

Whitepaper

Kognitive Multisensorik – Wegbereiter für die autonomen Systeme der Zukunft

1. Motivation

Der globale Trend zu autonomen Systemen und Robotik gewinnt zunehmend an Dynamik und verändert grundlegend, wie industrielle, wirtschaftliche Prozesse, Wertschöpfungsketten, Dienstleistungen und gesellschaftliche Abläufe organisiert werden. Fortschritte in den Bereichen künstliche Intelligenz, Sensorik, maschinelles Lernen und Datenverarbeitung ermöglichen Systeme, die komplexe Aufgaben weitgehend autonom und mit minimalen menschlichen Eingriffen zuverlässig ausführen können. In der Industrie erhöhen autonome Roboter die Produktivität, Präzision und Flexibilität, während im Dienstleistungssektor und der Mobilität neue Anwendungen wie autonome Fahrzeuge, Drohnen und Assistenzsysteme entstehen.

Ziel dieses Whitepapers ist es, die Rolle kognitiver Multisensorik als Schlüsseltechnologie für autonome Systeme verständlich zu machen. Es stellt zentrale Anforderungen, technologische Herausforderungen sowie Markt- und Regulierungsaspekte dar und bietet damit eine fundierte Grundlage für strategische Entscheidungen und Kooperationen.

Die Zielgruppe umfasst Technologieanbieter, Systemintegratoren, Anwender in Industrie, Mobilität und Logistik sowie Forschungs- und Regulierungsinstitutionen. Ihnen soll das Whitepaper Orientierung geben, Chancen und Risiken aufzeigen und Impulse für die Weiterentwicklung und Einführung autonomer Systeme liefern.

Autonome Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie eigenständig und dauerhaft in einer realen Umgebung operieren können, ohne unmittelbaren menschlichen Eingriff. Sie kombinieren Wahrnehmung, Entscheidungsfindung und Handlung zu einem geschlossenen Regelkreis, der es ihnen ermöglicht, Aufgaben zuverlässig und situationsgerecht auszuführen, auch wenn sich Rahmenbedingungen ändern oder Unsicherheiten auftreten.

Zentrale Komponenten sind dabei Sensoren, die notwendig sind, um Umgebungsparameter wie Position, Bewegung, Temperatur oder visuelle Informationen zu erfassen. Moderne Systeme nutzen häufig multisensorische Ansätze, bei denen die Daten unterschiedlicher Sensoren miteinander verknüpft werden, um eine genauere und robustere Umgebungswahrnehmung zu ermöglichen. Dadurch spielen sie eine zentrale Rolle für die zukünftige Entwicklung verlässlicher autonomer Systeme und der Robotik.

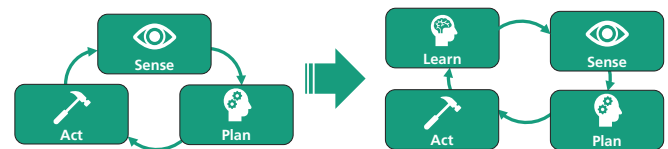


Abbildung 1: Kognitive Multisensorsysteme erweitern das etablierte regelbasierten Sense-Plan-Act-Schema

Kognitive multisensorische Systeme bilden die nächste Evolutionsstufe. Die Verarbeitung der Multisensordaten erfolgt dabei standardmäßig nach dem Sense-Plan-Act-Paradigma (Abbildung 1). Aus den erfassten multimodalen Informationen werden Modelle abgeleitet, die als Grundlage für die nächsten Handlungsschritte dienen. Algorithmen analysieren die Multisensordaten und nutzen dabei zunehmend Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) und des maschinellen Lernens, um komplexe Zusammenhänge zu erkennen und Entscheidungen zu optimieren – eine Erweiterung des Paradigmas.

Derartige Systeme kombinieren Wahrnehmung, Verarbeitung und Intelligenz – sie sind nicht nur **besser ausgestattet**, sondern auch **fähiger, zu lernen und situationsgerecht zu handeln** und können so eine nie dagewesene Zuverlässigkeit und Anpassungsfähigkeit im jeweiligen Anwendungskontext erreichen. Damit sind kognitive multisensorische Systeme der Schlüssel zur nächsten Generation autonomer Systeme in Bereichen wie Mobilität, Industrie, Medizin und Raumfahrt.

Ein anschauliches Anwendungsbeispiel zeigt, wie kognitive Multisensorik in einem autonomen Fahrzeug den sicheren Betrieb in einer belebten Innenstadt bei Nacht ermöglicht. Die kombinierte Sensorik aus Kamera, LiDAR, Radar, Ultraschall und Inertialsensorik liefert eine umfassende Umgebungserfassung und erhöht Redundanz und Robustheit bei eingeschränkten Sichtbedingungen (Abbildung 2). Die Sensorfusion verknüpft diese Daten zu einem konsistenten 3D-Weltmodell, das räumliche Tiefe, Bewegung sowie Objekteigenschaften zuverlässig abbildet. Im Sense-Plan-Act-Zyklus liefern die gefilterten Informationen Objekt-Identifikation, Distanz- und Bewegungsabschätzung sowie Kontextbewertungen, die zu zielgerichteten Maßnahmen wie Bremsen oder Ausweichen führen. Falls eine Sensorquelle ausfällt, übernehmen die verbleibenden Sensoren die relevanten Informationen und gewährleisten so ein sicheres Weiterfahren.

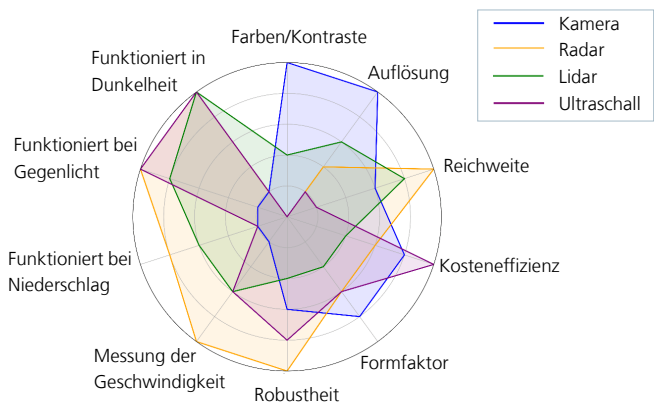


Abbildung 2: Abdeckung aller relevanten Parameter nur durch einen multisensorischen Ansatz möglich

2. Marktbedarf und Herausforderungen

Autonome Systeme sind in Branchen wie Automotive und Logistik über Industrie 4.0 bis hin zur Medizintechnik und Luftfahrt zu einem entscheidenden Innovationsfeld geworden^{1,2}. Damit diese Systeme marktfähig sind, müssen sie höchste Anforderungen an **Robustheit, Echtzeitfähigkeit, Interoperabilität und Sicherheit** unter wechselnden Umweltbedingungen und vielfältigen Einsatzszenarien erfüllen – ein hervorragendes Anforderungsprofil für kognitive Multisensorik.

Die Entwicklung und Markteinführung autonomer Systeme umfassen mehrere Ebenen mit spezifischen Rollen und

Ebene	Typische Akteure	Rolle
Forschungseinrichtung	Fraunhofer, DLR, KIT, TU München, MIT	Standards, Methoden, Normung, Validierung, Technologieentwicklung, Transfer, Prototypen
Sensorhersteller	Bosch, Continental, Hella, Honeywell, Ouster, SICK, Texas Instruments	Entwicklung robuster Sensorik
Systemintegration	ABB, Magna, Siemens, Valeo, Wandelbots, ZF Friedrichshafen	Integration von Sensorik, Datenfusion, Middleware, Edge-/Cloud-Infrastrukturen
Systemanbieter	BMW, Boston Dynamics, Mercedes-Benz, KUKA Robotics, Waymo	Komplettsysteme inkl. Zertifizierung
Endnutzer	DB Schenker, DHL, Siemens, Volkswagen	Betrieb, Anwendung, Wartung
Verbände	AMA Verband für Sensorik und Messtechnik, Silicon Saxony, International Federation of Robotics (IfR)	Standardisierung, Netzwerk und Wissensaustausch

Tabelle 1: Akteure in der Entwicklung autonomer Systeme (Auszug)

Akteuren (Tabelle 1). Diese Akteure arbeiten entlang einer komplexen Wertschöpfungskette, die in der folgenden Abbildung 3 visualisiert wird. Forschungseinrichtungen wie die der Fraunhofer-Institute sind hierbei wichtige Impulsgeber für Innovationen in allen Integrationsstufen von Materialentwicklung, über die Sensorintegration und die Anwendungsvalidierung. Verbände, wie der AMA-Verband für Sensorik und Messtechnik tragen maßgeblich zur Vernetzung der Akteure und der Innovationssteuerung bei.

Der Markt für autonome Systeme wird von mehreren starken Treibern geprägt, die eine breite Einführung ermöglichen und eine Basis für langfristige Wettbewerbsfähigkeit schaffen. Zentrale Chancen liegen in **Sicherheitsgewinnen**, denn autonome Technologien können menschliche Fehler reduzieren. Gleichzeitig steigern sie die **Effizienz** in Logistik und Produktion, optimieren Waren- und Materialflüsse, senken Betriebskosten und ermöglichen nahezu durchgängigen Betrieb.

^{1,2} Quellen: McKinsey & Company „The future of autonomous vehicles (AV)“, DHL “Logistics Trend Radar 7.0” (2024)

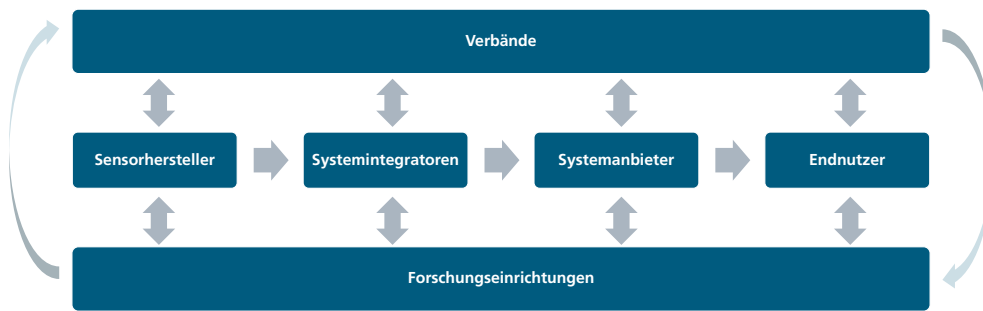


Abbildung 3:
Wertschöpfungskette in
der Entwicklung autonomer
Systeme

Der **Fachkräftemangel** wird durch Automatisierung adressiert, da monotone oder gefährliche Tätigkeiten übernommen werden und menschliche Arbeitskraft für höherwertige Aufgaben freigesetzt wird. Politische und **regulatorische Unterstützung**, etwa durch EU- oder nationale Förderprogramme, beschleunigt Investitionen, Markteinführung und Skalierung. Der technologische Fortschritt mit verbesserter Sensorik, leistungsfähiger Hardware, Edge-KI und schnellen Netzwerken wie 5G/6G eröffnet neue Anwendungsfelder, und das Potenzial erstreckt sich branchenübergreifend auf Mobilität, Industrie, Logistik, Gesundheitswesen und weitere Sektoren, die von modularen, interoperablen Lösungen profitieren.

Gleichzeitig stehen autonome Systeme vor zentralen Herausforderungen. **Hohe Kosten und Skalierungsprobleme** erschweren die Marktdurchdringung, insbesondere weil fortschrittliche Sensorik wie LiDAR und redundante Hardware kostenintensiv sind. Hinzu kommt die **regulatorische Komplexität**, die durch zahlreiche Normen und lange Zulassungsprozesse zu Verzögerungen führt. Ein wesentliches Hindernis ist zudem die **Validierung und Testabdeckung**, da seltene, sicherheitsrelevante Szenarien schwer vollständig absicherbar sind; standardisierte Tests und Validierungsprozesse fehlen oft noch, Szenarien lassen sich nur schwer absichern. Simulationsframeworks unterstützen hier, sind jedoch komplex und mit hohen Kosten verbunden.

Vertrauen und Akzeptanz in der Gesellschaft stellen eine weitere Hürde dar: Fehlende Transparenz und mangelnde Erklärbarkeit der Entscheidungen autonomer Systeme

hemmen deren breite Nutzung. **Umwelt- und Betriebsbedingungen** wie Wetter, Sicht und Gelände erfordern eine robuste Multisensorfusion, um Ausfälle einzelner Sensoren zu kompensieren. **Rechenressourcen und Edge-Computing** stellen Realzeit-Inferenz sicher, sind jedoch kostenintensiv. Eng damit verbunden ist die **Software-Nachverfolgbarkeit**. Gemäß UNECE R156 müssen Softwarestände im Feld lückenlos dokumentiert und regelmäßig aktualisiert werden, was mit einem erheblichen Aufwand für Hersteller und Betreiber einhergeht. **Open Standards und Interoperabilität** bleiben essenziell, um Ökosysteme effektiv zu vernetzen. Parallel wächst die Bedeutung von **Cybersecurity**, da Systeme über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg gegen neue Bedrohungen geschützt werden müssen und neue Angriffsszenarien wie Sensor-Spoofing oder Manipulation der Datenfusion umfassende Security-Managementsysteme erfordern.

Normen und Regularien bilden das Rückgrat für die sichere Markteinführung und sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt (Tabelle 2). Diese Vielzahl an Normen bildet den regulatorischen Dreiklang: Sicherheit gegen Fehlfunktionen, Sicherheit trotz funktionaler Grenzen und Sicherheit im Betrieb. Diese sind ergänzt durch Governance-Vorgaben für KI, Cybersecurity und Datenschutz. Die umfassende Kenntnis dieser Normen und deren Anwendung bei der Entwicklung sowie im Feldeinsatz autonomer Systeme sind essenziell.

Norm/Regelwerk	Fokus	Relevanz	Beispiel
ISO 10218-1 ISO 10218-2	Sicherheit in der Robotik	Sicherheitsanforderungen an Industrieroboter, Robotersystemen, Roboteranwendungen und deren Integration in Roboterzellen	Robotik
ISO 26262	Funktionale Sicherheit	Sicherheit gegen Fehlfunktionen in elektronischen Steuergeräten.	ADAS, autonomes Fahren
ISO 21448 (SOTIF)	Sicherheit der beabsichtigten Funktionalität	Sicherheit trotz intendierter, aber unvollkommener Funktionalität, insbesondere bei Wahrnehmungs- und KI-Systemen. Umgang mit Wahrnehmungslücken	Sensorfusion, KI
ISO 13849	Maschinensicherheit	Sicherheitsanforderungen an Steuerungen, Performance Levels (PL a–e). Besonders relevant in Robotik und autonomen Transportsystemen, wo sichere Steuerungen für Kollisionsvermeidung oder Not-Halt unabdingbar sind.	FTS, Robotik
ISO/IEC 23894	KI-Risikomanagement	Integration von KI-spezifischen Unsicherheiten in den Entwicklungsprozess.	KI-Fusion, Szenarien
UNECE R155 und R156	Cybersecurity und Software-Updates	Verpflichten Hersteller zu einem Cybersecurity Management System (CSMS) und einem Software Update Management System (SUMS) mit eindeutiger Rückverfolgbarkeit (RxSWIN)	Fahrzeugentwicklung, OTA im Feld
EU AI Act	Hochrisiko-KI	Stuft KI-Systeme für sicherheitskritische Mobilität als Hochrisiko ein und fordert Konformität hinsichtlich Datenqualität, Risikomanagement, Logging, Transparenz und Human Oversight	Autonome Fahrzeuge, Roboter
DSGVO und Data Act	Datenschutz	Regeln den Umgang mit personenbezogenen und gerätebezogenen Daten im Betrieb	Bewegungsprofile, Bilddaten

Tabelle 2: Regulatorik für autonome Systeme (Auszug)

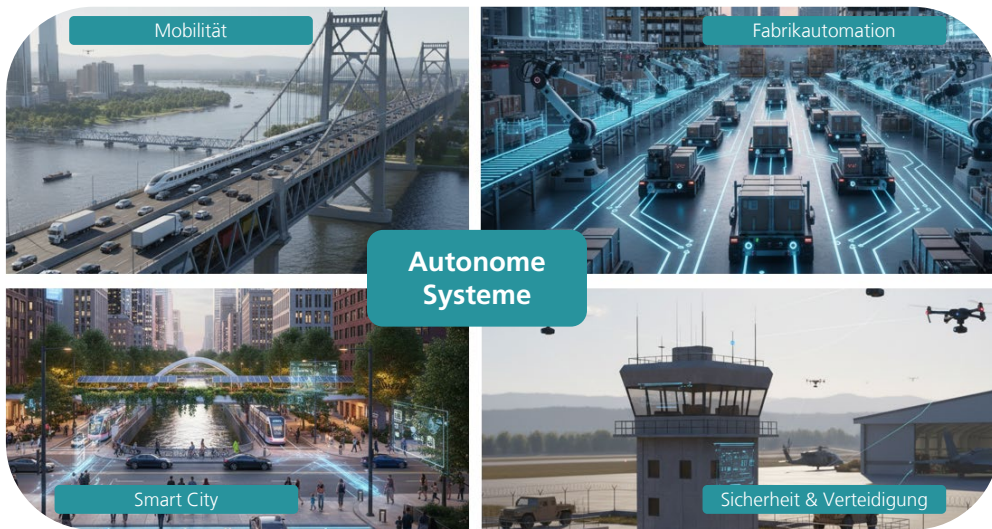


Abbildung 4: Typische Anwendungsfelder für autonome, multisensorische Systeme (©Fraunhofer IIS)

3. Anwendungsfelder und Potentiale

Kognitive Multisensorik schafft neue Dimensionen von Robustheit, Präzision und Autonomie, indem sie heterogene Sensoren intelligent fusioniert und ihre Rollen dynamisch an Aufgabe und Kontext anpasst. Anstatt Daten nur zu sammeln, lernen diese Systeme typische Muster, bewerten Unsicherheiten und setzen Schwerpunkte neu, wenn sich Bedingungen ändern – etwa bei Nebel, Blendung, Erschütterungen oder dem Ausfall von GPS. So entstehen eine zuverlässige Wahrnehmung und Entscheidungsfindung, die von einzelnen Maschinen bis hin zu vernetzten Flotten und Infrastrukturen reicht. Dieser Abschnitt zeigt die konkreten Potenziale und Anwendungsfelder – von Mobilität und Fabrikautomation über Smart Cities bis zu Sicherheit und Verteidigung – und macht deutlich, wie adaptive Fusion Sicherheit, Effizienz und Widerstandsfähigkeit verbessert und zugleich neue Dienste sowie Geschäftsmodelle ermöglicht.

3.1 Mobilität

Kognitive Multisensorik hält autonome Mobilität auch unter schwierigen Bedingungen funktionsfähig, indem Kameras, LiDAR, Radar, Ultraschall, GNSS und inertielle Daten je nach Situation – etwa bei Regen, Blendung oder GPS-Ausfall – unterschiedlich gewichtet werden. Im Straßenverkehr verknüpfen autonome Fahrzeuge GPS, Radar, LiDAR und Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation, um das Sichtfeld zu erweitern. So werden kooperative Manöver wie das

LKW-Platooning möglich, wie es in der European Truck Platooning Challenge³ demonstriert wurde. In dichtem Verkehr zeigen Pilotprojekte in Singapur, wie Shuttles störende Signale wie Reflexionen auf nasser Fahrbahn unterdrücken und dadurch Fußgänger und Radfahrer besser erkennen.

Auch in der Luftfahrt kommt Multisensorik zum Einsatz: Lieferdrohnen von Amazon Prime Air und Wing (Google) navigieren zuverlässig in GPS-losen oder schlecht einsehbaren Gebieten. Vision-, LiDAR- und Ultraschallsensoren ermöglichen dabei präzise Landungen und sichere Navigation in Wohngebieten. Für Inspektionsaufgaben setzen Energieunternehmen wie TransGrid⁴ und Aramco⁵ Drohnen mit optischen, thermischen und LiDAR-Sensoren ein, um Risse, Überhitzungen oder Korrosion frühzeitig zu erkennen. In Such- und Rettungseinsätzen nutzen Modelle wie die DJI Matrice 30T⁶ den Wechsel zwischen Wärme- und Optikkameras, um Überlebende auch bei schwierigen Lichtverhältnissen aufzuspüren.

Ähnliche Prinzipien gelten für den Schienenverkehr: Radar und LiDAR erfassen Hindernisse, während Vibrations-, Wärme- und optische Sensoren die vorausschauende Wartung unterstützen. Projekte wie die drohnengestützte Gleisüberwachung der Deutschen Bahn oder die Inspektionen der SNCF zeigen, wie kognitive Verarbeitung Betriebsgeräusche filtert und Abnutzung frühzeitig erkennt.

Mit Blick in die Zukunft werden Konzepte wie Flugtaxis oder Transportdrohnen eine noch weiterentwickelte Sensorfusion erfordern, die Prioritäten dynamisch zwischen Start, Flug und Landung verschiebt. Auch in Fahrzeugkabinen hält die Sensorfusion Einzug – etwa zur Überwachung von Passagieren, um Komfort und Sicherheit zu erhöhen.

³ <https://www.connectedautomateddriving.eu/blogplatooning-becomes-a-reality-in-europe/>

⁴ <https://www.transgrid.com.au/media-publications/news-articles/transgrid-to-use-drones-to-make-transmission-line-inspections-safer>

⁵ <https://americas.aramco.com/en/news-media/elements-magazine/2024/flying-high-how-drones-are-optimizing-aramcos-operation>

⁶ <https://enterprise.dji.com/de/matrice-30>

3.2 Fabrikautomatisierung

In der Montage kombinieren Roboter Bild- und Tiefendaten mit Kraft-Moment- und Tastsensorik, um Toleranzen und verdeckte Bauteile sicher zu handhaben. Sinkt das Vertrauen in die visuellen Daten, übernimmt die Kontakt- bzw. Impedanzregelung die Führung, sodass Bauteile zuverlässig eingefügt werden können. Die Zusammenarbeit von Menschen und Robotern profitiert von Näherungssensoren, UWB-Zonen und Kamerasystemen, die menschliche Bewegungen vorhersagen und dynamische Sicherheitsabstände auch bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten gewährleisten – wie etwa in BMW-Endmontagezellen mit kollaborativen KUKA LBR iiwa-Armen.

In der Intralogistik kombinieren AMRs und AGVs LiDAR, Stereokameras, Odometrie, IMU sowie UWB/RTLS, um auch in wechselnden Gängen präzise zu navigieren. Große Standorte wie die Fulfillment-Zentren von Amazon Robotics⁷ oder die Grid-Systeme von Ocado zeigen, wie Sensorfusion den Materialfluss stabil hält, während RFID und Kameras die digitalen Zwillinge laufend aktualisieren.

Für Qualitäts- und Prozessüberwachung kommen multispektrale und thermische Bildgebung, Vibrations- und Akustiksensoren sowie Motorstromanalysen zum Einsatz. Werke wie Siemens Amberg oder Condition-Monitoring-Programme von Schaeffler/SKF⁸ verdeutlichen, wie Sensorfusion die Überwachung nur dann hochfährt, wenn Auffälligkeiten wahrscheinlich sind – was Fehlalarme reduziert und Rechenaufwand spart.

Mit Blick nach vorn werden sich selbstoptimierende Fertigungslinien ihre Sensorik (Beleuchtung, Bildraten, Positionierung) beim Produktwechsel automatisch anpassen und dabei Erfahrungswerte teilen. So erreichen neue Varianten innerhalb weniger Stunden - statt nach mehreren Wochen – eine stabile Qualität.

3.3 Smart Cities

Smart Cities benötigen umfassende Sensorik. Kognitive multisensorische Systeme verwandeln die heutige übliche statische Sensorfusion in selbstoptimierende Netzwerke, die Signale in Echtzeit priorisieren und so vorausschauende Wartung und autonome Entscheidungen ermöglichen. In der Infrastruktur- und Bauwerksüberwachung kommen bereits

Beschleunigungssensoren, Dehnungsmessstreifen, Glasfasersensoren und drohnenbasierte LiDAR- oder Bildsysteme zum Einsatz – etwa am Millau-Viadukt⁹ oder auf US-amerikanischen Highways. Kognitive Systeme gehen noch weiter, indem sie Störungen herausfiltern, Verkehrerschütterungen von Materialermüdung unterscheiden und digitale Zwillinge kritischer Anlagen durch Drohnenschwärme kontinuierlich aktualisieren.

Versorgungsunternehmen nutzen Drohnen und IoT-Sensorik zur Stromleitungsinspektion sowie akustische und Drucksensoren zur Leckerkennung, bisher meist reaktiv. Kognitive Fusion könnte thermische, Vibrations- und Umweltdaten integrieren, um Störungen vorherzusagen und zu lokalisieren, Ausfallzeiten zu verringern und intelligente Netze widerstandsfähiger zu machen.

Auch urbane Mobilitätssysteme – etwa in Barcelona oder Singapur – kombinieren bereits Kameras, Induktionsschleifen und GPS zur Verkehrssteuerung. Kognitive Multisensorik würde hier dynamisch Prioritäten setzen, zum Beispiel Fußgänger bei Festen stärker berücksichtigen, Umleitungen bei Notfällen einrichten und autonome Fahrzeuge in adaptive Mobilitätsnetzwerke integrieren.

Auch öffentliche Sicherheit und Bürgerdienste profitieren: Luftqualitäts-, seismische- und drohnenbasierte Sensorik unterstützt Katastrophenreaktionen, bisher meist isoliert. Kognitive Netzwerke könnten sich automatisch neu konfigurieren. Bürgerorientierte Projekte wie „Breathe London“ oder Lärmkarten würden von statischen Berichten zu adaptiven Warnungen in der Nähe von Schulen oder Krankenhäusern weiterentwickelt.

3.4 Sicherheit & Verteidigung

In sicherheitskritischen und rauen Umgebungen hält kognitive Multisensorik die Wahrnehmung funktionsfähig – selbst bei schlechtem Wetter, Sichtbehinderungen, GPS-Ausfall oder Kommunikationsverlust. Im zivilen Sicherheitsbereich werden Radar, EO/IR-Kameras, akustische Sensoren und Funktechnik kombiniert, um Menschen, Fahrzeuge, Tiere und Drohnen zu unterscheiden und Fehlalarme zu reduzieren. Gegen Drohnen eingesetzte Systeme wie Dedrone¹⁰ oder HENSOLDT Xpeller¹¹ verbinden Radar und Funk mit EO/IR-Kameras, um Ziele zuverlässig zu verfolgen und zu identifizieren, mit nachvollziehbarer Sicherheit.

⁷ <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-fulfillment-center-robotics-ai>

⁸ <https://medias.schaeffler.us/en/monitor/optime-condition-monitoring>

⁹ <https://www.researchgate.net/Monitoring>

¹⁰ <https://de.dedrone.com/>

¹¹ <https://www.hensoldt.net/domains/land/protection/counter-UAS>

Für Katastropheneinsätze nutzen Bodenroboter und Drohnen eine Kombination aus RGB-/Wärmekameras, LiDAR sowie Gas- und Partikelsensoren, um Brandherde, Hohlräume und gefährliche Dämpfe zu kartieren – zum Beispiel Skydio-Drohnen für Feuerwehren oder Boston Dynamics Spot für die Erkundung von engen Räumen. Navigation ohne GPS basiert auf visuell-inertialer Odometrie und Geländedaten; beim DARPA Subterranean Challenge demonstrierten Multi-Roboter-Teams wie CERBERUS, wie Sensorik in Tunneln und Rauch eingesetzt werden kann.

In der maritimen und Grenzüberwachung werden Oberflächenradar, AIS und EO/IR kombiniert (z. B. Patrouillen der US Coast Guard), um schwer erkennbare oder nicht kooperative Ziele zu identifizieren, während DARPA SIGMA¹² Netzwerk-Sensorik für chemische und radiologische Stoffe mit Wetterdaten verband, um Quellen präzise zu lokalisieren. Künftig werden heterogene Schwärme – stationär, mobil, in der Luft – über Absichten kommunizieren, statt kontinuierlicher Rohdatenströme, um Bandbreite zu sparen und belastbare

Entscheidungen auch unter unterbrochenen oder eingeschränkten Verbindungsbedingungen zu treffen.

Kognitive Multisensorik bildet das verbindende Rückgrat von Mobilität, Fabrikautomation, Smart Cities sowie Sicherheits- und Verteidigungsanwendungen. Anstatt Daten statisch zusammenzuführen, werden Sensoren kontinuierlich unterschiedlich gewichtet, Unsicherheiten bewertet und Sensorik sowie Rechenressourcen an den Kontext angepasst – etwa Regen vs. Blendung, leere Gänge vs. Stoßzeiten, Rush Hour vs. Festival, GPS-Ausfall vs. eingeschränkte Kommunikation. Das Ergebnis ist eine funktionsfähige Wahrnehmung unter allen Bedingungen, höhere Effizienz und nachvollziehbare Entscheidungen – von einzelnen Robotern bis hin zu stadtweiten Netzwerken.

Die folgende Tabelle 3 fasst die wichtigsten Sensorgruppen zusammen und zeigt, wie sie in allen vier Anwendungsfeldern konkrete Fähigkeiten ermöglichen.

Sensorgruppe	Anwendungsbereich			
	Mobilität	Fabrikautomatisierung	Smart Cities	Sicherheit & Verteidigung
Kameras, LiDAR, Radar, Ultraschall, Multispektral/SWIR, GNSS	Objekt-, Fahrbahnwahrnehmung, Hindernis- & Landehilfe, Kartierung/Navigation	Roboterführung, Bin-Picking, Sicherheitszonen, Paletten-, Regalerkennung	Verkehr, CCTV, Anlageninspektion, städtische Kartierung	Weiträumige Überwachung, Ziel-Cueing, ID, Counter-UAS-Cues
IMU, Odometrie, Magnetometer	Koppelnavigation (GPS-verweigert), Stabilisierung	Roboterpose, Prozesszustandshinweise	Mobile Schwingungsproxys, Asset-Lokalisierung	Inertialnavigation für UGV/UAV
V2X, UWB-RTLS, RFID-Barcodes	Kooperative Manöver, Lokalisierung von Docks, Werften	AMR/AGV-Lokalisierung, WIP-Tracking, Inventarisierung	Flottensteuerung, Asset-/Worker-Tracking, Abfall-/Asset-ID	Lokalisierung, Tracking, Koordination bei geringer Bandbreite
Akustik, Vibration, Motorströme, Kraft-Moment, Taktile	Zustand des Antriebsstrangs, Lagerverschleiß	Werkzeugverschleiß, Lagerfehler, Präzisionsmontage, MRK-Sicherheit	Leckerkennung, Geräuschkartierung, Zustand von Pumpen/Lüftern	Lokalisierung des Schützen, Eindringen in den Zaun/Boden
Thermisches Infrarot	Nachtwahrnehmung, Hotspot-Erkennung	Heißfügequalität, Heizung/Prozesssteuerung	Energieaudits, Branderkennung	Nacht-ISR, Waldbrände/ Such- und Rettungseinsätze
Dehnung, Faseroptik (FBG), Verschiebung	Lasterfassung für Schiene und Straße	Werkzeug-/Vorrichtungsbelastung, Pressenüberwachung	Tragwerkszustand (Brücken/ Gebäude)	Perimeter-/Zaunüberwachung
Gas, Partikel, Chemikalien, Strahlung	Sicherheit der Kabinen-/EV-Batterie	Prozesslecks, Luftqualität in der Leitung	Luftqualität, Wasser-/Gaslecks	CBRN-Detektion, Modellierung/ Reaktion von Wolkenfahnen

Abkürzungen: **SWIR** kurzwelliges IR; **GNSS** Satellitennavigation; **UWB-RTLS** Ultrabreitband-Echtzeit-Ortung; **AMR/AGV** Mobile Roboter; **WIP** „work-in-process“; **MRK** Mensch-Roboter-Kollaboration; **UGV/UAV** Boden-/Luftroboter; **ISR** Aufklärung/ Überwachung/ Aufklärung; **CBRN** chemisch/biologisch/radiologisch/nuklear

¹² <https://www.darpa.mil/research/programs/sigma>

4. Methodischer Ansatz zur Entwicklung autonomer Systeme

Die erfolgreiche Entwicklung autonomer Systeme hängt von einer Vielzahl miteinander verzahnter Erfolgsfaktoren ab, die technologische, organisatorische und strategische Aspekte umfassen.

Ein zentraler Faktor ist die **interdisziplinäre Zusammenarbeit**, da autonome Systeme Kompetenzen aus Sensorik, Datenverarbeitung, künstlicher Intelligenz, Systemintegration und Sicherheitstechnik erfordern. Forschungsverbünde ermöglichen die Bündelung dieser Expertise und fördern den Wissenstransfer zwischen Industrie und Wissenschaft.

Ebenfalls entscheidend ist die **Flexibilität und Anpassungsfähigkeit** der Systeme. Modulare Architekturen, skalierbare Sensorplattformen und adaptive Softwarelösungen erlauben es, die Systeme schnell an unterschiedliche Anwendungsfelder, Betriebsbedingungen und regulatorische Anforderungen anzupassen.

Ein weiterer Schlüsselfaktor ist die **Validierung in realen Szenarien**. Test- und Reallabore, Pilotprojekte und Demonstratoren erlauben es, die Robustheit, Zuverlässigkeit und Echtzeitfähigkeit der Systeme unter praxisnahen Bedingungen zu prüfen und Schwachstellen frühzeitig zu identifizieren.

Ergänzt wird dies durch die erforderliche **Standardisierung und Compliance**. Die Einbindung von aktuellen Sicherheits-, Normen- und Datenschutzerfordernungen ist essenziell, um regulatorische Vorgaben zu erfüllen und gleichzeitig das Vertrauen von Anwendern und Kunden zu sichern.

Schließlich sind **Innovation und kontinuierlicher Wissenstransfer** entscheidend, da autonome Systeme in dynamischen Technologiefeldern entwickelt werden. Dies umfasst die Integration neuester Sensorik, KI-Methoden und Multisensorfusion, die Nutzung von Embedded- und Echtzeitsystemen sowie die systematische Analyse von Erfahrungen aus Tests und Pilotprojekten.

Für die Entwicklung autonomer Systeme ist ein hybrides Entwicklungsmodell aus klassischen Phasenmodellen (Stage-Gate/V-Modell) und agilen Methoden am besten geeignet (Abbildung 5). Es bietet die notwendige Struktur und Nachvollziehbarkeit, um regulatorische Anforderungen und Sicherheitsstandards zu erfüllen, und zugleich die Flexibilität, um iterative Optimierungen, Tests und KI-gestützte

Anpassungen effizient umzusetzen. Kritische Punkte wie hoher Koordinationsaufwand, Dokumentationslast und erforderliche Schulungen müssen aktiv gemanagt werden, sind jedoch durch klare Rollenverteilungen, agile Governance-Strukturen und gezielte Schulungsmaßnahmen kontrollierbar. Die iterativen Schleifen zwischen Pilot-/Feldtests und Prototyping einerseits und Rollout/Markteinführung und Konzept & Systemarchitektur andererseits ermöglichen es technologische Innovationen und marktseitige Anforderungen in einem stetigen Prozess in die Systeme einzubinden.

In den jeweiligen Phasen dieses Entwicklungsmodells sind folgende Bausteine enthalten, die mit einem erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf einhergehen:

- Sensorentwicklung
- Softwareentwicklung und -validierung
- Systemintegration und -validierung
- Erprobung im Reallabor

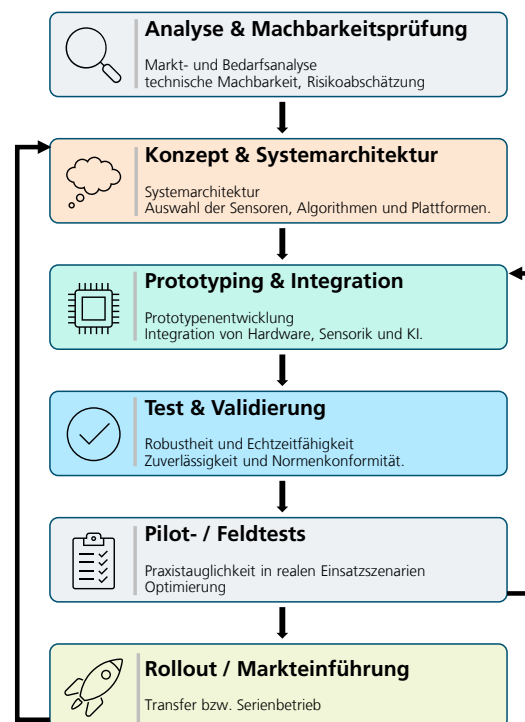


Abbildung 5: Entwicklungsmodell für autonome Systeme

Baustein 1: Sensorentwicklung

Die anwendungsspezifische Sensorauswahl ist entscheidend, um Sinneswahrnehmungen zu kombinieren – Sehen (optische Sensoren) und Hören (akustische Sensoren) sowie Schmecken/Riechen (chemische Sensoren) und Fühlen/ Gleichgewicht (Taktile- und Inertialsensoren). Radar- und LiDAR-Technologien bleiben zentrale Treiber für Objekterkennung und Distanzmessung in autonomen Systemen. Angesichts miniaturisierter, energieeffizienter Systeme rücken Sensoren aus der Mikrosystemtechnik und MEMS-Technologie stärker in den Fokus. Trends in diesen Bereichen – adressiert beispielsweise am Fraunhofer IPMS und Fraunhofer ENAS – ermöglichen dank des hohen Miniaturisierungs- und Integrationsgrads eine dichte multisensorische Architektur mit sensornaher Verarbeitung für zukünftige autonome Systeme (Abbildung 6).

Optische Sensorkonzepte, die über den sichtbaren Bereich hinaus gehen ermöglichen Umfeld-Erfassung auch bei Nebel, Rauch oder Dunkelheit. Siliziumbasierte Photodetektoren im kurzwelligen Infrarotbereich (SWIR) ermöglichen eine hohe Empfindlichkeit und einen geringen Dunkelstrom. Innovative Ansätze in der Detektortopologie führen zur zusätzlichen Steigerung der Sensitivität und des Dynamikbereichs, während CMOS-kompatible Herstellungstechnologien Multidetektorarrays mit integrierter Signalverarbeitung zugänglich machen. MEMS-basierte Gitterspektrometer-Systeme mit Formfaktoren bis zur Größe eines Zuckerwürfels realisieren spektroskopische Analysen ohne kostspielige Detektor-Arrays und unterstützen On-board-Analytik, Qualitäts- und Prozessüberwachung in autonomen Robotern.

Ultraschall komplementiert optische Verfahren im Nahbereich und ermöglicht zuverlässige Distanzmessung, robuste Objekterkennung, sichere Kollisionsvermeidung und Mensch-Maschine-Interaktionen. Siliziumbasierte Ultraschallsensoren, basierend auf kapazitiven (CMUT) bzw. piezoelektrischen (PMUT) Transducern, bilden eine miniaturisierte, integrationsfreundliche Plattform. Diese Ansätze zeichnen sich durch große Designfreiheit, hohe Fertigungspräzision und skalierbare Herstellung für Einzel- und Mehrkanalsysteme aus. Dank Betriebsparametern von Zehnkilo- bis Megahertz-Frequenzen ergeben sich miniaturisierte Sensormodule mit Reichweiten von Millimetern bis Metern und hoher räumlicher Auflösung bis in den Submikrometerbereich.

Ergänzend dazu ermöglicht die chemische Sensorik (Ionen-sensitive Feldeffekttransistoren ISFETs, Ionenmobilitätsspektrometer IMS) direkte chemische Statusinformationen in der Sensorfusion. ISFET-Chips messen pH-Werte und Ionenkonzentrationen; IMS detektieren VOCs in Gasen mobil, kosteneffizient und bei Raumtemperatur.

MEMS-Gyroskope, IMU-Systeme und Taktilsensoren runden ein Sensorportfolio mit der Fähigkeit der Orientierung und des Fühlens ab. Gyroskope, basierend auf dem Tuning-Fork-Prinzip mit zwei gekoppelten Coriolis-Massen und mit Open-Loop-Charakter arbeitend, bieten hohe Bandbreiten sowie schnelle Reaktionszeiten. Diese Sensoren unterstützen Navigation, Plattformstabilisierung, Bewegungsdetektion und North Finding und bieten eine robuste inertiales Navigationssystemunterstützung bei GPS/GNSS-Jamming.

Baustein 2: Softwareentwicklung und

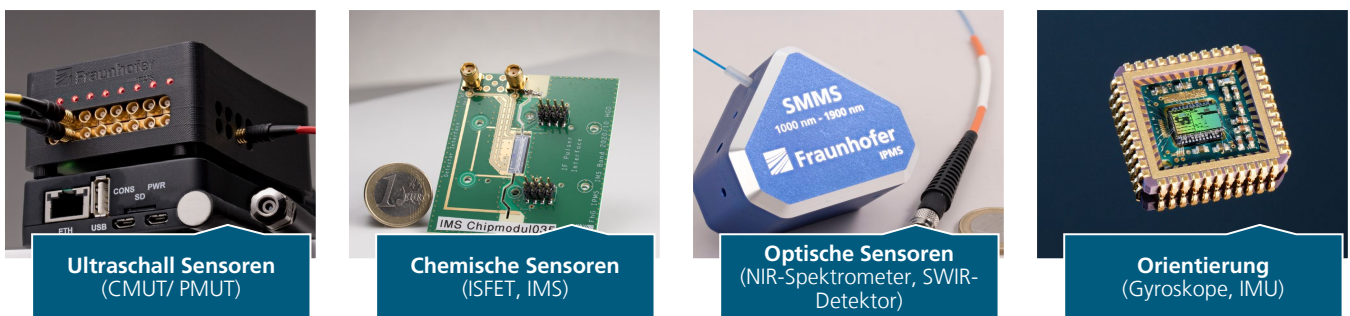


Abbildung 6: Sensorentwicklungsportfolio für kognitive Multisensoren und autonome Systeme.
(© Fraunhofer IPMS und ENAS)

KI-basierte Algorithmik

Die Entwicklung von Software für kognitive Multisensorik-Systeme folgt einem klar strukturierten Ablauf von der Algorithmenentwicklung bis zur Realisierung auf der Zielhardware. Typischerweise beginnt die Algorithmenentwicklung in prototypischen Umgebungen wie MATLAB oder Python, in denen Sensordaten analysiert, Fusionsstrategien getestet und erste Kontroll- und Entscheidungslogiken simuliert werden. Anschließend erfolgt die Integration auf Embedded-Systemen innerhalb einer Testumgebung. Hier werden die Algorithmen auf die Zielhardware portiert, Echtzeitfähigkeit geprüft und Schnittstellen zu Sensoren und Aktoren etabliert. Virtuelle Testumgebungen und Sensormodelle ermöglichen dabei eine sichere Validierung unter reproduzierbaren Bedingungen, bevor das System auf reale Sensoren trifft. Schließlich erfolgt die Inbetriebnahme im realen System unter echten Umweltbedingungen. Dies umfasst die Anpassung an unvorhersehbare Störungen, Kalibrierung der Sensoren und Optimierung der Algorithmen für robuste und zuverlässige Performance.

Besonderheiten ergeben sich bei der Integration von KI-basierten Methoden: KI-Algorithmen benötigen umfangreiche Trainingsdaten, müssen Unsicherheiten quantifizieren und in Echtzeit robust reagieren. Zudem erfordern sie spezielle Validierungsstrategien, um sicherzustellen, dass Vorhersagen zuverlässig, nachvollziehbar und reproduzierbar sind. Kognitive Multisensorik-Systeme kombinieren daher klassische Algorithmen und KI-Methoden, um Sicherheit, Effizienz und Adaptivität zu gewährleisten.

Baustein 3: Systemintegration und -validierung

Die Integration heterogener Sensoren in kognitive Multisensorik-Systeme erfordert eine flexible und modulare Softwarearchitektur. Hierbei spielt ROS (Robot Operating System) eine zentrale Rolle. ROS bietet eine standardisierte Middleware, über die verschiedene Sensoren, Algorithmen und Aktoren miteinander kommunizieren können. Durch seine modulare Struktur lassen sich neue Sensoren oder Algorithmen unkompliziert einbinden, und die Entwicklung verteilter Systeme wird erheblich erleichtert (Abbildung 7).

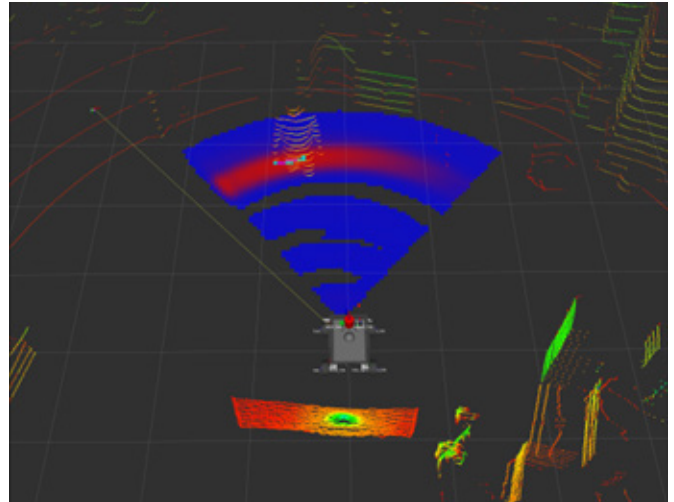


Abbildung 7: Sensordatenfusion von Lidar- und Radar-Sensorik in ROS (©Fraunhofer IIS)

Ein entscheidender Vorteil von ROS liegt in den Möglichkeiten der virtuellen Validierung. Sensoren und Aktoren können in realistischen Simulationen nachgebildet werden, sodass Algorithmen bereits vor dem Einsatz auf der realen Hardware getestet werden können. Mittels Sensormodellen lassen sich beispielsweise Kameras, LiDAR oder IMU in virtuellen Umgebungen präzise simulieren, inklusive Störungen wie Rauschen, Ausfällen oder Umweltbedingungen. Dies ermöglicht eine schnelle, sichere und kosteneffiziente Erprobung komplexer Szenarien, reduziert Risiken und unterstützt die kontinuierliche Optimierung von Fusions- und Entscheidungsalgorithmen (Abbildung 8).

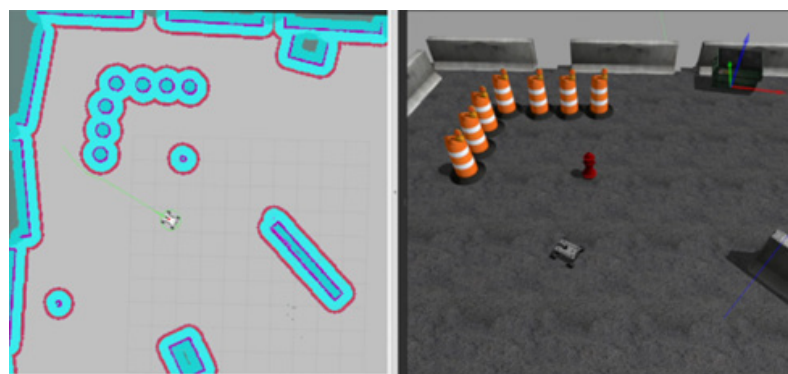


Abbildung 8: Szenario für die virtuelle Validierung eines mobilen Roboters mit ROS (©Fraunhofer IIS)



Abbildung 9: Einblick in das Real-Labor „Demoproduktion“ am Fraunhofer IIS in Dresden (©Fraunhofer IIS)

Baustein 4: Reallabor

Die Entwicklung intelligenter, autonom agierender Systeme stellt hohe Anforderungen an die Verknüpfung von Sensorik, Datenverarbeitung und Aktorik. Multisensorische Systeme wie autonome Roboter, Fahrerassistenzlösungen oder industrielle Assistenzsysteme müssen in komplexen Umgebungen zuverlässig funktionieren. Um dies sicherzustellen, reicht die reine Simulation oder Laborprüfung nicht aus. Erst die Validierung in einer praxisnahen Umgebung ermöglicht es, Funktionalität, Robustheit und Interoperabilität umfassend zu bewerten.

Am Fraunhofer IIS in Dresden steht hierfür beispielsweise ein Real-Labor zur Verfügung, das speziell für die Inbetriebnahme, den Test und die Optimierung multisensorischer, robotischer Systeme konzipiert ist (Abbildung 9). Diese anwendungsähnliche Umgebung bildet die reale Einsatzsituation so nah wie möglich ab – mit realistischen Szenarien, Störungen und Umgebungsbedingungen. Dadurch können Entwicklerinnen und Entwickler frühzeitig prüfen, wie ihre Systeme auf äußere Einflüsse reagieren und wie zuverlässig die Sensorfusion, das Regelverhalten und die Entscheidungslogik arbeiten.

Das Real-Labor erfüllt dabei eine doppelte Funktion im Entwicklungsprozess:

- Beschleunigung der Marktreife – durch praxisnahe Tests werden Fehlerquellen früh identifiziert und Entwicklungszyklen verkürzt
- Sicherung der Qualität – Validierungen unter realistischen Bedingungen erhöhen die Zuverlässigkeit und Robustheit der Systeme.



Abbildung 10: Stationäre und mobile Versuchsträger für die Entwicklung multisensorischer Systeme (©Fraunhofer IIS)

Besonders bei autonomen Robotern, die mehrere Sensordatenquellen gleichzeitig verarbeiten müssen, ist dieser Schritt unverzichtbar. Nur wenn Sensoren, Algorithmen und Aktuatoren im Zusammenspiel in realen Szenarien bestehen, kann ein sicherer und effizienter Einsatz gewährleistet werden (Abbildung 10). Mit dem Real-Labor stellt Fraunhofer Unternehmen und Forschungspartnern eine entscheidende Infrastruktur bereit, um innovative multisensorische Systeme schneller, sicherer und zielgerichteter in die Anwendung zu bringen.

5. Beitrag des Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik«

Im Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik« sind die Kompetenzen, Erfahrungen und Methoden etabliert, um anwendungsspezifische Lösungen für autonome Systeme entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu entwickeln.

Fraunhofer IPMS und Fraunhofer ENAS bündeln jahrzehntelange Erfahrungen in der Sensorentwicklung mit dem Schwerpunkt MEMS-Technologien/-Sensoren und kundenspezifischen Lösungen. Sie decken die gesamte Wertschöpfungskette ab – vom Konzept, über die MEMS-Design- und Prozessentwicklung sowie die Integration von Readout-Elektronik bis hin zu Packaging, Temperatur- und Zuverlässigkeitsmanagement sowie Validierung und Pilotfertigung. In der Zusammenarbeit entstehen ganzheitliche Sensorplattformen, die gezielt auf die Anforderungen von Sensorentwicklern, Systemintegratoren, Systemanbietern und Endnutzern zugeschnitten sind und so eine schnelle, robuste Umsetzung von Anwendungen autonomer Systeme ermöglichen.

Der Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme des Fraunhofer IIS hat sich auf die Systemintegration von kognitiven Sensorplattformen spezialisiert. Hierzu steht eine umfangreiche Auswahl an Sensorlösungen und Systemen der digitalen Signalverarbeitung z.B. durch Edge-AI-Hardware zur Verfügung. Fraunhofer IIS entwickelt Schnittstellen und Treiber sowohl für kommerzielle als auch für kundenspezifische Sensorik. Darüber hinaus stehen Charakterisierungs-, Validierungs- und Versuchsumgebungen wie z.B. das Real-labor „Demoproduktion“ oder auch ein Versuchsstand zur Qualifizierung intelligenter schwingungsbasierter Sensorsysteme zur Verfügung, um Industriepartner bei der Entwicklung multisensorischer Systeme entlang des gesamten Entwicklungsprozesses zu unterstützen.

Die Institute begleiten den Entwicklungsprozess und unterstützen Unternehmen von der Analyse bis zur Markteinführung entsprechend des Phasenmodells in Abbildung 5:

1. In der **Machbarkeitsphase** prüfen sie die technische Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit neuer Sensor-konzepte und Systeme. Dazu gehören Simulationen und Modellierungen von Multisensorsystemen, die Validierung von Algorithmen sowie die Analyse kritischer Systemkomponenten und potenzieller Engpässe.
2. In der **Beratungs- und Konzeptphase** unterstützen die Institute bei der Systemarchitektur, der Auswahl geeigneter Sensoren und KI-Algorithmen sowie bei der Einhaltung regulatorischer Anforderungen, Sicherheitsstandards und Datenschutzbestimmungen. Dabei helfen sie, skalierbare Embedded-Systeme und modulare Plattformen zu entwickeln.
3. Während der **Entwicklungs- und Realisierungsphase** bauen die Institute Prototypen und Demonstratoren auf, integrieren Hardware, Aktorik, Sensorik und KI-basierte Algorithmen und testen neue Technologien in spezifischen Anwendungsszenarien wie autonomen Drohnen oder Fabrikrobotik. Zudem können kunden- und anwendungsspezifische Speziallösungen für Sensoren und Sensorsysteme entwickelt werden.
4. In den **Test- und Reallaboren** werden die Systeme unter realen Bedingungen und in simulierten Extremszenarien validiert. Hierbei werden Robustheit, Echtzeitfähigkeit und Zuverlässigkeit überprüft, ebenso wie Sicherheits- und Normenkonformität.
5. Darüber hinaus fördern **Workshops, Schulungen und Wissenstransfer**, die von den Instituten angeboten werden, die Methodenkompetenz zu Sensorik, KI-Algorithmen, Datenverarbeitung und Systemintegration. Sie stärken die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Industriepartnern und der Forschung und liefern Best Practices, Guidelines und Toolkits für die Implementierung von kognitiver Sensorik in autonomen Systemen.
6. Ergänzende Beiträge umfassen die **Innovations- und Trendforschung**, die frühzeitig neue Technologien und Anwendungen identifiziert, das **Projektmanagement** und die Systemintegration komplexer Entwicklungsprojekte sowie die Mitwirkung an **Standardisierung und Normung** zur Etablierung von Industriestandards und Sicherheitsrichtlinien.

6. Fazit und Ausblick

Kognitive Multisensorik erweist sich als Schlüsseltechnologie für die nächste Generation autonomer Systeme. Sie ermöglicht eine robuste, adaptive und kontextbewusste Umgebungswahrnehmung, die weit über klassische Sensorfusion hinausgeht. Durch die intelligente Gewichtung heterogener Sensoren, die Integration von KI-Methoden und die Fähigkeit zum Lernen und Anpassen schafft sie die Grundlage für verlässliche, effiziente und sichere autonome Systeme von der Mobilität über die Fabrikautomation und Smart Cities bis hin zu sicherheitskritischen Anwendungen in Verteidigung und Katastrophenschutz.

Gleichzeitig sind die Herausforderungen erheblich: hohe Systemkosten, komplexe Validierung, regulatorische Hürden und die Notwendigkeit von Transparenz und Akzeptanz. Erfolgreiche Lösungen erfordern daher ein enges Zusammenspiel von Sensorentwicklung, Software- und Systemintegration, Validierung im Reallabor und Standardisierung. Forschungsverbünde, interdisziplinäre Kooperationen und offene Plattformen werden entscheidend sein, um die Innovationsgeschwindigkeit zu erhöhen und die Überführung in den Markt zu beschleunigen.

Der Blick nach vorn zeigt, dass kognitive Multisensorik nicht nur als Enabler, sondern als Gestalter neuer Anwendungsfelder wirken wird. Zukünftige Systeme werden nicht mehr nur auf Sensordaten reagieren, sondern aktiv ihre Sensorik und Rechenressourcen optimieren, Wissen zwischen Plattformen austauschen und sich selbst im Betrieb weiterentwickeln. Damit entsteht ein Ökosystem lernfähiger, vertrauenswürdiger und hochgradig adaptiver Systeme, die einen wesentlichen Beitrag zu Sicherheit, Effizienz und Nachhaltigkeit leisten.

Für Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft bedeutet dies: Wer heute in kognitive Multisensorik investiert, legt den Grundstein für die vernetzte, autonome und resiliente Infrastruktur von morgen. Daher nehmen Sie Kontakt mit dem Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik« auf und lassen uns gemeinsam die Zukunft gestalten.

Über das Leistungszentrum

Das Leistungszentrum »Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik« ist der Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft zum sächsischen Mikroelektronik-Ökosystem, dem größten Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionszentrum für die Mikro- und Nanoelektronik in Deutschland und Europa. Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen erforschen und entwickeln gemeinsam mit namhaften Industriepartnern sowie innovativen KMUs und Startups die mikroelektronischen Innovationen von morgen und bilden die Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und industrieller Entwicklung. Hauptaufgabe des Leistungszentrums ist die gemeinsame Bearbeitung aktueller Forschungsthemen entlang einer gemeinsamen Strategie sowie der anschließende Transfer in die Industrie. Dabei decken die Partner des Netzwerks aus Fraunhofer-Instituten und Hochschulen die gesamte Bandbreite der Wertschöpfungskette ab, vom Systemdesign über Komponenten und Fertigungsverfahren, die Systemintegration bis hin zur Zuverlässigkeitsbewertung.

Die beteiligten Partner Fraunhofer IPMS, Fraunhofer ENAS, Fraunhofer IIS und Fraunhofer IZM bieten Kooperationsformen wie Auftragsforschung, öffentliche Förderprojekte, Workshops, Machbarkeitsstudien, Entwicklungs- und Pilotfertigungsprojekte sowie IP-Lizenzierung, um gemeinsam Lösungen von der Idee bis zur Marktreife zu realisieren.

Kontakt

Dr. Sandro Koch
Geschäftsfeldleiter „Acoustic Sensors and Systems“
0351 8823-239
sandro.koch@ipms.fraunhofer.de

Leistungszentrum „Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik“
Maria-Reiche-Straße 2
01109 Dresden
www.leistungszentrum-mikronano.de