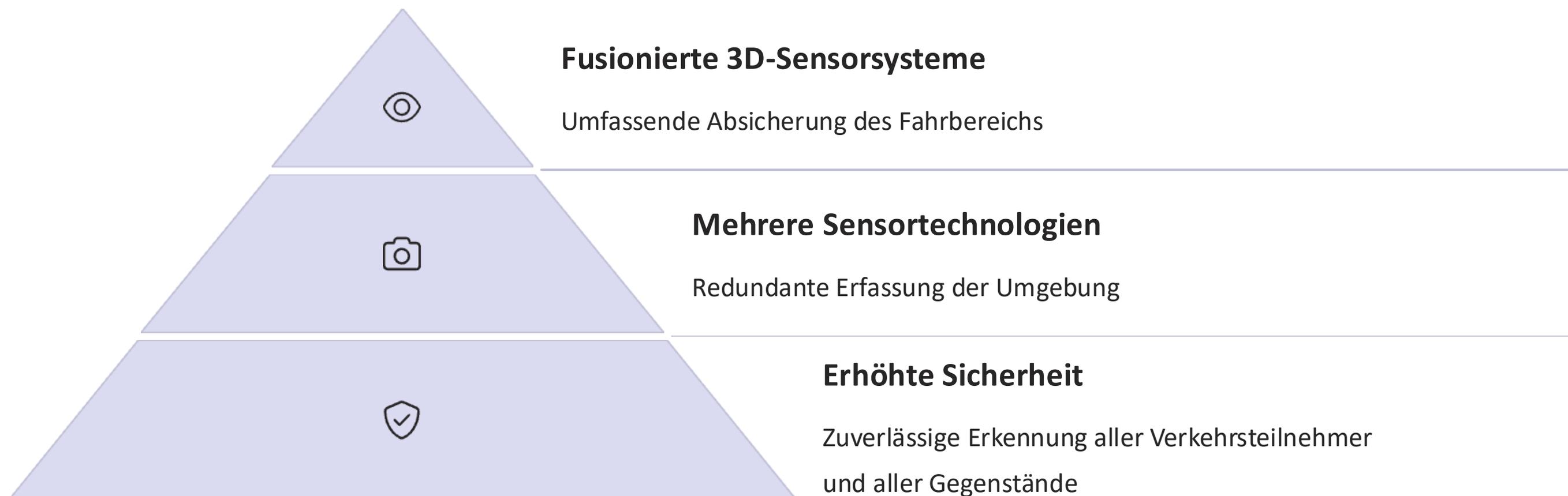
Bei der Risikobeurteilung kann nicht von unterwiesenem Personal ausgegangen werden.

Verkehrsbereiche der Automaten müssen von Fremdverkehr Fremdverkehr getrennt werden.

Restriktive organisatorische Maßnahmen sind notwendig.

Achtung bei der Gefährdungsbeurteilung!

Lösungsansatz: 3D-Sensorsysteme



Unsere langjährige Forderung nach fusionierten 3D-Sensorsystemen, die den gesamten Fahrbereich des FTF absichern, muss umsetzbar sein!

Dies ist ein Aufruf an die Hersteller von Sensoren und Fahrzeugen!

Herausforderungspaket 2: Bodenbeschaffenheit



Festigkeit und Ebenheit

Unebene Böden mit Steigungen und Gefällen.



Oberflächenzustand

Schmutz, Nässe, Feuchtigkeit und Glätte beeinflussen Fahrsicherheit.



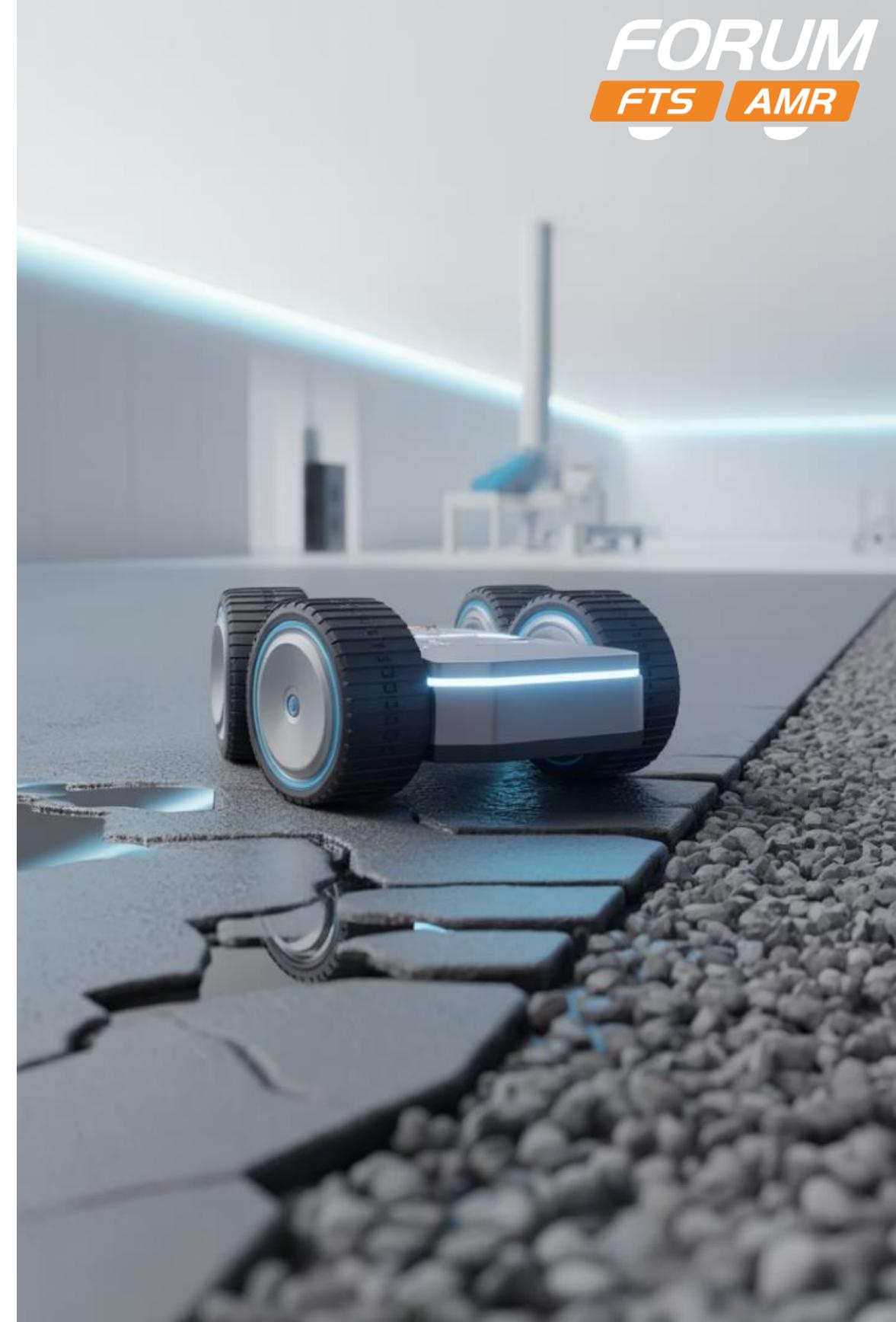
Wetterphänomene

Regen, Schnee, Dunkelheit, Wind, Temperaturextreme.



Bodenbeläge

Unterschiede zwischen Asphalt und Betonboden.



Die Bremsproblematik

Hohe Fahrgeschwindigkeit

Wirtschaftlicher Betrieb
erfordert schnelle Fahrt

Seitendifferenz

Reibbeiwerte links und rechts
können variieren



Bremsmöglichkeit

Abhängig vom Reibbeiwert
zwischen Rädern und Boden

Wechselnde Bedingungen

Reibbeiwert ändert sich durch
Wetterverhältnisse

Problematik der Reibwertbestimmung

Organisatorische Lösung unzureichend

Ein Mitarbeiter kann die komplexe Situation auf dem Fahrkurs
 Fahrkurs nicht detailliert genug beurteilen.

Er wird übermäßig vorsichtig entscheiden:
 niedrige Geschwindigkeiten oder Betriebseinstellung.

Dies widerspricht dem wirtschaftlichen Einsatz des Fahrzeugs.
 Fahrzeugs.

Sicherheits-Anforderungen

Wenn das Fahrzeug Einflüsse wie Glätte nicht selbst erkennt,
 erkennt, müssen diese kommuniziert werden.

Alternativ sind Maßnahmen von außen nötig
 (reduzierte Geschwindigkeit, Stillsetzung).

Technische Lösungen haben Vorrang vor organisatorischen
 organisatorischen Maßnahmen!



Technische Lösung: Dynamische Reibwertbestimmung



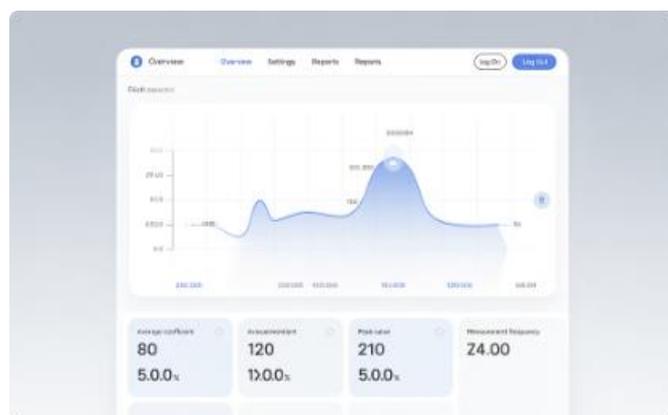
Messrad-Konzept

Zwei zusätzliche, federangepresste Messräder in der Nähe der Antriebsräder.



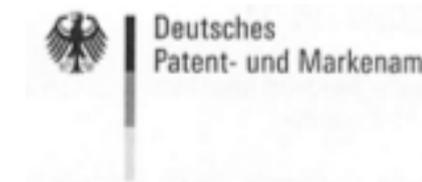
Funktionsprinzip

Permanenter Wechsel von Brems- und Beschleunigungsmomenten zur Auswertung des Reibbeiwerts.

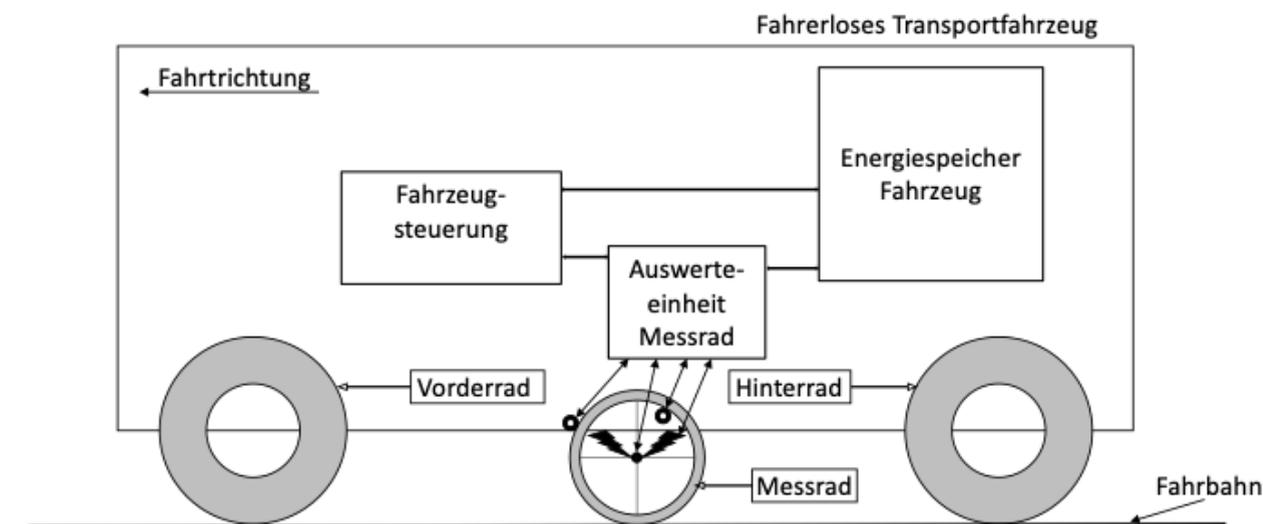


Geschwindigkeitsanpassung

Fahrzeugsteuerung passt Geschwindigkeit an aktuelle Bedingungen an.



Europäische Patent – Offenlegungsschrift
DE 102022 119 464 A1 2023.05.04
„Verfahren zur Ermittlung einer Fahrbahn-
beschaffenheit und Geschwindigkeits-
regulierung“



Multi-Sensor Friction Detection System



Weitere Möglichkeiten der Reibwertmessung

Messrad-System

Ein Messrad pro Spur mit positiven und negativen Momenten bis zum Durchrutschen oder Blockieren.

Vertikales Kamerabild

Analyse des Fahrbahnbildes vom Fahrzeug aus, ähnlich Accerion oder iWatch.

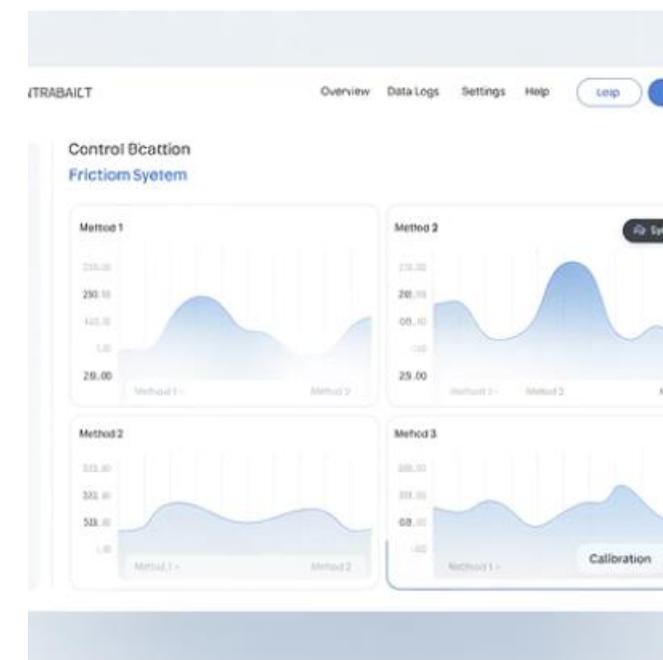
Horizontales Kamerabild

Auswertung von Kamerabildern in Fahrtrichtung, ähnlich dem Vorgehen eines Autofahrers.

Motorstromauswertung

Analyse der Ströme in den Antriebsmotoren, ähnlich bestehenden bestehenden Systemen bei Wittenstein.

Kombination mehrerer Verfahren



Durch die Kombination mehrerer Messverfahren ist ein sicheres System realisierbar,
das auch die geforderte Zweikanaligkeit berücksichtigt.

Vorschlag: 2 Messräder (links und rechts) plus Motorstrom-Auswertung

Verantwortung des Herstellers

Risikobeurteilung

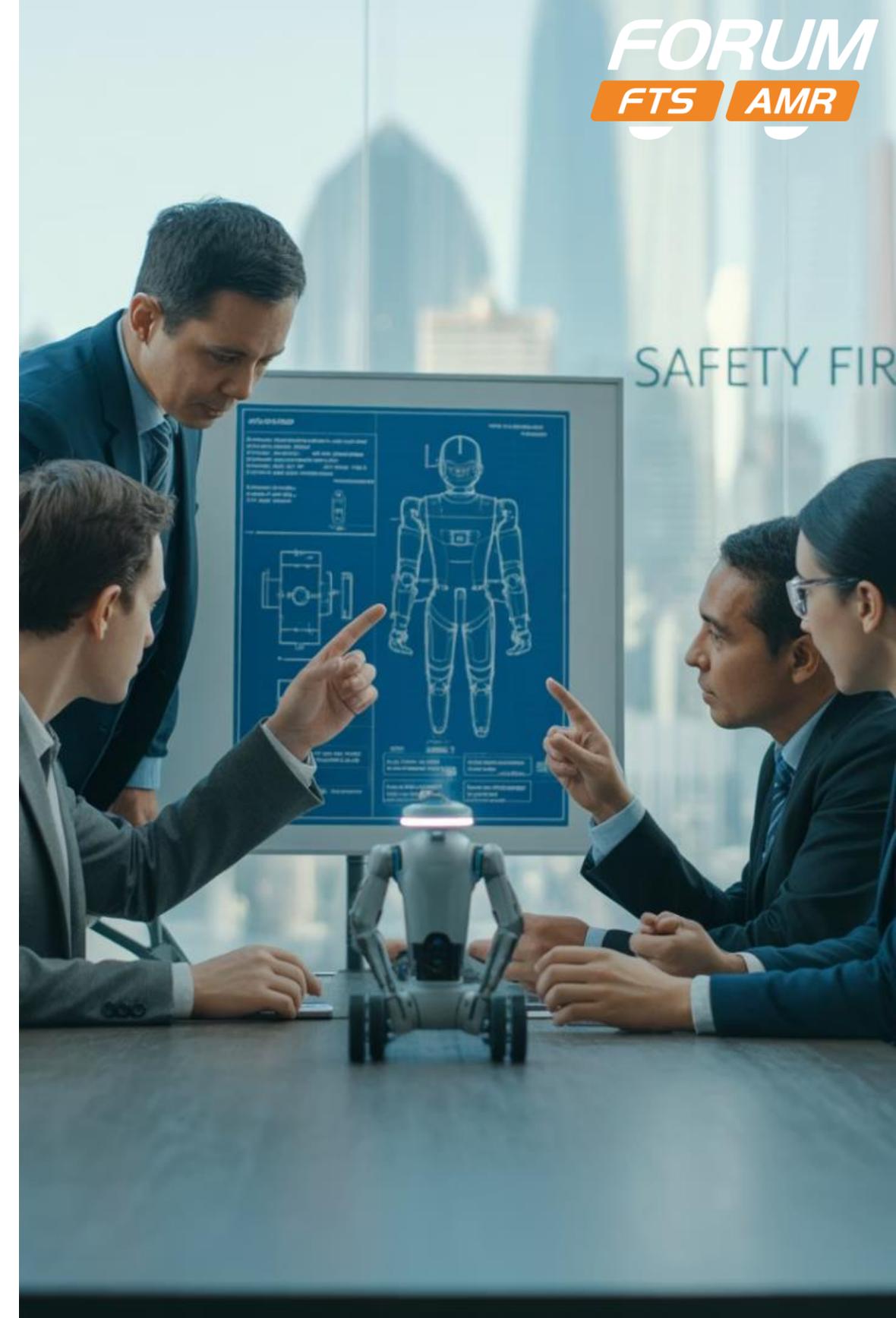
Hersteller muss Gefährdungen
Gefährdungen ernstnehmen und
und darf sie nicht unter den Tisch
Tisch fallen lassen.

Keine Verantwortungs- abwälzung

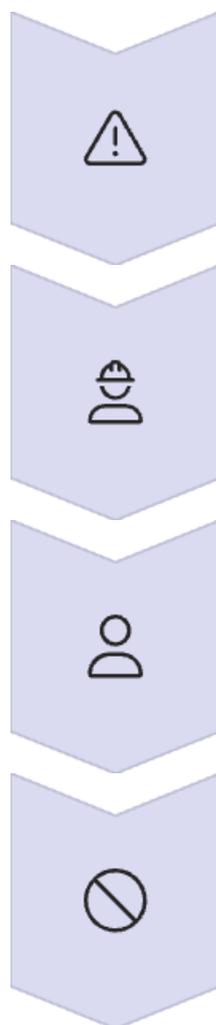
Probleme nicht über
"bestimmungsgemäße
Verwendung" auf den Betreiber
Betreiber abwälzen.

Technische vor organisatorischen Lösungen

Organisatorische Maßnahmen sind nur Sicherheitsmaßnahmen zweiter
zweiter Klasse. Stichwort: TOP



Konsequenzen unzureichender technischer Lösungen



Unehrliches Produkt

Hersteller drückt sich vor anspruchsvoller technischer Lösung.

Betreiber in Zwangslage

Kann nur noch organisatorische Maßnahmen treffen.

Mitarbeiterbelastung

Beobachtung von Wetter und Fahrbahn-Zuständen.

Betriebseinschränkungen

Häufige Stillsetzung des FTS bei Unsicherheit.



Maschinenverordnung verschärft Anforderungen

Nach der MVO sind AMRs mit Vorrichtungen ausgestattet, die jeden Menschen, jedes Haustier oder jedes sonstige Hindernis in ihrer Nähe detektieren, wenn von diesen Hindernissen ein Risiko für die Sicherheit und Gesundheit von Personen oder Haustieren oder für den sicheren Betrieb des AMRs ausgeht.

100%

Detektionsrate

Für alle Hindernisse
erforderlich

360°

Erfassungsbereich

Rundum-Absicherung
notwendig

24/7

Betriebszeit

Dynamisch, unter allen
allen
Umgebungsbedingungen



Resümee: Herausforderungen für Außenanwendungen



3D-Sensorsysteme

Fusionierte Systeme für sicheren Personen- und Objektschutz unter allen Bedingungen.



Reibwertbestimmung

Sicherheitskomponente zur dynamischen Reibwertbestimmung für angepasste Geschwindigkeit.

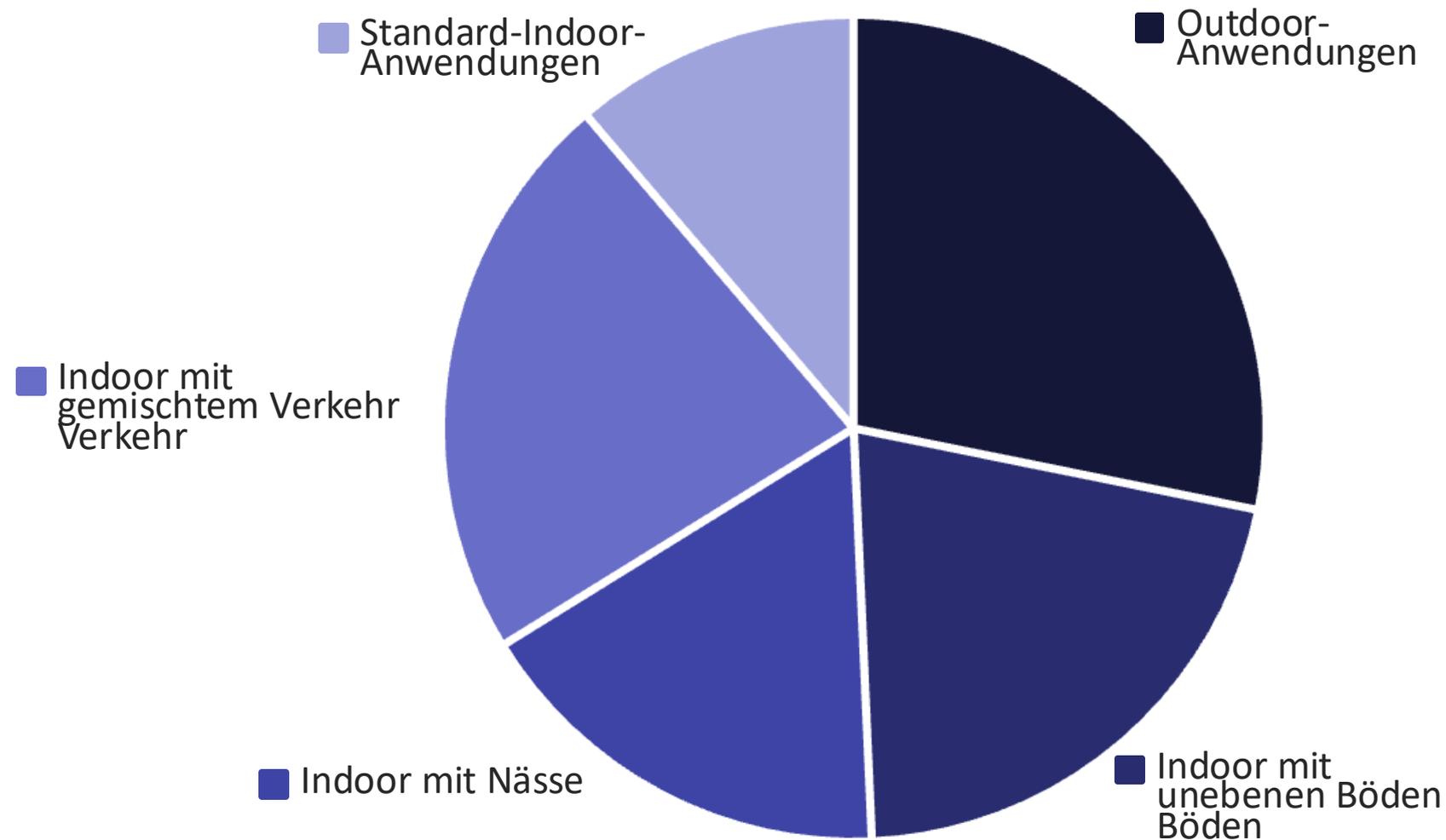


Entwicklungssprung

Aufruf an Hersteller, diese technischen Herausforderungen anzunehmen.



Ausblick: Nutzen auch für Indoor-Anwendungen



Wenn wir ehrlich sind, brauchen wir beide Entwicklungen
– fusionierte 3D-Sensorsysteme und dynamische Reibwertbestimmung –
auch für einen Teil unserer Indoor-Anwendungen!



Sicherer Einsatz von mobilen mobilen Robotern im innerbetrieblichen Außenbereich

Dr. Günter Ullrich, Leiter VDI Fachausschuss FTS und Forum-FTS

11. Technologieforum

„Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter

– Chancen, Technologien, Wirtschaftlichkeit“

am Fraunhofer Institut IPA, Stuttgart, 24. September 2025.

**Herzlichen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit!**

